



KOMUNIKASI DATA & KOMPUTER

DASAR-DASAR KOMUNIKASI DATA

ver. 2016012701

Stitrusta Sukaridhoto, ST. Ph.D
dhoto@pens.ac.id
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
2016



KATA PENGANTAR

TUJUAN

Buku ini berupaya menampilkan tinjauan yang menyatukan berbagai bidang komunikasi data dan komputer. Susunan buku ini menunjukkan adanya upaya untuk mendobrak sasaran yang besar-besaran ini agar menjadi bagian yang cukup komprehensif serta untuk membangun, sedikit demi sedikit, survei untuk seni ilmu komputer. Buku ini menekankan kepada prinsip-prinsip dasar dan topik-topik penting yang fundamental yang berkaitan dengan teknologi dan arsitektur bidang ini serta menampilkan pembahasan yang terperinci mengenai topik-topik yang menonjol.

Berikut adalah tema-tema dasar yang disajikan untuk menyatukan pembahasan kita:

- ❑ **Prinsip-prinsip:** meskipun jangkauan buku ini cukup luas, terdapat sejumlah prinsip dasar yang muncul berulang-ulang sebagai tema serta yang menyatukan bidang ini. Contohnya adalah multiplexing, flow control, dan kontrol kesalahan. Buku ini juga menyoroti prinsip-prinsip ini dan membandingkan aplikasinya dalam area teknologi tertentu.
- ❑ **Pendekatan desain:** Buku ini menguji pendekatan-pendekatan alternatif untuk memenuhi persyaratan komunikasi tertentu.
- ❑ **Standar-standar:** Standar dimaksudkan untuk memastikan peranan yang semakin penting dan dominan dalam bidang ini. Pemahaman tentang status terbaru dan petunjuk selanjutnya memerlukan pembahasan yang komprehensif mengenai standar-standar terkait.

BAGAN TEKS

Buku ini dibagi menjadi tiga bagian, yakni:

- I. Ikhtisar: Menampilkan pengantar jangkauan topik yang tercakup dalam buku ini. Sebagai tambahan, bagian ini meliputi pembahasan mengenai protocol, OSI, dan rangkaian protocol TCP/IP.
- II. Komunikasi Data: Utamanya berkaitan dengan pertukaran data di antara dua perangkat yang terhubung secara langsung. Dalam jangkauan yang terbatas ini, diulas aspek-aspek kunci mengenai transmisi, penginterfacean, link control, dan multiplexing.

- III. Wide Area Network: Mengulas mekanisme internal dan interface pemakai-jaringan yang telah dikembangkan untuk mendukung komunikasi suara, data, dan multimedia pada jaringan jarak jauh. Teknologi tradisional packet-switching dan circuit-switching juga ditetapkan pula, sebagaimana halnya dengan ATM terbaru. Untuk hal-hal yang berkaitan dengan kontrol kongesti dibuatkan bab terpisah

Sebagai tambahan, buku ini juga menyajikan daftar kata-kata yang luas, daftar akronimakronim yang sering dipergunakan, dan bibliografi. Setiap bab dilengkapi dengan latihan dan saran bacaan selanjutnya.

Buku ini dimaksudkan untuk kalangan akademik dan profesional. Bagi para profesional yang tertarik dengan bidang ini, buku ini disajikan sebagai referensi dasar dan sangat sesuai untuk dipelajari. Sebagai buku pelajaran, buku ini dapat dipergunakan untuk satu atau dua kali pelajaran semester. Bab-bab dan bagian dari buku ini dirancang sedemikian rupa sehingga menampilkan pola mata kuliah yang fleksibel. Berikut ini adalah saran penyajiannya:

- ❑ Dasar-Dasar Komunikasi Data: Bagian Satu (ikhtisar) dan Bagian Dua (komunikasi data) dan Bab 9 sampai Bab 11 (circuit-switching, packet-switching, dan ATM).
- ❑ Jaringan Komunikasi: Bila mahasiswa sudah mengetahui dasar-dasar komunikasi data, maka rangkaian pelajaran ini juga mencakup Bagian Satu (ikhtisar) dan Bagian Tiga (WAN).

Selain itu, rangkaian pelajaran yang efisien yang mencakup keseluruhan isi buku ini dimungkinkan dengan cara menghapus bab-bab tertentu yang tidak penting untuk pembahasan awal. Adapun bab-bab yang dapat dijadikan pilihan adalah Bab 3 (transmisi data) dan 4 (media transmisi). Bab 8 (multiplexing) dan Bab 9 (circuit-switching) bila mahasiswa sudah memiliki pemahaman mendasar mengenai topik-topik ini;

LAYANAN INTERNET UNTUK PARA INSTRUKTUR DAN MAHASISWA

Buku ini juga dilengkapi dengan sebuah Web Site yang menampilkan bahan-bahan pendukung bagi para mahasiswa dan instruktur. Situs tersebut juga mencakup link-link ke situs-situs yang relevan, gambar induk dari gambar-gambar dalam buku ini, serta informasi pendaftaran untuk mailing list Internet buku ini. Halaman Webnya adalah di <http://www.shore.net/~ws/DCC6e.html>; lihat pada bagian, "Web Site for Data and Computer Communications," yang mengikuti kata pengantar ini, untuk informasi lebih jauh. Mailing list Internet disusun sedemikian rupa sehingga para instruktur yang menggunakan buku ini dapat saling bertukar informasi, saran-saran, dan pertanyaan satu sama lain, serta dengan penulis sendiri. Bila ada kesalahan cetak maupun kesalahan-kesalahan lainnya yang ditemukan, daftar kesalahan tersebut segera ditampilkan di <http://www.shore.net/~ws>.

PROYEK-PROYEK PENGAJARAN KOMUNIKASI DATA DAN KOMPUTER

Untuk sebagian besar instruktur, komponen penting dari mata kuliah tentang komunikasi data atau jaringan merupakan proyek atau rangkaian proyek dimana para mahasiswa dapat memperoleh pengalaman untuk memperkuat konsep-konsep dari teks. Buku ini menampilkan tingkat dukungan yang tidak sama untuk komponen proyek yang tercakup dalam mata kuliah ini. Pedoman bagi para instruktur tidak hanya meliputi petunjuk tentang bagaimana menetapkan dan menyusun proyek, namun juga mencakup rangkaian proyek-proyek yang disarankan yang terdiri dari berbagai macam topik dari teks, meliputi proyek-proyek penelitian, proyek-proyek simulasi, proyek model analitis, dan tugas-tugas laporan/bacaan. Lihat Lampiran C untuk lebih detailnya.

HAL-HAL BARU DI EDISI KEENAM INI

Edisi keenam ini diterbitkan kurang dari 15 tahun setelah publikasi edisi pertamanya. Banyak yang telah terjadi sepanjang tahun-tahun tersebut. Tentu saja, dari cepatnya perubahan yang terjadi. Di edisi terbaru ini, saya berusaha menangkap perubahan-perubahan tersebut sambil mempertahankan jangkauan yang luas dan komprehensif dari seluruh bidang. Untuk memulai proses revisi, edisi kelima buku ini direview secara ekstensif oleh sejumlah profesor yang mengajar pada subyek ini. Hasilnya ialah, di banyak tempat, narasinya telah diperjelas sekaligus dipertegas, dan ilustrasinya mulai ditingkatkan. Selain itu, ditambahkan beberapa latihan baru dari "bidang yang diujikan".

Di luar upaya perbaikan untuk meningkatkan hubungan kemitraan pedagogi dan pengguna, terdapat perubahan substantif di sepanjang isi buku ini. Setiap bab direvisi, bab-bab baru ditambahkan, dan susunan buku secara keseluruhan diubah. Pokok-pokoknya mencakup beberapa hal sebagai berikut:

- ❑ **XDSL:** Istilah xDSL menunjuk pada sekelompok teknologi jalur pelanggan digital yang menyediakan akses berkecepatan tinggi ke ISDN dan Wide Area Network lainnya melalui jalur twisted-pair biasa dari jaringan ke pelanggan bisnis atau perumahan. Buku ini mengupas tentang xDSL dan khususnya mengenai teknologi Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL).
- ❑ **Gigabit Ethernet:** pembahasan mengenai Ethernet 100-Mbps telah diperbaharui dan ditambahkan pula pengenalan Gigabit Ethernet.
- ❑ **Layanan dan mekanisme Available Bit Rate (ABR):** ABR adalah tambahan yang relatif baru untuk jaringan ATM. Menampilkan dukungan untuk lalu lintas data berbasis IP.
- ❑ **Kontrol kemacetan:** Sebuah bab terpisah khusus mengenai topik ini. Menampilkan hal-hal yang berkaitan dengan kontrol kemacetan. Termasuk

ulasan mengenai manajemen lalu lintas ATM dan teknik-teknik kontrol kemacetan.

- ❑ **IP Multicasting:** Sebuah bab baru khusus untuk topik yang penting ini.
- ❑ **Layanan-layanan yang terintegrasi dan berbeda, plus RSVP:** Terdapat pengembangan yang substansial semenjak publikasi edisi kelima ditingkatkan lewat Internet untuk mendukung berbagai jenis multimedia dan lalu lintas yang peka terhadap waktu. Bab baru ini mencakup layanan-layanan yang terintegrasi, layanan-layanan yang berbeda, dan hal-hal lain yang berkaitan dengan mutu pelayanan (QoS), dan protocol reservasi RSVP yang sangat penting.
- ❑ **Kontrol kemacetan TCP:** Ini berlanjut sebagai daerah penelitian aktif. Buku ini juga mencakup bagian khusus mengenai topik ini.

Sebagai tambahan, disepanjang isi buku ini, setiap topik secara virtual telah diperbaharui untuk merefleksikan pengembangan dalam standar-standar dan teknologi yang telah terjadi sejak publikasi edisi kelima.

KONTROL KUALITAS

Upaya yang keras telah dilakukan untuk memastikan bahwa kualitas produksi buku ini sangat tinggi. Telah banyak waktu dan sumber daya yang dihabiskan untuk memeriksa bacaan teks baik dalam manuskrip maupun halaman demi halaman oleh penulis sendiri dan pihak penerbit. Selain itu, sejumlah relawan dari komunitas profesional juga dilibatkan, masing-masing dari mereka bertanggung-jawab membaca satu bab saja dengan hati-hati untuk mengecek bila ada kesalahan teknis ataupun kesalahan tipografisnya. Setiap bab dari buku ini diuntungkan dari kedua jenis review ini. Terima kasih banyak kepada Mel Adams, Navin Kumar Agarwal, Ferdinand N. Ahlberg, David Airlie, Tom Allebrandi, Maurice Baker, Rob Blais, Art Boughan, Frank Byrum, George Cherian, Christian Cseh, Dr. Mickael Fontaine, Charles Freund, Bob Furtaw, Andrew Gallo, Gary Gapinski, Sundar Copal, Phil Guillemette, David Hoffman, Dr. Jun Huang, Prasad Kallur, Gary Kessler, Steven Kilby, John Kristoff, David Lucantoni, Kenneth Ma, Eddie Maendel, Richard Masoner, Mark McCutcheon, John McHarry, Mittal Monanim, Dr. John Naylor, Robert Olsson, Mike Patterson, Mahbubur Rashid, Jeffrey Rhodes, Monika Riffle, Peter Russell, Ahmet Sekercioglu, Rayaz Siddiqui, Dick Smith, Dave Stern, Omesh Tickoo, Scott Valcourt, Dominick Vanacore, Eko Wibowo, Craig Wiesner, and Jeffrey Wright.

Terakhir, kepada Arthur Werbner yang telah mereview dan memeriksa seluruh latihan serta pemecahannya.

PERNYATAAN TERIMA KASIH

Edisi baru ini telah diuntungkan dengan adanya review dari sejumlah orang, yang telah bermurah-hati menyediakan waktu dan keahliannya. Robert H. Greenfield (Villanova University) yang telah memberikan ulasan-ulasan terperinci untuk hal-hal yang bersifat teknis dan pedagogis dan kepada yang lain yang telah sangat membantu seperti Thomas Milham (Devry Institute of Technology), Gregory B. Brewster (DePaul University), Marc (GlobeSpan Semiconductors), Robert E. Morris (Devry Institute of Technology), dan Matt Mutka (Michigan State University).

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	2
BAB 1	9
PENDAHULUAN.....	9
1.1 MODEL KOMUNIKASI	11
1.2 KOMUNIKASI DATA	14
1.3 JARINGAN KOMUNIKASI DATA	15
1.4 PROTOCOL DAN ARSITEKTUR PROTOCOL	19
1.5 STANDAR-STANDAR.....	32
LAMPIRAN 1A ORGANISASI STANDAR-STANDAR.....	33
LAMPIRAN 1B SUMBER DAYA INTERNET	39
BAB 2	42
PROTOCOL DAN ARSITEKTUR.....	42
2.1 PROTOCOL	43
2.2 OSI	57
2.3 SUITE PROTOCOL TCP/IP	69
2.4 BACAAN YANG DISARANKAN	79
2.5 PERMASALAHAN	79
BAB 3	83
TRANSMISI DATA.....	83
3.1 KONSEP DAN TERMINOLOGI	85
3.2. TRANSMISI DATA DIGITAL DAN ANALOG.....	95
3.3 GANGGUAN TRANSMISI.....	108
3.4 BACAAN YANG DISARANKAN	118
3.5 PERMASALAHAN	119
LAMPIRAN 3A ANALISIS FOURIER	121
LAMPIRAN 3B DESIBEL DAN KEKUATAN SINYAL	126
BAB 4	129
MEDIA TRANSMISI	129
4.1 MEDIA TRANSMISI GUIDED	132
4.2 TRANSMISI WIRELESS	147
4.3 BACAAN YANG DISARANKAN DAN SITUS WEB	156
4.4. PERMASALAHAN	156
BAB 5	158
PENGKODEAN DATA	158
5.1 DATA DIGITAL, SINYAL-SINYAL DIGITAL.....	161
5.2 DATA DIGITAL, SINYAL-SINYAL ANALOG	171
5.3 ANALOG DATA, DIGITAL SIGNALS	179

5.4	ANALOG DATA, ANALOG SIGNALS	186
5.5	SPEKTRUM PENYEBARAN	193
5.6	BACAAN YANG DISARANKAN	198
5.7	PERMASALAHAN	198
BAB 6		204
INTERFACE KOMUNIKASI DATA		204
6.1	TRANSMISI SYNCHRONOUS DAN ASYNCHRONOUS.....	206
6.2	JENIS-JENIS KESALAHANAN.....	210
6.3	KONFIGURASI SALURAN	210
6.4	PENGINTERFACEAN	212
6.5	BACAAN YANG DISARANKAN	225
6.6	PERMASALAHAN	225
BAB 7		227
DATA LINK CONTROL		227
7.1	FLOW CONTROL	229
7.2	PENDETEKSIAN KESALAHAN	235
7.3	PENGONTROLAN KESALAHAN	243
7.4	HIGH-LEVEL DATA LINK CONTROL (HDLC).....	250
7.5	PROTOCOL DATA LINK CONTROL LAINNYA	260
7.6	BACAAN YANG DISARANKAN	262
7.7	PERMASALAHAN	262
LAMPIRAN 7 A KINERJA		266

B_{AB} 1

PENDAHULUAN

1.1 Model Komunikasi

1.2 Komunikasi Data

1.3 Jaringan Komunikasi Data

Wide Area Networks

Local Area Networks

1.4 Protocol dan Arsitektur Protocol

Model Tiga Lapisan (Three Layer Model)

Arsitektur Protocol TCP/IP

Model OSI

1.5 Standar-Standar

Lampiran 1A Organisasi Standar-Standar

Standar-standar Internet dan Internet Society

Organisasi Internasional untuk Standarisasi

Sektor Standarisasi Telekomunikasi ITU

Forum ATM

Lampiran 1B Sumber Daya Internet

Situs Web untuk Buku ini

Situs-situs Web yang Lain

Newsgroup USENET

EGA KHANSA ALIFA	4103141001
FEBRIANA WULANDARI	4103141012
ALDINI SARI PURNAMA	4103141031
FEBRI RAMADAN AL KIBRU	4103141058

- ❑ Pembahasan dalam buku ini mencakup 3 hal umum yaitu komunikasi data, networking, dan protocol.
- ❑ Komunikasi data berkaitan dengan transmisi sinyal-sinyal yang efisien dan andal (reliable). Meliputi transmisi sinyal, media transmisi, pengkodean sinyal, interfacing antar lapisan, data link control, dan multiplexing.
- ❑ Networking berkaitan dengan teknologi dan susunan jaringan komunikasi yang dipergunakan untuk melengkapi proses/sistem komunikasi. Bagian ini secara umum dibagi menjadi 2 topik yaitu Local Area Networks (LAN) dan Wide Area Networks (WAN).
- ❑ Pembahasan mengenai protocol komunikasi meliputi pemeliharaan Arsitektur Protocol serta analisis protocol pada setiap lapisannya.

Di era tahun 70-an dan 80-an telah bergabung bidang ilmu komputer dan komunikasi data yang secara besar-besaran menjadi teknologi, produk, dan perusahaan-perusahaan yang sekarang mengkombinasikannya dengan komunikasi komputer. Meskipun akibat merger yang revolusioner ini masih berjalan namun dapat dikatakan bahwa revolusi sudah terjadi, dan penelitian apa pun yang berkaitan dengan data haruslah didasarkan atas konteks yang baru ini.

Revolusi dalam bidang komunikasi komputer telah menghasilkan beberapa fakta sebagai berikut :

- ❑ Tidak adanya perbedaan-perbedaan yang fundamental antara data processing (komputer) dan komunikasi data (perangkat switching dan transmisi).
- ❑ Tidak adanya perbedaan yang fundamental atau mendasar di antara komunikasi data, suara, dan video.
- ❑ Perbedaan antara computer single-processor, computer multi-processor, local network, metropolitan network, dan long haul network (jaringan bermuatan panjang) menjadi tipis atau hilang.

Dampak dari kecenderungan ini berpengaruh besar terhadap industri komputer dan komunikasi, mulai dari hal pembuatan komputer sampai ke integrasi sistem. Dampak lainnya adalah adanya pengembangan sistem yang terintegrasi yang dapat memproses dan mentransmisikan berbagai jenis data dan informasi. Pengembangan teknologi dan standar-standar teknis juga membawa ke arah sistem publik yang terintegrasi sehingga memungkinkan terjadinya pengaksesan sumber-sumber informasi dan data secara virtual (maya) dari seluruh dunia dengan lebih mudah dan universal.

Karena itulah buku ini menyajikan berbagai hal yang berkaitan dengan

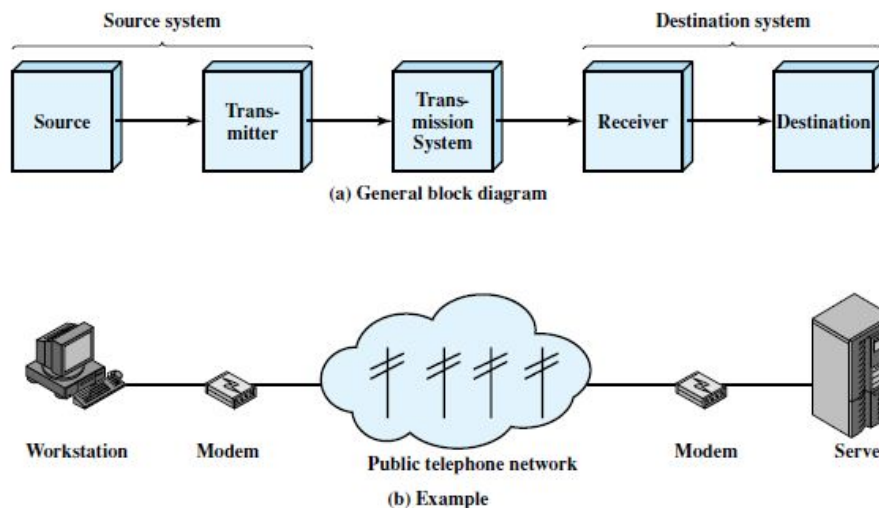
seluk-beluk komunikasi komputer dan data. Apabila dilihat dari susunannya buku ini tampak berupaya untuk mendongkrak subyek yang berbobot menjadi bagian-bagian yang lebih komprehensif, serta merangkumnya satu-persatu. Bab pendahuluan ini diawali dengan model komunikasi secara umum.

1.1 MODEL KOMUNIKASI

Kita memulai studi ini dengan suatu model komunikasi yang sederhana. Ilustrasinya ditunjukkan pada gambar 1.1a.

Kegunaan dasar dari sistem komunikasi ini adalah menjalankan pertukaran data antara 2 pihak. Dalam gambar 1.1b ditampilkan satu contoh khusus, yaitu komunikasi antara sebuah workstation dan sebuah server yang dihubungkan dengan sebuah jaringan telepon umum. Contoh lainnya adalah pertukaran sinyal-sinyal suara antara 2 telepon pada satu jaringan yang sama. Berikut ini elemen-elemen kunci model tersebut :

1. **Source (sumber)** : Alat ini membangkitkan data sehingga dapat ditransmisikan, contoh : telepon dan PC (Personal Computer).
2. **Transmitter (pengirim)** : Biasanya data yang dibangkitkan dari sistem sumber tidak ditransmisikan secara langsung dalam bentuk aslinya. Sebuah transmitter cukup memindah dan menandai informasi dengan cara yang sama seperti menghasilkan sinyal-sinyal elektro-magnetik yang dapat ditransmisikan melewati beberapa sistem transmisi berurutan. Sebagai contoh, sebuah modem tugasnya menyalurkan suatu digital bit stream dari suatu alat yang sebelumnya sudah dipersiapkan misalnya PC, dan mentransformasikan bit stream tersebut menjadi suatu sinyal analog yang dapat melintasi melalui jaringan telepon.
3. **Transmission System (Sistem Transmisi)** : Berupa jalur transmisi tunggal (single transmission line) atau jaringan kompleks (complex network) yang menghubungkan antara sumber dengan destination (tujuan).
4. **Receiver (Penerima)** : Receiver menerima sinyal dari sistem transmisi dan menggabungkannya ke dalam bentuk tertentu yang dapat ditangkap oleh tujuan. Sebagai contoh, sebuah modem akan menerima suatu sinyal analog yang datang dari jaringan atau jalur transmisi dan mengubahnya menjadi suatu digital bit stream.
5. **Destination (Tujuan)** : Menangkap data yang dihasilkan oleh receiver.



Gambar 1.1 Model Komunikasi Sederhana

Tabel 1.1 Communication Task

Transmission system utilization	Pengalamatan
Interfacing	Routing
Pembangkit Sinyal	Recovery, pemulihan
Sinkronisasi	Pembentukan pesan
Manajemen pertukaran	Pengamanan
Error detection and correction	Manajemen jaringan
Flow Control	

Paparan sederhana ini mengandung kerumitan dari segi teknis. Untuk mendapatkan ide utamanya, dalam tabel 1.1 terlampir daftar tugas-tugas kunci yang berkaitan dengan yang ditampilkan oleh sistem komunikasi data. Namun daftar tersebut masih dapat ditambah dengan beberapa elemen yang diperlukan, item-item dalam daftar yang dapat digabungkan serta item-item lain yang dapat menampilkan beberapa tugas tertentu yang berasal dari level sistem yang berbeda. Meskipun begitu, daftar tersebut hanya sekedar tambahan yang dianjurkan dalam buku ini.

Item pertama, **transmission system utilization**, menunjuk pada kebutuhan untuk membuat supaya penggunaan fasilitas transmisi yang biasanya terbagi menjadi beberapa perangkat komunikasi, menjadi lebih efisien. Beberapa teknik ditunjukkan (sebagai multiplexing) dipergunakan untuk mengalokasikan kapasitas total dari suatu medium transmisi di antara sejumlah user. Teknik-teknik Congestion Control diperlukan untuk memastikan atau menjamin agar sistem tidak sampai kewalahan dibanjiri oleh permintaan yang berlebihan terhadap layanan transmisinya.

Agar dapat berhubungan, suatu perangkat harus bersifat **interface** dengan sistem transmisi. Seluruh bentuk komunikasi yang didiskusikan dalam buku ini tergantung pada penggunaan sinyal-sinyal elektromagnetik yang disebarkan melalui suatu media transmisi. Jadi, sekali sebuah interface dibuat, diperlukan

pembangkit sinyal (**signal generation**) agar terjadi proses komunikasi. Hal-hal yang berkaitan dengan sinyal, seperti bentuk dan intensitasnya, haruslah (1) memadai untuk disebarkan melalui sistem transmisi, dan (2) mampu diterjemahkan sebagai data pada perangkat receiver.

Sinyal-sinyal tidak hanya harus sesuai dengan sistem transmisi dan receiver, namun juga harus ada sinkronisasi antara transmitter dan receiver.

Di luar hal-hal dasar dalam memutuskan sifat dan timing sinyal, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi agar terjadi komunikasi antara dua piha, yaitu dalam hal **exchange management**. Bila suatu data dipindahkan ke dua arah (direction) selama beberapa waktu, kedua ujung harus kerjasama. Sebagai contoh, bila dua orang melakukan percakapan melalui telepon, salah satu pihak harus menekan nomor pihak lain yang ingin dihubungi. Dalam hal ini sinyal yang digerakkan menghasilkan dering pada pesawat telepon yang dituju. Pihak yang dituju akan melengkapi koneksi tersebut dengan cara mengangkat atau membangkitkan receiver. Untuk perangkat proses pengolahan data, diperlukan koneksi yang sedikit lebih rumit karena harus dilakukan beberapa hal tertentu. Ketentuan-ketentuan ini meliputi apakah kedua perangkat tersebut dapat melakukan proses transmisi secara simultan atau dapat saling bergantian, jumlah data yang dikirimkan pada saat yang sama, format data, serta apa yang harus dilakukan apabila terjadi kemungkinan adanya error.

Dua item berikutnya termasuk dalam **exchange management**, namun juga cukup penting untuk dibahas secara terpisah. Dalam keseluruhan sistem komunikasi, dimungkinkan terjadinya potensial error, dimana sinyal-sinyal transmisi mengalami perubahan pada tingkat-tingkat tertentu sebelum mencapai tujuan. Karena itu, **error detection and correction** diperlukan agar kesalahan-kesalahan tersebut dapat diatasi. Hal ini biasanya terjadi pada sistem data processing. Sebagai contoh, saat mentransfer suatu file dari satu komputer ke komputer lain, ternyata saat diterima isi data tersebut secara tidak sengaja mengalami perubahan. Kemudian, **flow control** diperlukan untuk memastikan bahwa sumber tidak akan membanjiri tujuan dengan kiriman data lebih cepat dari yang dapat diproses dan diserap.

Berikutnya adalah dua konsep yang secara nyata berbeda namun masih berkaitan, yaitu pengamatan (**addressing**) dan **routing**. Saat sebuah fasilitas transmisi dibagi oleh lebih dari dua alat, sistem sumber harus mampu menunjukkan identitas tujuan yang dimaksud. Sistem transmisi juga harus memastikan bahwa sistem tujuan mampu menerima data, karena memang hanya sistem inilah satu-satunya yang boleh menerima data. Lebih jauh, sistem transmisi dapat diubah menjadi suatu jaringan melalui beberapa cara. Rute khusus untuk melewati jaringan ini juga harus ditentukan.

Recovery adalah suatu konsep yang jelas-jelas berbeda dari **error correction**. Teknik recovery diperlukan bila pada saat proses pertukaran informasi, misalnya transfer file atau transaksi database, terjadi kegagalan di dalam sistem. Jadi, recovery tidak hanya dimaksudkan untuk melanjutkan kegiatan pada saat proses terhenti akibat gangguan namun juga memperbaiki atau memulihkan kondisi sistem kembali ke keadaan semula seperti pada awal proses pertukaran informasi.

Message Formatting berkaitan dengan kesepakatan dua pihak saat data dipindahkan atau ditransmisikan, seperti kode binar (binary code) atau karakter.

Pada hal-hal tertentu, sangatlah penting menyediakan suatu tindakan pengamanan (**security**) di dalam suatu sistem komunikasi data. Pengirim data ingin dipastikan bahwa data benar-benar akan sampai pada receiver yang dituju. Sedangkan receiver ingin dipastikan bahwa data yang diterima tidak berubah di tempat transit dan data tersebut juga benar-benar datang dari pengirim yang dimaksud.

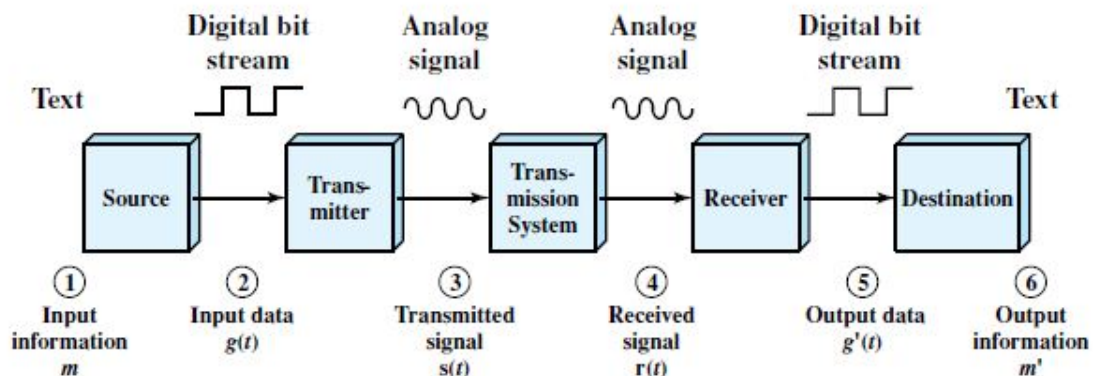
Suatu fasilitas komunikasi data memang merupakan suatu sistem yang kompleks yang tak dapat berjalan sendiri. Dalam hal ini diperlukan kemampuan manajemen jaringan (**network management**) untuk membentuk atau menyusun sistem, memonitor status, bereaksi terhadap kegagalan atau overload, serta merencanakan secara cermat perkembangan selanjutnya.

Jadi, kita beranjak dari ide sederhana mengenai komunikasi data antara sumber dan tujuan sampai ke daftar tugas-tugas komunikasi data yang agak berat. Dalam buku ini kita mengelaborasi daftar tugas-tugas tersebut untuk menggambarkan dan menjangkau seluruh rangkaian kegiatan yang dapat diklasifikasikan ke dalam komunikasi data dan komputer.

1.2 KOMUNIKASI DATA

Bagian dua buku ini berkaitan dengan aspek-aspek fundamental dari fungsi komunikasi, yang memfokuskan pada transmisi sinyal yang andal dan efisien. Bagi yang menginginkan istilah yang lebih baik, bagian dua ini kita beri judul 'Komunikasi Data'. Istilah tersebut juga menjangkau beberapa topik di bagian tiga buku ini.

Untuk lebih jelasnya dapat memfokus ke bagian dua, dalam Gambar 1.2 menunjukkan suatu perspektif baru terhadap model komunikasi yang sebelumnya ditunjukkan dalam Gambar 1.1a. Kita akan menelusuri secara detail gambar ini dengan menggunakan surat elektronik (electronic mail) sebagai contoh.



Gambar 1.2 Model Komunikasi Data Sederhana

Anggap saja perangkat input dan transmitter merupakan komponen dari suatu PC. User PC bermaksud mengirim suatu pesan m ke user yang lain. User mengaktifkan program electronic mail di dalam PC dan memasukkan pesan melalui keyboard (perangkat input). String karakter secara singkat di tahan di dalam memori utama. Kita dapat melihatnya sebagai rangkaian bit (g) di dalam

memori. PC di hubungkan dengan beberapa media transmisi, misalnya sebuah local network atau jaringan telepon, lewat suatu perangkat I/O (transmitter), dalam hal ini berupa local network transceiver atau modem. Data yang masuk ditransfer ke transmitter sebagai rangkaian dari perubahan tegangan $[g(t)]$ yang menunjukkan bit-bit pada communication bus atau kabel. Transmitter dihubungkan secara langsung ke media dan merubah aliran yang masuk $[g(t)]$ menjadi sinyal $[s(t)]$ yang mampu untuk ditransmisikan, beberapa alternatif-alternatif khusus nantinya akan digambarkan lagi di bab 5.

Sinyal yang ditransmisikan $s(t)$ yang diserahkan ke media menjadi subyek untuk sejumlah gangguan, yang didiskusikan di bab 3, sebelum mencapai receiver. Jadi, sinyal yang diterima $r(t)$ dapat saja berbeda dari $s(t)$. Receiver akan berupaya menganalisis keaslian $s(t)$, didasarkan atas $r(t)$ dan pengetahuannya atas media, dan menghasilkan rangkaian bit $g'(t)$. Bit-bit ini dikirim ke komputer output, dimana bit-bit tersebut secara singkat ditahan di dalam memori sebagai (g') . Dalam beberapa kasus, sistem tujuan akan berupaya untuk memperingatkan bila terjadi error, dan untuk selanjutnya bekerja sama dengan sistem sumber sampai akhirnya mendapatkan data yang bebas dari error (error-free data). Data-data ini kemudian diberikan kepada user melalui suatu perangkat output, seperti printer atau layar. Pesan atau message (m') sebagaimana yang dilihat oleh user biasanya merupakan salinan dari pesan aslinya (m).

Sekarang bayangkan sebuah percakapan telepon. Dalam kasus ini, untuk telepon adalah pesan (m) dalam bentuk gelombang suara. Gelombang suara diubah oleh pesawat telepon menjadi sinyal-sinyal elektronik dari frekuensi yang sama. Sinyal-sinyal tersebut ditransmisikan tanpa modifikasi melalui jaringan telepon. Oleh sebab itu sinyal input $g(t)$ dan sinyal-sinyal yang ditransmisikan $s(t)$ menjadi identik. Sinyal $s(t)$ akan mengalami beberapa distorsi pada media, sehingga sinyal $r(t)$ tidak akan sama dengan $s(t)$. Meskipun begitu, sinyal $r(t)$ akan diubah kembali menjadi gelombang suara dengan tanpa upaya perbaikan atau peningkatan kualitas sinyal. Jadi m' bukanlah replika dari m . Bagaimanapun juga, pesan suara umumnya lebih mudah dipahami pendengarnya.

Sampai sejauh ini, pembahasan mengenai hal ini tidak akan menyentuh aspek-aspek kunci lainnya dari komunikasi data, seperti teknik-teknik kontrol jaringan data untuk mengontrol data link serta mendeteksi dan memperbaiki kesalahan, teknik-teknik multiplexing untuk efisiensi transmisi. Seluruh topik itu akan dibahas tuntas di Bagian Dua.

1.3 JARINGAN KOMUNIKASI DATA

Seringkali, sangatlah tidak praktis saat dua perangkat komunikasi dihubungkan secara langsung, dari ujung ke ujung. Berikut ini contoh kemungkinan-kemungkinan yang terjadi :

- Bila perangkat-perangkatnya merupakan bagian yang saling jauh terpisah, misalnya berada pada jarak ribuan kilometer, tentunya akan memakan biaya yang sangat banyak sekali untuk menyambung dan menghubungkannya.
- Terdapat serangkaian perangkat, masing-masing membutuhkan jaringan untuk menghubungkan satu sama lain pada waktu-waktu yang berbeda. Sebagai contoh, seluruh telepon di dunia serta semua terminal dan komputer

dimiliki oleh satu perusahaan yang sama. Kecuali dalam hal-hal tertentu, misalnya untuk beberapa alat yang jumlahnya terbatas, sangatlah tidak praktis bila harus menyediakan kabel untuk menghubungkan masing-masing bagian tersebut.

Solusi bila terjadi masalah seperti ini adalah dengan cara menghubungkan masing-masing perangkat tersebut dengan suatu jaringan komunikasi (communication network). Gambar 1.3 menghubungkan pembahasan masalah ini dengan model komunikasi dalam Gambar 1.1a, serta ditampilkan pula dua kategori utama yang dianjurkan dimana biasanya jaringan komunikasi diklasifikasikan: Wide Area Networks (WAN) dan Local Area Networks (LAN). Perbedaan nyata antara dua hal ini, meskipun keduanya berkaitan dengan teknologi serta aplikasinya, telah menjadi kabur dalam beberapa tahun ini, namun tetap menyisakan hal-hal yang berguna bila ingin menyusun pembahasan mengenai.

Wide Area Networks

Wide Area Networks umumnya mencakup area geografis yang luas sekali, melintasi jalan umum, dan perlu juga menggunakan fasilitas umum. Biasanya, suatu Wan terdiri dari sejumlah node penghubung. Suatu transmisi dari suatu perangkat diarahkan melalui node-node atau persimpangan-persimpangan internal ini menuju perangkat tujuan yang dituju. Node-node ini tidak berkaitan dengan isi data, melainkan dimaksudkan untuk menyediakan fasilitas-fasilitas switching yang akan memindah data dari satu node ke node yang lain sampai mencapai tujuan.

Biasanya, WAN diimplementasikan menggunakan satu dari dua teknologi ini: circuit switching dan packet switching. Sedangkan saat ini, frame relay dan jaringan ATM juga telah memiliki peranan penting.

Circuit Switching

Di dalam jaringan circuit switching, jalur komunikasi yang tepat dibangun di antara dua station melewati node atau persimpangan jaringan. Jalur adalah suatu rangkaian jaringan fisik yang terhubung di antara node. Pada masing-masing jaringan, suatu logical channel dimasukkan ke dalam proses koneksi ini. Data yang dikirimkan oleh sumber station ditransmisikan sepanjang jalur yang tepat secepat mungkin. Pada setiap node, data yang masuk diarahkan atau dialihkan ke channel keluar yang tepat tanpa mengalami penundaan sama sekali. Contoh yang paling umum dalam hal circuit switching adalah jaringan telepon.

Packet Switching

Untuk jaringan packet switching menggunakan pendekatan yang berbeda. Dalam hal ini, tidak perlu mempergunakan kapasitas transmisi sepanjang jalur melewati jaringan. Cukup dengan, data dikirim keluar dengan menggunakan rangkaian potongan-potongan kecil secara berurutan, yang disebut packet. Masing-masing packet melewati jaringan dari satu node ke node yang lain sepanjang jalur yang membentang dari sumber ke tujuan. Pada setiap node, seluruh packet diterima, disimpan dengan cepat, dan ditransmisikan ke node berikutnya. Jaringan packet-switching umumnya dipergunakan untuk komunikasi dari terminal ke komputer dan komputer ke komputer.

Frame Relay

Packet Switching dikembangkan pada saat fasilitas-fasilitas transmisi jarak

jauh digital menunjukkan rate error yang relatif tinggi bila dibandingkan dengan fasilitas-fasilitas yang ada saat ini. Sebagai hasilnya, adanya beberapa muatan overhead yang ditambahkan ke packet switching skema untuk mengganti kesalahan. Overhead meliputi bit-bit tambahan yang ditambahkan ke masing-masing packet untuk mengenali redundancy dan proses tambahan pada station terakhir serta intermediate switching nodes untuk mendeteksi dan menghindari kesalahan. Dengan sistem telekomunikasi berkecepatan tinggi yang modern ini, overhead semacam ini tentunya tidak diperlukan lagi dan sifatnya kontraproduktif. Alasannya karena rate error sudah semakin rendah dan walaupun terjadi, dapat dengan mudah ditangkap di sistem terakhir melalui logik yang beroperasi di level logic packet switching. Disebut kontraproduktif karena overhead memberikan fungsi signifikan dengan kapasitas tinggi yang disediakan oleh jaringan.

Frame relay dikembangkan agar tingkat rata-rata data berkecepatan tinggi ini (high data rates) dan tingkat rata-rata error yang rendah ini dapat dimanfaatkan. Mengingat, jaringan packet switching yang asli dirancang dengan suatu rate data sampai ke user terakhir sebesar kira-kira 64 kbps, jaringan frame relay dirancang agar dapat dioperasikan secara efisien pada rate data user sampai sebesar 2Mbps. Kunci untuk mencapai rate data yang tinggi ini adalah dengan cara membuang kebanyakan overhead yang berkaitan dengan kendali kesalahan.

ATM

Asynchronous Transfer Mode (ATM), yang kadang-kadang ditunjukkan sebagai cell relay, merupakan titik kulminasi dari keseluruhan perkembangan yang terjadi dalam circuit switching dan packet switching selama 25 tahun terakhir.

ATM dapat dipandang sebagai suatu evolusi dari frame relay. Perbedaan yang sangat jelas antara frame relay dengan ATM adalah bahwa frame relay menggunakan variable length packet yang disebut frame, sedangkan ATM menggunakan fixed-length packet yang disebut cell. Sebagaimana frame relay, ATM menyediakan sedikit overhead untuk mengontrol error, tergantung pada realibilitas yang melekat pada sistem transmisi serta pada lapisan logic yang lebih tinggi di akhir sistem untuk menangkap dan memperbaiki error. Dengan menggunakan fixed packet length, processing overhead dapat dikurangi bahkan lebih jauh untuk ATM yang dibandingkan dengan frame relay. Hasilnya adalah ATM dirancang sedemikian rupa agar mampu bekerja dalam range 10 dan 100 Mbps serta untuk range Gbps.

ATM juga dapat dipandang sebagai suatu evolusi dari circuit switching. Dengan circuit switching, hanya fixed-data-rate circuit yang tersedia sampai sistem terakhir. ATM memungkinkan definisi dari multiple virtual channel dengan tingkat rata-rata data yang secara dinamis ditentukan pada saat virtual channel diciptakan. Dengan menggunakan fixed-size cell berukuran kecil, ATM nampak begitu efisien sehingga mampu menawarkan data-rate channel yang konstan meskipun dengan menggunakan teknik packet switching. Jadi, ATM memperluas circuit switching untuk memungkinkan multiple channel dengan data rate pada masing-masing channel bisa terangkai secara dinamis sesuai permintaan.

ISDN dan Broadband ISDN

Merger dan pengembangan teknologi komunikasi dan komputer, sesuai dengan permintaan yang semakin meningkat akan pengumpulan, pengolahan, dan penyebaran informasi yang lebih efisien dan tepat waktu, telah membawa ke arah

pengembangan sistem yang terintegrasi untuk mentransmisikan dan mengolah segala jenis data. Peningkatan yang signifikan akan kecenderungan-kecenderungan atau trend ini ditunjukkan dengan adanya ISDN (Integrated Service Digital Networks).

ISDN dirancang sedemikian rupa untuk menggantikan jaringan telekomunikasi publik yang telah ada dan memberikan variasi jasa yang lebih luas lagi. ISDN ditentukan oleh standarisasi penggunaan interface dan diimplementasikan sebagai suatu rangkaian switch digital dan jalur yang mendukung berbagai jenis traffic serta menyediakan jasa proses bernilai lebih. Dalam praktiknya, terdapat jaringan-jaringan multiple, yang diimplementasikan di dalam batas negara, namun dari sudut pandang user, terdapat jaringan global tunggal dan informal yang dapat diakses.

Meskipun pada kenyataannya ISDN belum mampu mencapai penyebaran universal yang diharapkan, pada generasi keduanya ternyata sudah siap. Pada generasi pertama, dikenal sebagai narrowband ISDN, didasarkan penggunaan kanal 64 kbps sebagai unit dasar dari switching dan berorientasi circuit switching. Kontribusi teknis utama dari narrowband ISDN dapat diupayakan sebagai frame relay. Generasi kedua, dikenal sebagai broadband ISDN, mendukung kecepatan data yang sangat tinggi (100-an Mbps) dan berorientasi pada packet switching. Kontribusi teknis utama dari broadband ISDN, dapat diupayakan menjadi asynchronous transfer mode (ATM), juga disebut sebagai cell relay.

Local Area Networks

Sama halnya dengan WAN, LAN merupakan suatu jaringan komunikasi yang saling menghubungkan berbagai jenis perangkat dan menyediakan pertukaran data di antara perangkat-perangkat tersebut.

Terdapat beberapa perbedaan utama di antara LAN dan WAN:

1. Lingkup LAN kecil. Biasanya meliputi bangunan tunggal atau sekelompok gedung. Perbedaan dalam cakupan area geografis ini membawa pada solusi-solusi teknis yang berbeda pula yang akan kita lihat nanti.
2. Merupakan hal yang umum di mana LAN dimiliki oleh suatu organisasi yang sama yang juga menguasai semua peralatan. Sedangkan untuk WAN, hanya untuk beberapa kasus tertentu saja. Suatu jaringan yang tidak dimiliki siapapun. Hal ini membawa dua implikasi. Pertama, perawatan harus benar-benar dilakukan bila memilih LANs, sebab kemungkinan adanya investasi modal yang substansial (dibandingkan dengan dial up atau leased charges untuk WAN) dalam hal pembelian dan maintenance. Kedua, manajemen jaringan LAN bertanggung jawab sampai dengan tingkat user.
3. Tingkat kecepatan data internal LAN biasanya lebih besar daripada tingkat kecepatan data internal WAN.

Biasanya, LAN menggunakan pendekatan jaringan broadcast lebih daripada pendekatan switching. Dengan broadcast communication networks, tidak ada node-node penengah. Pada masing-masing station, terdapat sebuah transmitter/receiver yang menghubungkan media dengan station line. Sebuah transmisi dari satu station disiarkan dan diterima oleh semua station-station lain. Data biasanya ditransmisikan dalam bentuk packet. Karena medianya dibagi, maka hanya ada satu station pada saat itu yang dapat mentransmisikan paket.

Baru-baru ini contoh-contoh mengenai switced LANs, khususnya ethernet LAN switch, telah muncul. Dua contoh menonjol yang lain adalah ATM LAN, yang secara sederhana menggunakan suatu jaringan ATM dalam satu local area, serta Fibre Channel.

1.4 PROTOCOL DAN ARSITEKTUR PROTOCOL

Ketika computer, terminal, dan/ atau perangkat pengolah data yang lain meimndahkan data, pokok bahasan yang dimaksud lebih luas dari pada pokok bahasan yang telah kita bicarakan di Subbab 1.2 dan 1.3. Anggap saja, sebagai contoh, proses pentransferan suatu file di antara dua computer. Dalam hal ini haruslah ada suatu jalur data (data path) antara dua computer tersebut, baik apakah secara langsung atau melalui suatu jaringan komunikasi. Namun masih diperlukan lebih dari itu. Tugas-tugas khusus yang ditampilkan adalah:

1. Selain harus mengaktifkan jalur komunikasi data langsung, system sumber juga harus mampu menginformasikan identitas system tujuan yang diinginkan kepada jaringan komunikasi.
2. Sistem sumber harus dapat memastikan bahwa system tujuan benar-benar dipersiapkan untuk menerima data.
3. Aplikasi transfer file pada sistem sumber harus dapat memastikan bahwa program manajemen file pada sistem tujuan benar-benar dipersiapkan untuk menerima dan menyimpan file untuk beberapa user tertentu.
4. Bila format-format file yang dipergunakan pada kedua sistem tersebut tidak kompatibel, maka salah satu atau sistem yang lain harus mampu melakukan fungsi penerjemahan format.

Proses pertukaran informasi antara komputer untuk keperluan saling bekerja sama secara umum menunjukkan suatu komunikasi komputer. Hampir sama dengan itu, saat dua komputer atau lebih saling dihubungkan melalui sebuah jaringan komunikasi, rangkaian station-station komputernya disebut sebagai computer network. Karena dengan tahap yang sama saling kerja sama diperlukan antara user terminal dan komputer, istilah-istilah ini sering digunakan ketika beberapa entiti dari sistem adalah terminal.

Saat membahas masalah komunikasi komputer dan jaringan komputer, terdapat dua konsep penting, yakni:

- ☐ Protocol
- ☐ Arsitektur komunikasi-komputer (Computer-communications architecture), atau arsitektur protocol (protocol architecture)

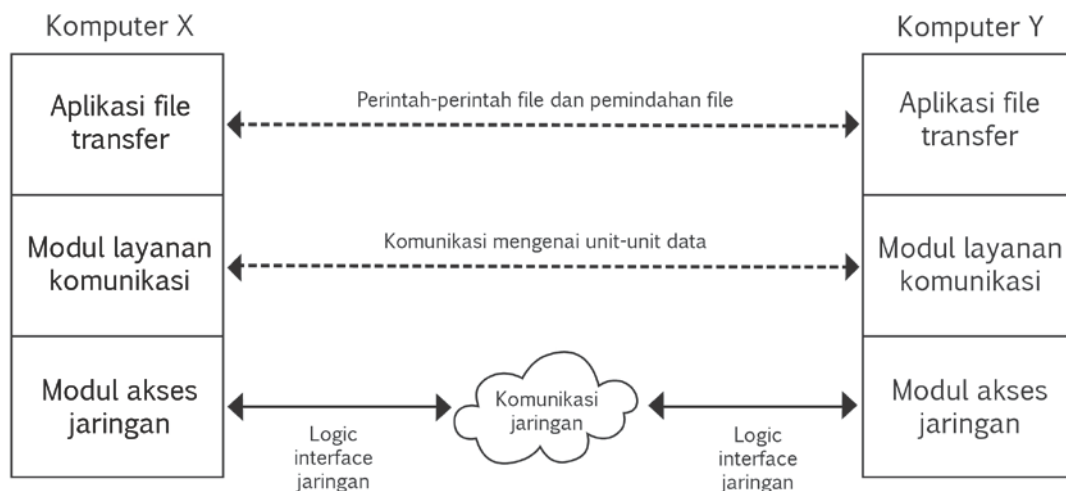
Sebuah protocol dipergunakan untuk proses komunikasi di antara entiti pada sistem yang berbeda-beda. Istilah *entiti* dan *sistem* dipergunakan dalam berbagai istilah umum. Sebagai contoh entiti adalah program-program aplikasi user (user aplication programs), program transfer file (file transfer package), sistem

manajemen data-base (data-base managemenet system), fasilitas electronic mail, dan terminal. Sedangkan contoh, untuk istilah sistem adalah komputer, terminal, dan sensor remote (remote sensors). Perlu diingat bahwa pada beberapa kasus tertentu di mana entiti dan sistem berada bersifat coextensive (misalnya, terminal). Umumnya, suatu entiti cukup mampu untuk mengirim dan menerima informasi, dan suatu sistem secara fisik merupakan obyek yang berbeda yang memuat satu entiti atau lebih. Bagi dua entity agar dapat berkomunikasi secara lancar, ibaratnya, keduanya harus berbicara dengan dua bahasa yang sama. Apa yang dikomunikasikan, bagaimana komunikasi itu terjadi, serta saat komunikasi tersebut dilakukan haruslah sesuai dengan kesepakatan di antara entiti-entiti yang terlibat. Kesepakatan yang dimaksud menunjuk pada sebuah protocol, yang dapat juga diartikan sebagai suatu rangkaian aturan yang membawahi proses pertukaran data di antara dua entiti. Elemen-elemen kunci untuk sebuah protocol adalah sebagai berikut:

- ❑ **Syntax:** Meliputi segala sesuatu yang berkaitan dengan format data dan level-level sinyal
- ❑ **Semantics:** Meliputi informasi kontrol untuk koordinasi dan pengendalian kesalahan
- ❑ **Timing:** Meliputi kesesuaian urutan dan kecepatan

Setelah diperkenalkan mengenai konsep sebuah protocol, sekarang beralih mengenai konsep arsitektur protocol (protocol architecture). Jelas sudah bahwa harus ada suatu tingkat kerjasama yang tinggi di antara dua komputer.

Sebagai contoh, dalam Gambar 1.4 dianjurkan cara di mana suatu fasilitas transfer file dapat diimplementasikan. Terdapat tiga modul yang dipergunakan. Task 3 dan 4 pada daftar sebelumnya ditunjukkan lewat sebuah modul transfer file. Kedua modul dalam kedua sistem mempertukarkan file dan perintah. Bagaimanapun juga, daripada menggunakan modul transfer file untuk menghadapi detail-detail



Gambar 1.4 Arsitektur Sederhana Untuk File

pengalihan data dan perintah yang sebenarnya, masing-masing model transfer file mengikuti model layanan komunikasi. Modul ini bertanggung jawab untuk memastikan bahwa file transfer command dan data cukup andal pertukarannya di antara sistem. Antara lain, modul ini menunjukkan mengenai task 2. Kita mengamati bahwa sifat pertukaran di antara sistem bebas dari sifat jaringan yang menghubungkannya satu sama lain. Untuk itu, daripada menyusun detail-detail dari interface jaringan ke dalam modul layanan komunikasi, lebih masuk akal bila memiliki model ketiga, yaitu model akses jaringan (network access module), yang bisa menampilkan task 1 dengan cara berinteraksi dengan jaringan.

Untuk meringkasnya, modul transfer file yang berisikan semua logic yang unik ke aplikasi transfer file, seperti misalnya password-password transmitting (transmitting passwords), file commands, serta file records. Diperlukan untuk mentransmisikan file-file dan perintah-perintah tersebut secara tepat. Bagaimanapun juga, perangkat reliabilitas berurutan yang sama sangatlah relevan dengan berbagai jenis aplikasi (misalnya, electronic mail, transfer dokumen). Untuk itu, pada dasarnya logic yang berkaitan dengan jaringan terpisah jauh menjadi modul akses jaringan tersendiri. Jadi, bila jaringan yang diperlukan berubah, hanya modul akses jaringanlah yang terpengaruh.

Demikian, daripada menggunakan modul tunggal untuk meningkatkan kinerja komunikasi, masih ada rangkaian terstruktur dari modul-modul tersebut

yang menerapkan fungsi-fungsi komunikasi. Struktur tersebut disebut sebagai arsitektur protocol (protocol architecture). Pada bagian akhir bagian ini, kita menggeneralisir contoh terdahulu untuk menunjukkan struktur protocol yang sederhana. Berkaitan dengan hal itu, kita melihat lebih jauh, contoh yang benar-benar nyata: TCP/IP dan OSI.

Model Tiga Lapisan (Three-Layer Model)

Menurut istilah yang sangat umum, dapat dikatakan bahwa komunikasi meliputi tiga hal: aplikasi, komputer, dan jaringan. Salah satu contoh mengenai aplikasi adalah operasi transfer file. Aplikasi yang dijalankan di komputer sering mendukung aplikasi simultan ganda. Komputer dihubungkan dengan jaringan, dan data yang dipindahkan ditransfer melalui jaringan dari satu komputer ke komputer yang lain. Jadi, proses pengalihan data dari satu aplikasi ke aplikasi itu dan kemudian masukkan data tersebut ke aplikasi yang dimaksud dalam komputer.

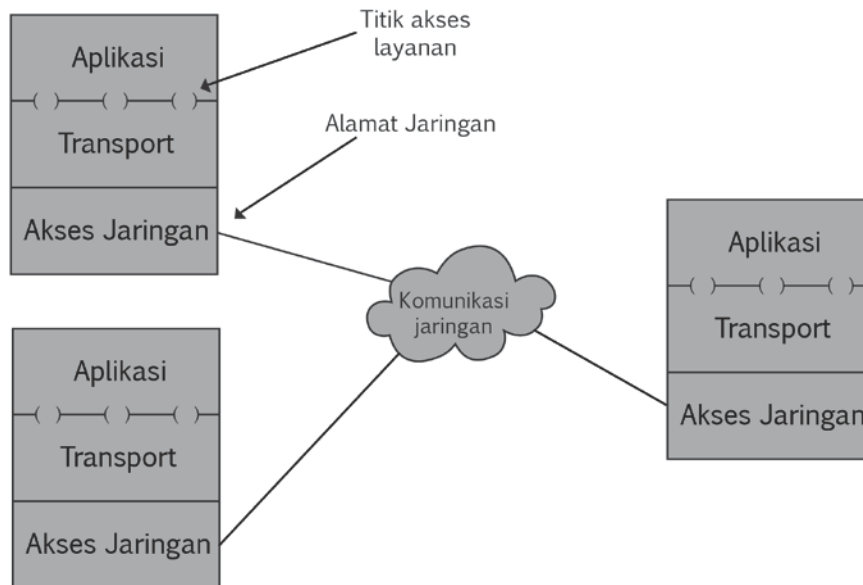
Dengan konsep-konsep seperti ini di pikiran kita, wajar saja bila task komunikasi dibagi menjadi tiga lapisan yang berdiri sendiri:

- ☐ Network acces layer
- ☐ Transport layer
- ☐ Application layer

Network acces layer berkaitan dengan perpindahan data di antara komputer dengan jaringan di mana jaringan tersebut dihubungkan. Komputer yang melakukan proses pengiriman harus melengkapi jaringan dengan alamat komputer yang hendak dituju, agar jaringan tersebut dapat megarahkan data menuju tujuan yang dimaksud. Komputer yang melakukan proses pengiriman tersebut juga dapat menuntut beberapa layanan tertentu, misalnya prioritas, yang mungkin juga disediakan oleh jaringan. Software khusus yang dipergunakan pada lapisan ini tergantung pada tipe jaringan yang dipergunakan; standart-standart yang berbeda telah dikembangkan untuk circuit switching, paket switching, LAN, dan yang lainnya. Jadi, cukup masuk akal untuk memisahkan fungsi-fungsi tersebut. Dengan melakukan hal ini, software komunikasi yang tersisa, di atas lapisan akses jaringan, tidak memfokus kepada spesifikasi jaringan yang digunakan. Software

lapisan yang tinggi harus menentukan secara tepat dan khas tentang jaringan yang dipergunakannya.

Dengan tanpa memperhatikan sifat aplikasi yang sedang melakukan proses perpindahan data, ada persyaratan-persyaratan umum supaya data bisa dipindahkan dengan baik. Yaitu, kita harus memastikan bahwa seluruh data benar-benar tiba pada aplikasi tujuan dan bahwa data yang tiba sesuai dengan diperintahkan darimana data tersebut dikirim. Sebagaimana uang kita lihat, mekanisme akan reabilitas ini benar-benar berbeda dengan sifat aplikasi. Jadi, dimungkinkan untuk mengumpulkan mekanisme-mekanisme tersebut dalam lapisan yang digunakan bersama oleh semua aplikasi, ini menunjukkan ke lapisan transport (**transport layer**).



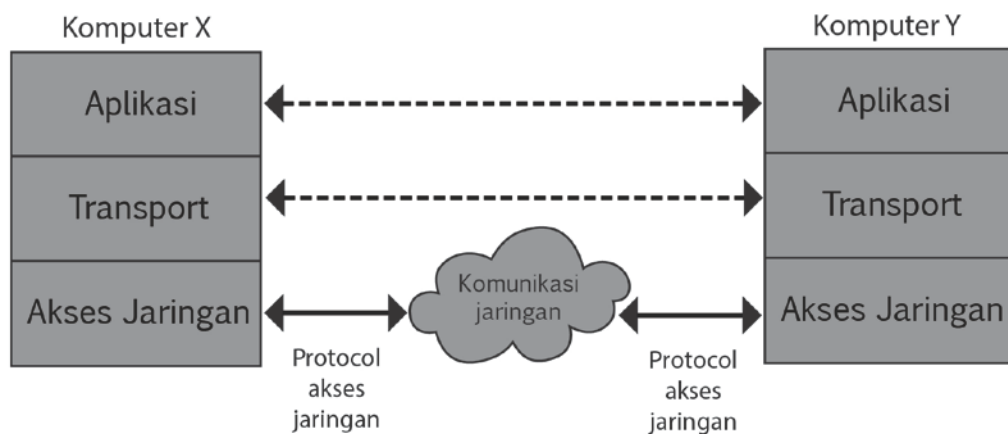
Gambar 1.5 Arsitektur Protocol dan Jaringan

Akhirnya, lapisan aplikasi berisikan logik yang diperlukan untuk mendukung berbagai jenis aplikasi user. Untuk masing-masing tipe aplikasi yang berbeda, misalnya file transfer, diperlukan suatu modul yang terpisah yang khusus terhadap aplikasi tersebut.

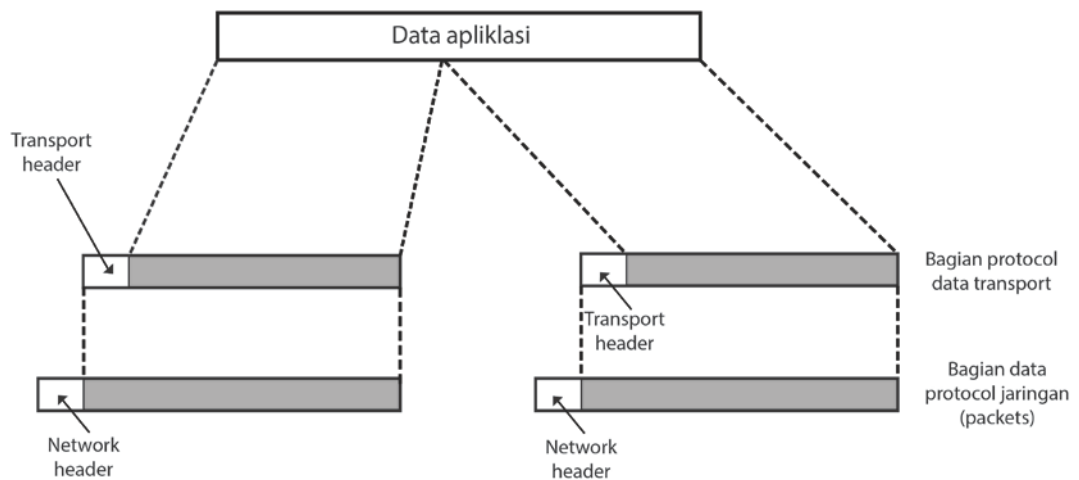
Gambar 1.5 dan 1.6 menggambarkan struktur yang sederhana ini. Dalam Gambar 1.5 tampak tiga komputer yang dihubungkan ke satu jaringan. Masing-masing komputer memuat software pada lapisan transport dan akses jaringan serta software pada lapisan aplikasi untuk satu aplikasi atau lebih. Agar progres komunikasinya berhasil, setiap entiti di seluruh sistem harus memiliki alamat-

alamat khusus. Sebenarnya, diperlukan dua tingkatan pengalamatan. Masing-masing komputer pada jaringan juga harus memiliki alamat tertentu, agar jaringan bisa mengirim data ke komputer yang tepat. Setiap aplikasi pada sebuah komputer harus memiliki alamat khusus di dalam komputer tersebut, agar lapisan transport mampu mendukung aplikasi-aplikasi ganda (multiple applications) pada masing-masing komputer. Alamat-alamat yang disebut terakhir itu dikenal dengan nama Service Access Points (SAPs), mengandung fakta betapa masing-masing aplikasi tersebut secara terpisah mengakses ke layanan dari lapisan transport.

Pada Gambar 1.6 menunjukkan bahwa modul-modul pada level yang sama pada komputer yang berbeda berkomunikasi satu sama lain dengan memakai sebuah protocol. Sekarang kita meniru sebuah operasi sederhana. Andaikan aplikasi berhubungan dengan SAP 1 dari komputer X, ingin mengirim pesan



Gambar 1.6 Protocol dalam Arsitektur Sederhana

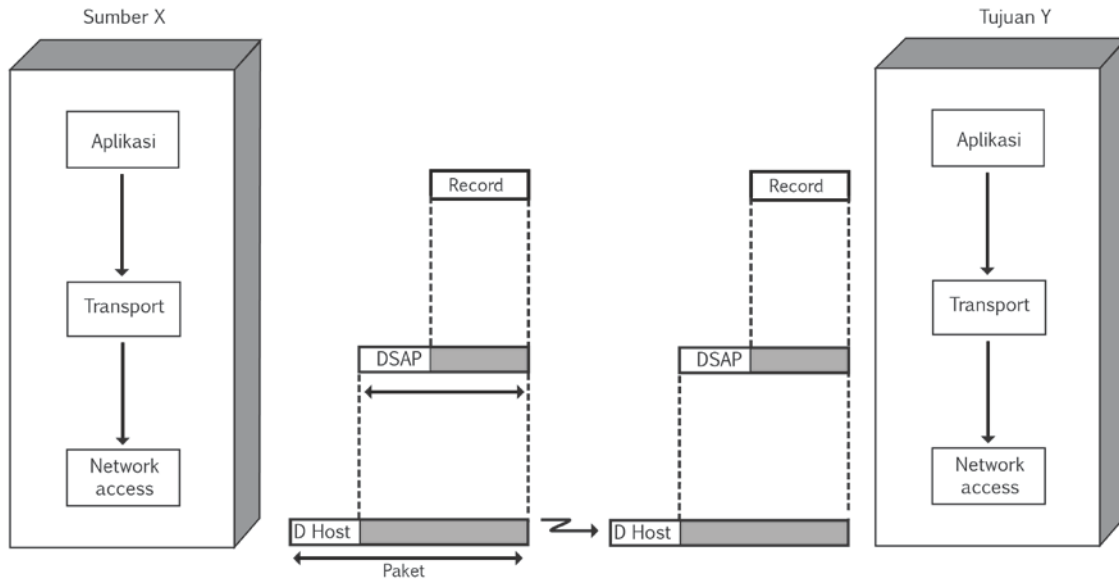


Gambar 1.7 Bagian Data Control

ke aplikasi yang lain berhubungan dengan SAP 2 dalam komputer Y. Aplikasi yang berada di komputer X melalui pesan itu ke lapisan transport dengan instruksi berisi kirim pesan itu ke SAP2 dalam komputer Y. Lapisan transport melalui pesan itu lapisan network access, yang memberi perintah pada jaringan agar mengirim pesan itu ke komputer Y. Perhatikan bahwa jaringan tidak perlu tahu tentang identitas SAP tujuan. Yang perlu diketahui adalah bahwa data tersebut benar-benar data yang dimaksudkan untuk komputer Y.

Untuk mengontrol operasi ini, control information, sama halnya dengan data user, harus ditransmisikan, sebagaimana yang dianjurkan seperti pada Gambar 1.7. Kita dapat mengatakan bahwa aplikasi pengiriman membangkitkan blok data dan melaluinya ke lapisan transport. Lapisan transport memisahkan blok ini ke dua belahan agar bisa diatur dengan mudah. Kedua belahan lapisan transport menambah header, berisi informasi mengenai contoh protocol. Kombinasi antara data dari lapisan berikutnya dan control information dinamakan protocol data unit (PDU); dalam hal ini, ini berkaitan kepada transport PDU. Header pada setiap transport PDU memuat control information yang dipergunakan oleh transport protocol pada komputer B. Contoh dari item-item yang dapat disimpan di dalam header ini meliputi:

- ❑ **Destination SAP:** Saat lapisan transport tujuan menerima transport PDU, harus diketahui kepada siapa data tersebut dikirim.
- ❑ **Sequence number:** Karena protocol transport mengirimkan deretan PDU, dan memasukkannya dalam antrian secara sequensial sehingga saat mereka tiba tidak sesuai dengan yang diperintahkan, entiti transport tujuan dapat memerintah mereka kembali.
- ❑ **Error-detection code:** Entiti transport yang dikirimkan meliputi suatu kode yang merupakan fungsi dari isi dari sisa PDU. Protocol transport yang menerima melakukan kalkulasi yang sama dan membandingkan hasilnya dengan code yang datang. Hasilnya akan mengalami ketidaksesuaian bila ada error pada transmisinya. Bila hal itu terjadi, receiver akan membuang PDU dan melakukan tindakan perbaikan.



Gambar 1.8 Operasi Sebuah Arsitektur Protocol

Langkah berikutnya bagi lapisan transport untuk menangani setiap PDU di sepanjang lapisan jaringan, dengan intruksi-intruksi agar mentransmisikannya ke komputer tujuan. Untuk memenuhi permintaan ini, protocol network access harus memberikan data ke network dengan permintaan untuk dikirimkan. Sebagaimana sebelumnya, operasi ini membutuhkan penggunaan control information. Dalam hal ini, protocol network access menambah header network access ke data yang diterima dari lapisan transport, dan membuat PDU network access. Contoh dari item-item yang dapat disimpan pada header meliputi beberapa hal sebagai berikut:

- ❑ **Destination computer address:** Jaringan harus tahu kepada siapa (komputer yang pada jaringan tersebut) data harus dikirimkan.
- ❑ **Facilities requests:** Protocol network access dapat saja meminta jaringan agar membuat beberapa fasilitas tertentu, misalnya prioritas.

Gambar 1.8 meletakkan semua konsep ini bersama-sama, menunjukkan adanya interaksi di antara modul untuk mentransfer satu blok data. Dapat kita katakan bahwa file transfer modul di komputer X mentransfer file record satu pada saat yang sama ke komputer Y. Setiap record ditangani melalui lapisan transport modul. Kita dapat menggambarkan tindakan ini sebagai bentuk perintah atau pemanggilan prosedur. Uraian dari pemanggilan prosedur ini berisi alamat komputer tujuan, SAP tujuan, dan record. Lapisan transport menambah SAP tujuan dan control information yang lain ke record untuk membuat transport PDU.

Dan kemudian dilalui ke lapisan network access dengan pemanggilan prosedur yang lain. Dalam hal ini, uraian untuk perintah adalah alamat komputer tujuan dan Transport PDU. Lapisan Network Access menggunakan informasi ini untuk menyusun suatu Network PDU. Transport PDU adalah bagian dari network PDU, dan header network PDU meliputi informasi yang berkaitan dengan alamat komputer sumber dan komputer tujuan. Dapat dicatat bahwa header transport tidak cukup kelihatan pada lapisan network access. Dan lapisan Network Access juga tidak berkaitan dengan isi atau muatan transport PDU.

Jaringan menerima Network PDU dari X dan mengirimkannya ke Y. Modul Network Access di Y menerima PDU, membuang header, dan mentransfer transport PDU yang termuat ke modul lapisan transport Y. Lapisan Transport menentukan header transport PDU dan berdasarkan atas field SAP pada header, mengirimkan record yang termuat ke aplikasi yang tepat, dalam hal ini yang dimaksud adalah modul file transfer di Y.

Arsitektur Protocol TCP/IP

Dua arsitektur protocol telah disediakan sebagai dasar atau basis bagi pengembangan standar-standar komunikasi: TCP/IP protocol suite dan OSI reference model. TCP/IP adalah arsitektur standar yang banyak di pergunakan dan OSI telah menjadi model standar untuk mengklasifikasikan fungsi-fungsi komunikasi. Di bagian akhir bagian ini, disajikan sekilas mengenai dua struktur ini; lebih jauh lagi topic mengenai hal ini akan dibahas di Bab 2.

TCP/IP merupakan hasil dari pengembangan dan riset protocol yang dilakukan atas jaringan paket-switched eksperimental (experimental packet-switched network), ARPANET, dan didanai oleh DARPA (Defense Advanced Research Project Agency), dan secara umum dikenal sebagai TCP/IP protocol suite. Protocol suite ini terdiri atas sekumpulan protocol dalam jumlah besar yang dijadikan sebagai standar Internet.

Tidak ada model protocol TCP/IP resmi sebagaimana yang ada dalam OSI. Bagaimanapun juga, bila didasarkan atas standar-standar protocol yang telah dikembangkan, kita dapat menyusun task-task komunikasi untuk TCP/IP menjadi lima lapisan independen secara relatif:

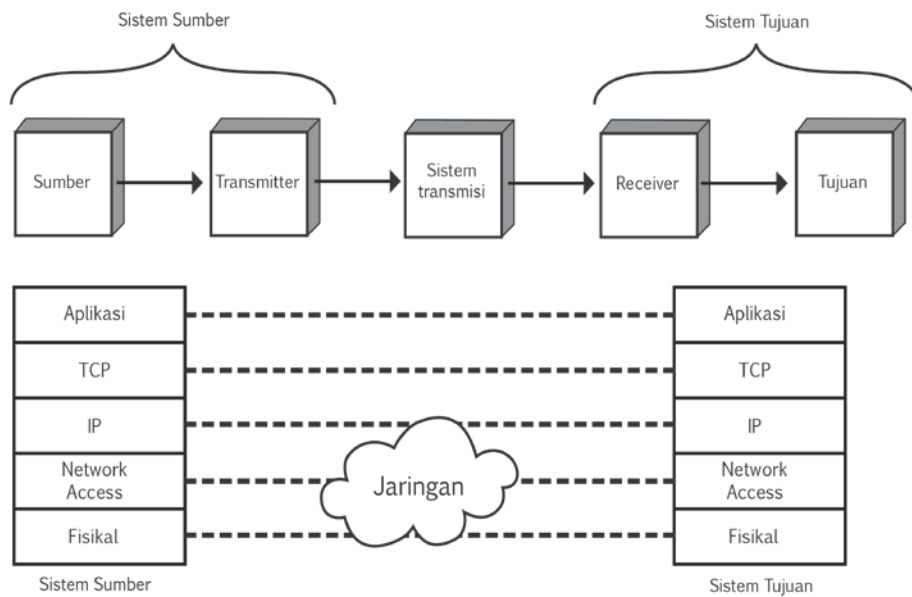
- ☐ Lapisan Aplikasi (Application Layer)
- ☐ Lapisan Host-to-host atau transport
- ☐ Lapisan Internet (Internet Layer)
- ☐ Lapisan Akses Jaringan (Network Access Layer)
- ☐ Lapisan Fisik (Physical Layer)

Physical layer meliputi interface fisik antara suatu perangkat transmisi data (misalnya, workstation, komputer) dengan sebuah media transmisi atau jaringan. Lapisan ini berkaitan dengan karakteristik-karakteristik khusus dari media transmisi, sifat sinyal, rate data data, dan lain-lain yang berkaitan dengan hal itu.

Network access layer berkaitan dengan pertukaran data antara sebuah ujung system dengan jaringan di mana dihubungkan. Komputer pengirim harus menyediakan jaringan dengan alamat komputer yang dituju, sehingga jaringan dapat mengirimkan data ke tujuan secara tepat. Komputer pengirim juga dapat meminta servis-servis tertentu, misalnya prioritas, yang mungkin disediakan oleh jaringan. Software khusus yang dipergunakan pada lapisan ini tergantung pada tipe jaringan yang digunakan; standar-standar berbeda telah dikembangkan untuk circuit switching, packet switching (misalnya, X.25), LAN (misalnya, Ethernet), dan lain-lain.

Lapisan Network Access berkaitan dengan pengaksesan ke mana serta pengiriman data melewati sebuah jaringan untuk dua ujung sistem yang dihubungkan ke jaringan yang sama. Dalam kasus tersebut di mana dua perangkat dihubungkan ke jaringan yang berbeda, diperlukan prosedur-prosedur tertentu agar data dapat melintasi jaringan yang bermacam-macam. Ini merupakan fungsi dari **internet layer**. IP (Internet Protocol) dipergunakan pada lapisan ini untuk menyediakan fungsi routing melintasi jaringan yang bermacam-macam. Protocol ini diterapkan tidak hanya pada ujung sistem namun juga pada jalur-jalurnya.

Router adalah suatu processor yang menghubungkan dua jaringan dan fungsi utamanya adalah untuk merelay data dari satu jaringan yang lain pada

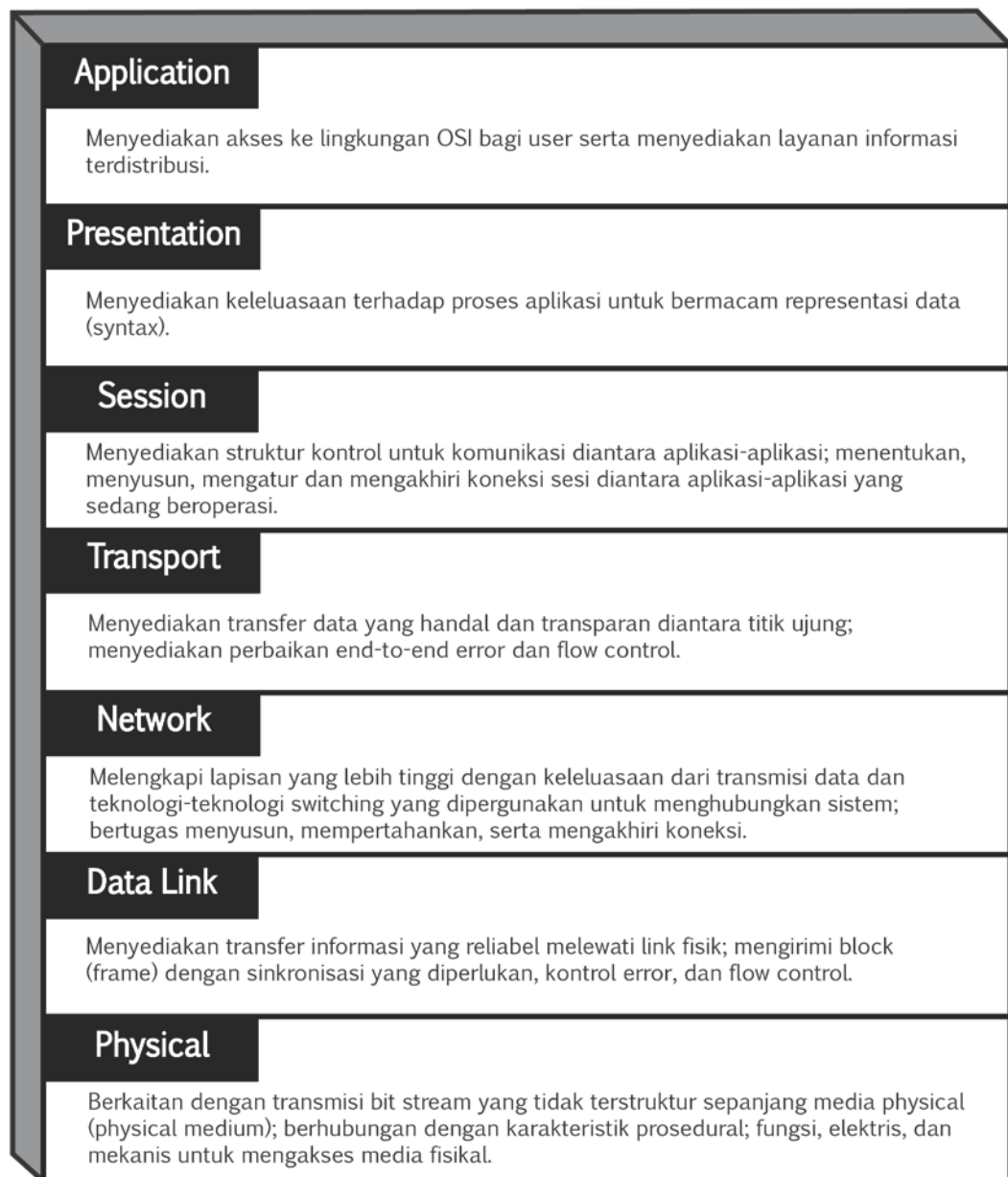


Gambar 1.9 Model Arsitektur Protocol

jalurnya mulai dari sumber ke ujung sistem tujuan.

Dengan mengabaikan sifat aplikasi yang melakukan proses pertukaran data, ada syarat-syarat umum yang harus dipenuhi agar suatu data dapat dipindahkan dengan tepat. Yaitu, dengan memastikan bahwa seluruh data tiba di aplikasi tujuan dan data yang tiba tersebut sesuai dengan yang diperintahkan saat data dikirim. Mekanisme-mekanisme untuk pengiriman yang andal ini berada pada **lapisan host-to-host** atau lapisan **transport**. TCP (Transmission Control Protocol) adalah protocol yang paling umum dipergunakan untuk menyediakan fungsi ini.

Terakhir, **application layer** (lapisan aplikasi) berisikan logic yang dibutuhkan untuk mendukung berbagai aplikasi user. Untuk setiap jenis aplikasi yang berbeda, misalnya file transfer, diperlukan modul terpisah yang sesuai dengan aplikasi tersebut.



Pada Gambar 1.9 ditunjukkan bagaimana protocol-protocol TCP/IP diterapkan pada ujung sistem dan menghubungkan hal tersebut dengan model komunikasi yang ditunjukkan pada Gambar 1.1a. Patut dicatat bahwa lapisan Network Access dan fisik menyediakan interaksi antara ujung sistem dengan jaringan, sedangkan lapisan aplikasi dan transport dikenal dengan nama end-to-end protocol; mereka mendukung interaksi antara dua end system. Pada lapisan Internet (Internet Layer), ujung sistem menyampaikan informasi tentang jalur-jalur namun juga menyediakan beberapa fungsi umum antara dua end system

tersebut, mengenai hal ini akan dibahas lebih jauh dalam buku Jaringan Komputer oleh penulis yang sama.

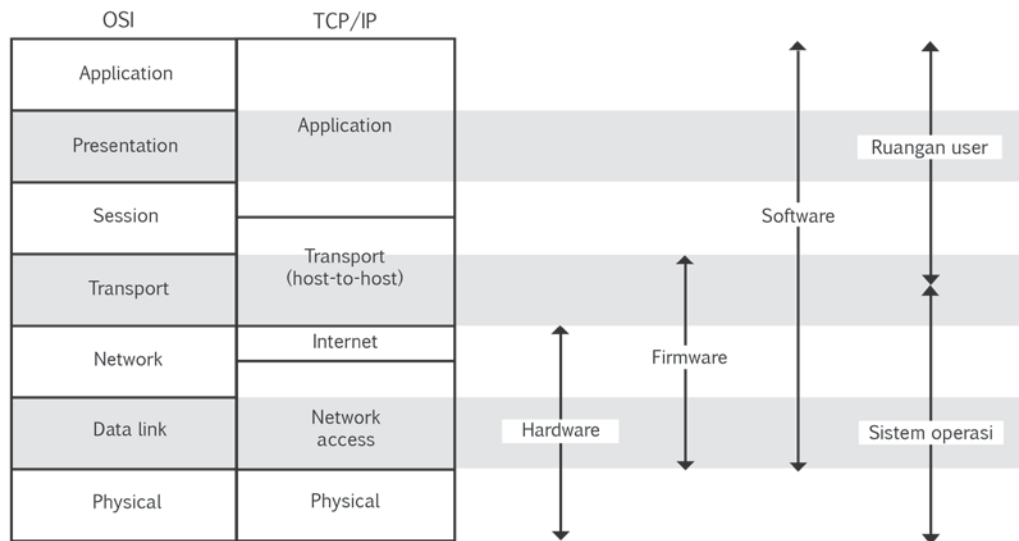
Model OSI

Model OSI (Open Systems Interconnection) dikembangkan oleh ISO (International Organization for Standardization) sebagai model untuk arsitektur komunikasi komputer, serta sebagai kerangka kerja bagi pengembangan standar-standar protocol. Model OSI terdiri dari tujuh lapisan, yaitu:

- ☐ Application
- ☐ Presentation
- ☐ Session
- ☐ Transport
- ☐ Network
- ☐ Data Link
- ☐ Physical

Gambar 1.10 menggambarkan ilustrasi model OSI serta memberikan definisi singkat mengenai fungsi-fungsi yang ditunjukkan pada setiap lapisannya. Maksud dari model OSI tersebut adalah protocol-protocol tersebut dikembangkan untuk menampilkan fungsi-fungsi setiap lapisan.

Perancang OSI mengasumsikan bahwa model dan protocol-protocol yang dikembangkan di dalam model ini akan mendominasi komunikasi komputer, akhirnya menggantikan implementasi proprietary protocol dan saingan model multivendor seperti TCP/IP. Hal ini tidak terjadi. Meskipun, banyak protocol yang sangat bermanfaat telah dikembangkan sesuai konteks OSI, seluruh tujuh model lapisan tidak dapat berkembang dengan baik. Malah justru arsitektur TCP/IP lah yang mendominasi. Karena itu, perhatian kita pada buku ini lebih ditekankan pada TCP/IP.



Gambar 1.5 Arsitektur Protocol dan Jaringan

Pada Gambar 1.12 terdapat ilustrasi mengenai lapisan arsitektur OSI dan TCP/IP, memberi gambaran kasar mengenai hubungan fungsional diantara dua hal tersebut. Gambar tersebut juga menyarankan arti umum penerapan berbagai lapisan.

1.5 STANDAR-STANDAR

Industri Telekomunikasi sudah sejak lama menerima bahwa diperlukan standar-standar untuk menentukan karakteristik-karakteristik procedural, elektris, dan fisik dari suatu perangkat komunikasi. Dulu, pandangan ini tidak diakui oleh industri komputer. Sedangkan vendor-vendor perangkat komunikasi meyakini bahwa perangkat vendor yang lain, vendor komputer telah sejak dulu berupaya memonopoli konsumen mereka. Perkembangan pesat dari komputer dan pengolahan terdistribusi telah memungkinkan adanya posisi yang tidak mampu dipertahankan itu. Komputer dari vendor-vendor yang berbeda harus berkomunikasi satu sama lain dan, dengan adanya evolusi standar-standar protocol yang berlangsung terus-menerus, konsumen tidak akan lebih lama menerima perkembangan protocol kegunaan khusus. Hasilnya adalah standar tersebut sekarang menembus ke segala aspek teknologi yang didiskusikan dalam buku ini.

Melalui buku ini kita akan menggambarkan standar-standar terpenting yang dipergunakan atau sedang dikembangkan untuk berbagai aspek komunikasi data dan komputer. Lampiran 1A menampilkan susunan kunci yang terlibat dalam pengembangan standar-standar.

Ada beberapa keuntungan dan kerugian dalam proses pembuatan standar-standar. Di sini kita memaparkan yang paling menonjol. Keuntungan yang utama adalah sebagai berikut:

- ❑ Sebuah standar memastikan bahwa akan ada pasar atau market dalam jumlah besar untuk suatu perangkat atau software tertentu. Hal ini akan mendorong dilakukannya produksi secara masal, pada beberapa kasus, penggunaan teknik-teknik LSI (Large-Scale-Integration) atau VSLI (Very Large-Scale-Integration), yang menghasilkan harga murah.
- ❑ Sebuah standar memungkinkan produk-produk dari multiple vendor dapat berkomunikasi, membuat pembeli dapat memilih dan menggunakan perangkat secara fleksibel.

Sedangkan kerugian utamanya adalah sebagai berikut:

- ❑ Sebuah standar cenderung membekukan teknologi. Saat sebuah standar dikembangkan, berarah, dikaji, disepakati, dan disosialisasikan, kemungkinan ditemukan lagi teknik-teknik baru yang lebih efisien.
- ❑ Terdapat banyak macam standar untuk satu hal yang sama. Hal ini sebenarnya bukan merupakan kekurangan dari standar-standar itu sendiri, tetapi ini telah terjadi. Untungnya, pada beberapa tahun terakhir standar yang bermacam macam membuat organisasi-organisasi mulai kerja sama. Meskipun demikian, masih ada area di mana masih ada beberapa konflik antara standar.

LAMPIRAN 1A ORGANISASI STANDAR-STANDAR

Melalui buku ini, kami menggambarkan, standar terpenting yang paling sering dipergunakan dan sedang dikembangkan untuk berbagai aspek komunikasi data dan komputer. Berbagai organisasi telah dilibatkan dalam pengembangan atau promosi standar-standar tersebut. Lampiran ini menyajikan deskripsi singkat mengenai organisasi-organisasi terpenting tersebut (menurut konteks terbaru) :

- ❑ Internet Society
- ❑ ISO
- ❑ ITU-T
- ❑ ATM Forum

Standar-standar Internet dan internet Society

Banyak protocol yang melengkapi TCP/IP protocol suite sudah distandarkan atau sedang menjalani proses standarisasi. Melalui suatu perjanjian universal, sebuah organisasi yang dikenal dengan nama Internet Society bertanggung jawab dalam hal perkembangan dan publikasi standar-standa ini. Internet Society adalah sebuah organisasi keanggotaan profesional yang mengawasi sejumlah dewan dan tugas yang terlibat dalam pengembangan dan standarisasi internet.

Bagian ini memberikan deskripsi singkat mengenai cara standar-standar TCP/IP protocol suite dikembangkan.

Organisasi Internet dan Publikasi RFC

Internet Society mengkoordinir komite untuk perancangan, manajemen, dan mengatur Internet. Jangkauanya meliputi Internet itu sendiri. Tiga organisasi yabf berada idbawah Internet Society bertanggung jawab atas kerja nyata pengembangan dan publikasi standar-standar.

- ☐ **Internet Architecture Board (IAB);** Bertanggung jawab menentukan keseluruhan arsitektur internet, memberikan petunjuk dan bimbingan umum pada kepada IETF.
- ☐ **Internet Engineering Taks Force (IETF);** Rekayasa protocol pengembangan perlengkapan Internet.
- ☐ **Internet Engineering Steering Group;** Bertanggung-jawab atas manajemen teknis untuk kegiatan-kegiatan IETF dan proses standar Internet.

Pengembangan nyata protocol dan standar-standar baru untuk Internet dijalankan oleh sebuah kelompok kerja yang dikontrak oleh IETF. Keanggotaan untuk kelompok kerja ini bersifat sukarela dan semua pihak yang tertarik boleh ikut berpartisipasi. Selama pengembangan sebuah spesifikasi, suatu kelompok kerja akan membuat versi awal dari dokumen yang ada sebagai draft Internet (Internet Draft), yang ditempatkan di dalam direktori online "Internet Draft" IETF. Dokumen dapat disebut sebagai Draft Internet selama lebih dari enam bulan, dan pihak-pihak yang tertarik dapat menilai dan memberikan pendapat atas draft tersebut. Selama waktu itu, IESG menyetujui publikasi dari draft sebagai RFC (Request For Comment). Bila draft tersebut tidak dimajukan statusnya sebagai RFC selama masa enam bulan itu, maka akan dihapus dari direktori. Sesudahnya, kelompok kerja dapat saja menerbitkan versi revisi dari draft tersebut.

IETF bertanggung-jawab mempublikasi RFC, dengan persetujuan IESG. RFC merupakan catatan kerja dari komunitas riset dan pengembangan Internet. Sebuah dokumen pada seri ini dapat saja topic apa saja yang berhubungan dengan komunikasi komputer dan apa saja dari hasil pertemuan sampai ke spesifikasi sebuah standar.

Proses Standarisasi

Keputusan RFC menjadi standar Internet dibuat oleh IESG atas rekomendasi IETF. Untuk menjadi sebuah standar, spesifikasinya harus memenuhi beberapa criteria sebagai berikut:

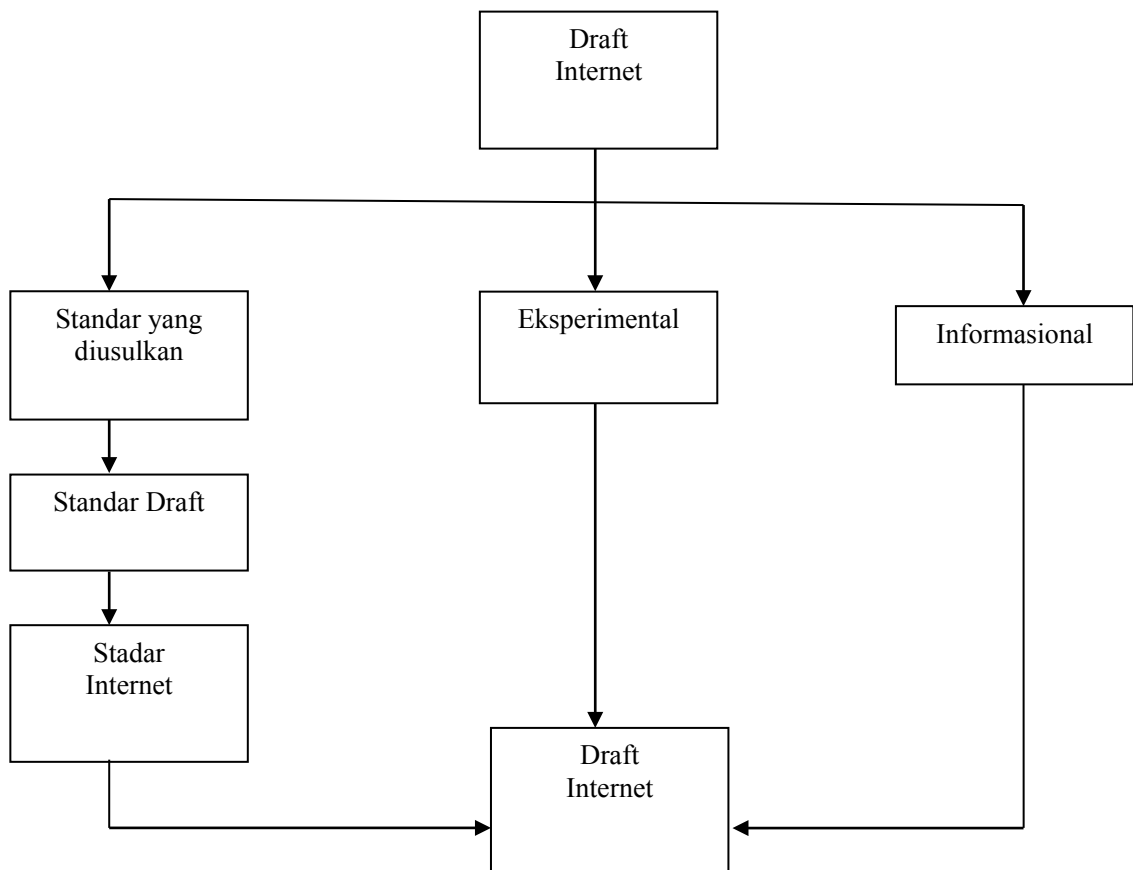
- ☐ Stabil dan mudah dimengerti
- ☐ Kompeten dari segi teknis

- ❑ Dapat diimplementasikan dengan leluasa multiple, dan interoperable dengan pengalaman operasional yang substansial
- ❑ Mendapat dukungan public secara signifikan
- ❑ Benar-benar dianggap berguna untuk seluruh atau sebagian Internet

Perbedaan kunci antara criteria dan criteria yang dipergunakan sebagai standar internasional dari ISO dan ITU-T penekanannya adalah pada pengalaman operasionalnya.

Pada sisi kiri Gambar 1.12 ditampilkan serangkaian langkah yang disebut standards track, proses suatu spesifikasi bisa menjadi sebuah standar, proses ini ditentukan dalam RFC 2026.

Langkah-langkah tersebut melibatkan peningkatan sejumlah pemeriksaan. Pada setiap langkah, IETF harus membuat rekomendasi bagi protocol yang dipromosikan



Gambar 1.5 Arsitektur Protocol dan Jaringan

IESG harus meratifikasinya. Prosesnya dimulai saat IESG memberikan persetujuan untuk publikasi sebuah dokumen Internet Draft sebagai sebuah RFC dengan status Proposed Standar (standar yang diusulkan)

Pada kotak putih dalam diagram ditunjukkan pertanyaan-pertanyaan sementara, yang harus diambildari waktu yang minimum. Bagaimanapun juga, sebuah dokumen ditetapkan sebagai Proposed Standards selama sedikitnya enam bulan, sedangkan sebuah Draft Standard selama minimum empat bulan agar ada cukup waktu untuk mereview dan mengomentarnya. Kotak abu-abu menampilkan pertanyaan jangka panjang yang dapat dijalankan selama sethahun.

Untuk sebuah spesifikasi yang diajukan untuk status Draft Standard, harus ada sedikitnya dua implementasi yang independen dimana percobaan operasi yang cukup sudah dilakukan.

Setelah suatu penerapan dan pengalaman operasional yang signifikan sudah dilakukan, barulah spesifikasi tersebut dievaluasi untuk Standar Internet. Pada titik ini, spesifikasi tersebut selain diberi nomor STD juga nomor RFC

Terakhir, bila suatu spesifikasi tersebut tidak terpakai, maka spesifikasi tersebut ditetapkan status terakhir.

Dokumen Track Non-standar

Sebuah protocol atau spesifikasi lain dipertimbangkan tidak siap untuk standarisasi dapat dipublikasikan sebagai RFC Eksperimental. Setelah dilakukan pembenahan, spesifikasi dapat diajukan kembali. Bila spesifikasi umumnya stabil, punya desain terpilih, diyakini dapat dimengerti dengan mudah, telah menerima penilaian komunitas yang signifikan, dan mendapat perhatian dari komunitas yang cukup dianggap bernilai, maka RFC akan dirancang sebagai Proposed Standard.

Terakhir, sebuah Informational Specification dipublikasikan sebagai informasi-informasi umum bagi Internet Community.

Organisasi Internasional untuk Standarisasi

Organisasi Internasional untuk Standarisasi atau ISO, adalah sebuah lembaga internasional pengembangan standar untuk berbagai subjek. Organisasi ini bersifat sukarela, yang keanggotaannya menentukan bentuk standar dari Negara-negara yang turut ambil bagian, plus organisasi-organisasi pengamat nonveto. Meskipun ISO bukan lembaga pemerintah, lebih dari 70% anggota ISO adalah lembaga-lembaga standar milik pemerintah atau organisasi-organisasi yang tergabung oleh hukum publik. Sebagian dari mereka memiliki hubungan dekat dengan administrasi-administrasi public di Negara mereka. Anggota dewan dari Amerika Serikat adalah American National Standards Institute.

ISO didirikan pada tahun 1945 dan telah mengeluarkan lebih dari 12.000 standar untuk berbagai bidang. Tujuannya adalah untuk meningkatkan pengembangan standarisasi dan kegiatan-kegiatan yang berkaitan dengan hal itu untuk memfasilitasi pertukaran barang dan jasa di lingkup internasional dan mengembangkan kerjasama dalam bidang dan kegiatan intelektual, ilmu pengetahuan, teknologi, dan ekonomi. Standar dikeluarkan untuk menutupi segala sesuatu dari screw threads terhadap energi solar. Satu hal penting dari standarisasi berkaitan dengan arsitektur komunikasi OSI (Open System Interconnection) dan standar-standar pada setiap lapisan arsitektur OSI

Pada hal yang menjadi titik perhatian dalam buku ini, Standar ISO sebenarnya dikembangkan dengan upaya bersama-sama dengan lembaga standar lain, yaitu IEC (International Electrotechnical Commission). IEC utamanya berkaitan

dengan standar-standar engineering elektris dan elektronik. Di area teknologi informasi, ketertarikan dua grup ini saling tumpang tindih, IEC menekankan pada Hardware dan ISO memfokuskan diri pada software-nya. Pada tahun 1987, dua kelompok ini membentuk JTC (Joint Technical Committee). Komite ini bertanggung-jawab mengembangkan dokumen-dokumen yang secara pokok menjadi standar ISO (dan IEC) di bidang teknologi informasi.

Pengembangan sebuah standar ISO mulai dari proposal pertama sampai menjadi publikasi standar actual terjadi pada enam langkah. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa hasil akhirnya dapat diterima dengan baik oleh sebanyak-banyaknya Negara di dunia ini. Secara singkat, langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut :

1. **Tahap proposional:** Pekerjaan baru diajukan ke komite teknis yang tepat, dan oleh komite teknis tersebut diajukan ke kelompok kerja yang sesuai.
2. **Tahap Persiapan:** Suatu kelompok kerja yang bertugas menyiapkan draft kerja (working draft). Draft pekerjaan selanjutnya mungkin akan menunggu sampai draft pekerjaan dapat persetujuan bahwa dia memiliki solusi mendasar terhadap problem yang mau dipecahkan. Pada tahap ini, draft diserahkan ke grup kerja dari komite untuk memasuki tahap persiapan consensus.
3. **Tahap Komite:** Segera sesudah draft komite pertama kali tersedia, draft tersebut di daftar oleh Sekretariat pusat ISO. Kemudian disebarkan di antara anggota-anggota yang tertarik untuk pemungutan suara dan mendapatkan komentar-komentar teknis. Draft itu akan dipertimbangkan sampai tercapai konsensus dari segi teknis. Sekali konsensus tersebut tercapai, teks-nya diselesaikan untuk ditetapkan sebagai Draft International Standard (DIS)
4. **Tahap penyelidikan:** DIS didibagikan ke seluruh dewan ISO oleh Sekretariat Pusat ISO agar mendapatkan suara dan pendapat selama periode lima bulan. Disetujui untuk ditetapkan sebagai Final Draft International Standard (FDIS) bila mayoritas dua per tiga dari pemungutan suara dan tidak lebih seperempat total jumlah pemberi suara negatif. Bila tidak bisa memenuhi kriteria yang disetujui, teks tersebut dikembalikan kepada kelompok kerja semula agar dipelajari lebih lanjut dan bila sudah direvisi, dokumen tersebut disebarkan lagi untuk mendapat persetujuan dan komentar sebagai sebuah DIS
5. **Tahap persetujuan:** Final Draft International Standard (FDIS) dibagikan ke seluruh dewan anggota ISO oleh Sekretariat pusat ISO agar mendapat pilihan final nya ya/tidak dalam waktu dua bulan. Bila pendapat-pendapat teknis diterima selama periode tersebut maka tidak akan dipertimbangkan lebih lama di tahap ini, namun segera didaftarkan untuk pertimbangan revisi berikutnya dari Standar International. Teks tersebut disetujui sebagai suatu standar International bila disetujui sebagai suatu standar International bila disetujui oleh mayoritas dua pertiga tidak lebih dari seperempat dari total jumlah pemberi suara negatif. Bila kriteria tidak disetujui, standar tersebut

dikembalikan lagi ke kelompok kerja sebelumnya untuk dipertimbangkan lagi alasan-alasan teknis menolaknya.

6. **Tahap publikasi:** Sekali suatu Final Draft International Standar di setujui, dengan sedikit perubahan editorial, bila diperlukan, diperkenalkan sebagai teks final. Teks final ini dikirim ke Sekretariat Pusat ISO, yang menerbitkan Standar Internasional.

Proses menerbitkan sebuah standar ISO dapat berjalan lambat. Tentu saja, diharapkan dapat menyelesaikan standar secepat menyusun detail-detail teknisnya, namun ISO harus meyakinkan bahwa standar tersebut akan menerima dukungan secara luas.

Sektor Standarisasi Telekomunikasi ITU

Sektor Standarisasi Telekomunikasi ITU (ITU-T) merupakan sebuah bagian tetap dari International Telecommunication Union (ITU), yang merupakan bagian dari agen spesialisasi dari Amerika Serikat. Jadi, anggota ITU-T adalah pemerintah. Perwakilan Amerika Serikat ditempatkan di Departemen Luar Negeri. Tujuan utamanya adalah membuat standarisasi, menentukan apa yang diperlukan, acuan teknis, dan operasi dalam telekomunikasi agar mencapai kompatibilitas pada tingkat akhir dari koneksi telekomunikasi internasional, tanpa memperhatikan pada Negara asal dan tujuan.

ITU-T berdiri pada tanggal 1 Maret 1993, sebagai satu konsekuensi dari perbaikan proses dalam ITU. Menggantikan International Telegraph and Telephone Consultative Committee (CCITT), yang mempunyai tujuan yang sama dengan ITU-T

ITU-T disusun menjadi 14 kelompok studi yang bertugas mempersiapkan Rekomendasi yakni sebagai berikut:

1. Operasi jaringan dan servis (Network and Service Operation)
2. Prinsip Akutansi dan Tarif
3. Jaringan management telekomunikasi dan maintenance jaringan
4. Perlindungan terhadap Dampak-dampak lingkungan elektromagnetik
5. Outside plant
6. Jaringan Data dan system komunikasi terbuka
7. Karakteristik Sistem-sistem Telematik
8. Transmisi Televisi dan suara
9. Aspek-aspek software umum dan bahasa untuk system Telekomunikasi

10. Keperluan pensinyalan dan protocol
11. Tamoilan Transmisi end-to-end jaringan dan Terminal
12. Aspek-aspek jaringan umum
13. Jaringan-jaringan Transport, system peralatan
14. Layanan multimedia dan system

Pekerjaan di dalam ITU-T dilakukan seama masa empat tahun. Setiap empat tahun sekali diselenggarakan Konferensi Standarisasi Telekomunikasi Dunia. Sebuah progam kerja untuk masa empat tahun berikutnya dibentuk pada pertemuan tersebut dalam bentuk permohonan-permohonan yang dibuat untuk kelompok-kelompok studi tersebut oleh para anggotanya. Konferensi tersebut akan menilai pertanyaan-pertanyaan yang diajukan, mempertimbangkan jangkauan kelompok studi yang ada, kemudian memberikan atau mengalokasikan pertanyaan-pertanyaan tersebut kepada mereka.

Berdasarkan atas pertanyaan-pertanyaan itu, setiap kelompok studi akan menyiapkan draft Rekomendasi. Sebuah draft Rekomendasi bisa saja diajukan untuk konferensi berikutnya, karena itu empat tahun masa studi berakhir. Prosedur yang dipercepat ini diperlakukan setelah masa studi berakhir 1988. Jadi, tahun 1988 merupakan tahun terakhir di mana sekumpulan dokumen dalam jumlah besar dipublikasikan pada waktu yang sama sebagai rangkaian Rekomendasi.

Forum ATM

ITU-T bertanggung-jawab, diantara area-area yang lain, terhadap pengembangan standar-standar untuk Briadband ISDN (B-ISDN), yang didasarkan atas teknologi ATM. Forum ATM juga memainkan peranan yang sangat penting dalam hal pengembangan standar-standar ATM. Pada ITU-T dan majelisanggota pemilih dari Negara-negara yang turut berpartisipasi, proses pembangkan standar-standar ditandai dengan adanya perhstian besar dari pemerintah, pada user dan perwakilan dari industri, serta oleh keputusan bersama. Proses ini bisa memakan waktu yang sangat lama. Sementara ITU-T mempercepat upayanya, penundaan yang terjadi dalam mengembangkan standar terjadi secara signifikan di area B-ISDN yang di dominasi oleh ATM (asynconous tranfer mode) yang berkembangdengan cepat.

Forum ATM telah mengamati partisipasi yang lebih aktif dari vendor-vendor computer dibandingkan dengan apa yang terjadi di dalam ITU-T. Karena pekerjaan forum lebih didasarkan atas peranan mayoritas dibandingkan consensus, maka dimungkinkan untuk bergerak cepat menentukan beberapa detail-detail yang dibutuhkan untuk peranan ATM. Upaya ini, sebaliknya, memperkaya upaya standarisasi ITU-T.

LAMPIRAN 1B SUMBER DAYA INTERNET

Terdapat sejumlah sumberdaya pada internet dan web untuk mendukung buku ini dan membantu siapapun menyelesaikan upaya pengembangan di bidang ini.

Situs Web Untuk Buku Ini

Sebuah halam web khusus telah dibuat untuk buku ini disitus WilliamStarlling.com/DCC6e.html. Lihatlah pada bagian “Web Site untuk buku ini”, kata pengantar yang terdahulu, untuk deskripsi detail situs itu.

Segera sesudah suatu kesalahan cetak atau eror lain ditemukan, daftar kesalahan untuk buku ini akan tersedia di situs WilliamStarling.com. Filenya akan diperbarui sebagaimana yang dibutuhkan. Mohon dikirim apapun kesalahan yang Anda lihat kepada kami melalui email. Daftar kesalahan cetak untuk buku-buku saya yang lain juga ada pada situs yang sama, sebagaimana ditampilkan juga bila ada informasi discount untuk pemesanan buku.

Situs-Situs Web Yang Lain

Ada beberapa situs web yang menyediakan informasi yang berhubungan dengan topic-topik yang terdapat dalam buku ini. Pada bab berikutnya, petunjuk-petunjuk untuk situs web yang dimaksud dapat ditemukan di bagian bacaan “Bacaan yang disarankan”. Karena URL untuk situs-situs Web ada kecenderungan untuk sering berubah, saya tidak mencantumkan di buku ini. Untuk semua situs-situs web yang terdaftar, bisa ditemukan juga link nya yang tepat di situs web berikut ini.

Berikut ini adalah situs-situs web interest umum yang berkaitan dengan komunikasi data computer.

- ☐ **Network world:** Informasi dan link untuk resource tentang komunikasi data dan networking.
- ☐ **IETF:** Mengurusi arsip-arsip yang berhubungan dengan Internet dan kegiatan-kegiatan IETF: Meliputi perpustakaan yang memiliki kata kunci terdeteksi dari RFC dan dokumen-dokumen yang lain tentang Internet dan protocol-protocol terkait.
- ☐ **Vendors:** Link-link untuk lebih dari 1000 vendor hardware dan software yang sekarang ini memiliki situs web, serta sebuah daftar yang memuat ratusan perusahaan computer dan jaringan bentuk phone directory.
- ☐ **Computer Science Bibliography Collection:** Kumpulan dari ratusan bibliografi serta dilengkapi dengan ratusan dari ribuan referensi yang ada.
- ☐ **IEEE Communication Society:** Cara yang tepat untuk melanjutkan konferensi-konferensi, publikasi, dan lain-lain.
- ☐ **ACM Special Interest Group on Communications (SIGCOMM):** Cara yang tepat untuk melanjutkan konferensi-konferensi, publikasi dll.
- ☐ **International Telecommunications Union:** Memuat daftar Rekomendasi-rekomendasi ITU-T lewat naskah atau CD-ROM.

Newsgroup USENET

Sejumlah newsgroup USENET disediakan untuk beberapa aspek komunikasi data dan jaringan. Sama halnya dengan semua grup USENET, terdapat keriuhan pendapat yang tinggi pada newsgroup ini, tapi ini patut dicoba untuk mendapatkan sesuatu yang diinginkan.

- ☐ **Comp.dcomp.lans, comp.dcomp.lans.misc:** Pembahasan umum mengenai LAN
- ☐ **Comp.std.wireless:** Pembahasan umum mengenai jaringan wireless mencakup LAN wireless
- ☐ **Comp.security.misc:** Pengamanan computer dan encryption

- ❑ Comp.dcomp.cell-relay: Meliputi ATM dan LAN ATM
- ❑ Comp.dcomp.frame-relay: Meliputi jaringan-jaringan frame relay
- ❑ Comp.dcomp.net-management: Pembahasan mengenai aplikasi manajemen jaringan, protocol-protocol, dan standar-standar.
- ❑ Comp.protocols.tcp-ip: Suite protocol TCP/IP

B_{AB} 2

PROTOCOL DAN ARSITEKTUR

2.1 Protocol

Karakteristik

Fungsi-fungsi

2.2 OSI

Model

Standarisasi didalam Kerangka Kerja OSI

Service Primitives dan Parameter

Lapisan-lapisan OSI

2.3 Suite Protocol TCP/IP

Pendekatan TCP/IP

Arsitektur Protocol TCP/IP

Operasi TCP/IP

Interface Protocol

Aplikasi-aplikasi

2.4 Bacaan yang Disarankan

2.5 Permasalahan

BAYU WICAKSONO	4103131011
BIYAN PURNAMA SARI	4103141002
ISMI NUR FAIZA	4103141013
M DIO ANUGERAH S	4103141042

- ❑ Sebuah karakteristik protocol adalah struktur urutan dari hardware dan software yang mendukung pertukaran data antara sistem dan mendukung aplikasi terdistribusi, seperti elektronik mail dan file transfer.
- ❑ Pada setiap lapisan arsitektur protocol, satu protocol umum atau lebih diterapkan dalam sistem komunikasi. Masing-masing protocol umum menyediakan serangkaian aturan untuk pertukaran data antar sistem.
- ❑ Fungsi-fungsi kunci biasanya ditunjukkan oleh sebuah protocol yang mencakup segmentasi dan pemasangan kembali (*reassembling*), *connection control*, *delivery berorder*, *flow control*, *error control*, pengalamatan, dan *multiplexing*.
- ❑ Arsitektur protocol yang paling banyak dipergunakan adalah *suite protocol* TCP/IP, yang terdiri dari lapisan-lapisan berikut: *physical*, *network access*, *internet*, *transport*, dan *aplikasi*.

Maksud bab ini adalah menyajikan pandangan dan latar belakang yang diperlukan untuk semua peralatan yang menyertai. Yang menunjukkan bagaimana konsep bagian 2 untuk mencakupi jangkauan jaringan komputer dan komunikasi komputer yang lebih luas. Bab ini dapat dibaca sesuai urutannya atau ditangguhkan sampai permulaan bab 3, 4, atau 5.¹⁾

Kita mulai dengan paparan konsep sebuah protocol komunikasi. Juga ditunjukkan bahwa protocol bersifat fundamental untuk semua komunikasi data. Berikutnya, kita melihat cara penggambaran dan penerapan yang sistematis dari fungsi-fungsi komunikasi dengan mengamati *communication task* yang berkenaan dengan sebuah kolom lapisan, yang masing-masing bermuatan protocol. Ini merupakan pandangan mengenai model OSI (Open System Connection) yang terkenal saat ini.

Meskipun model OSI sudah diterima secara universal sebagai kerangka kerja untuk pembahasan seputar area ini, ada model yang lain yang dikenal dengan nama arsitektur protocol TCP/IP, yang mempunyai keuntungan komersial dan mendominasi perluasan dari OSI. Sebagian besar protocol-protocol tertentu digambarkan dalam bab lima sebagai bagian dari *suite protocol* TCP/IP. Sedangkan di bab ini kita hanya memberikan gambaran sekilas.

2.1 PROTOCOL

Kita mulai dengan pandangan khusus tentang karakteristik protocol. Pembaca dapat meninjau konsep protocol yang dipaparkan di bab 1 sebelum meneruskannya.

Karakteristik

Karakteristik-karakteristik penting sebuah protocol adalah sebagai berikut:

- ❑ Langsung / tidak langsung
- ❑ Monolitik / terstruktur
- ❑ Simetris/tidak simetris
- ❑ Standart / nonstandard

¹⁾ Pembaca akan menemukan inti bab ini dengan membaca pertama kali dan membaca kembali dengan lebih seksama sebelum berlanjut pada bab lima.

Komunikasi antara dua entiti dapat bersifat langsung maupun tidak langsung. Gambar 2.1 menggambarkan situasi-situasi yang dapat terjadi. Bila dua sistem menggunakan point-to-point link, entiti-entiti pada sistem ini dapat berkomunikasi secara langsung; yakni, control informasi dan data melintas langsung diantara entiti tanpa membutuhkan pengaturan lain. Dengan cara yang sama dapat dikatakan konfigurasi multipoint, meskipun disini entiti-entiti harus memperhatikan hal-hal yang berkaitan dengan ases control, mengupayakan protocol supaya lebih lengkap. Bila sistem dihubungkan melalui switched jaringan komunikasi, tidak akan terjadi protocol secara langsung. Dua entiti harus tergantung pada fungsi entiti-entiti lain untuk menukar data. Kasus yang lebih ekstrim terjadi pada situasi dimana dua entiti yang tidak berhubungan ke jaringan switch, namun terhubung secara tidak langsung melalui dua jaringan atau lebih. Rangkaian jaringan yang saling terhubung satu sama lain semacam itu diistilahkan internet.

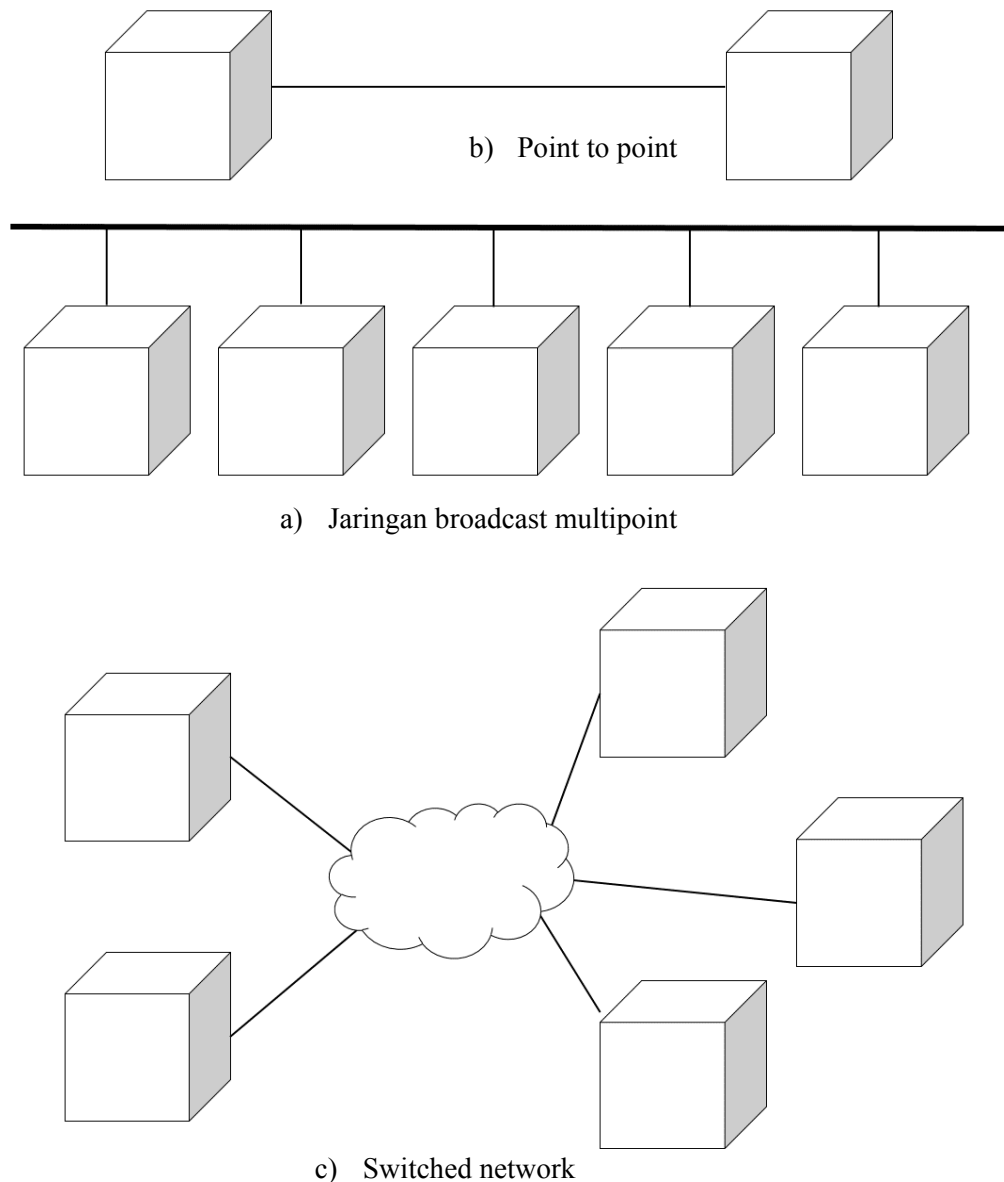
Karakteristik lain dari suatu protocol adalah bersifat monolitik atau terstruktur. Akan menjadi jelas seperti yang diteruskan dalam buku bahwa task komunikasi antara entiti pada sistem yang berbeda terlalu kompleks untuk diperlakukan sebagai sebuah unit. Sebagai contoh, pertimbangkan sebuah packet elektronik mail dijalankan pada dua komputer yang dihubungkan lewat suatu *synchronous* HDLC link. Untuk benar-benar menjadi monolistis, paket tersebut perlu untuk memasukkan semua logic HDLC (atau yang ekuivalen dengan itu) supaya terhubung dengan jaringan. Juga diperlukan logic untuk memisahkan mail menjadi packet-packet berukuran kecil, logic untuk meminta sebuah circuit virtual, dan seterusnya. Mail hanya akan dikirim bila tujuan sistem dan entiti diaktifkan dan siap menerima. Logic diperlukan untuk koordinasi semacam itu. Suatu perubahan pada berbagai aspek berarti packet yang sangat banyak ini harus dimodifikasi, dengan resiko terjadi kesulitan untuk menemukan *bug-bug*.

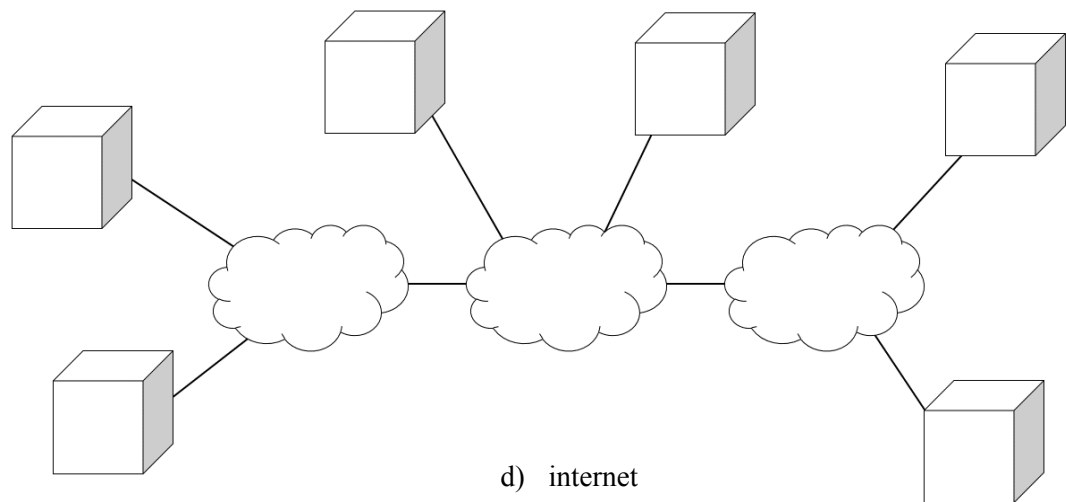
Sebuah alternatif akan dilakukan untuk menggunakan teknik-teknik penerapan dan rancangan terstruktur. Dibandingkan protocol tunggal, terdapat rangkaian protocol yang menampilkan struktur berlapis atau hierarki. Fungsi-fungsi lama diterapkan pada entiti pada tingkat yang lebih rendah yang menampilkan servis-servis untuk entiti pada tingkat yang lebih tinggi. Sebagai contoh, akan ada modul HDLC (entiti) yang diminta oleh suatu fasilitas elektronik mail bila dibutuhkan. Patut dicatat bahwa ini hanya bentuk yang lain dari tidak langsung (indirection): entiti ada tingkat yang lebih tinggi tergantung pada entiti pada tingkat yang lebih rendah untuk menukar data.

Saat rancangan protocol terstruktur dipergunakan, kita menunjuk pada hardware dan software yang digunakan untuk menerapkan fungsi komunikasi sebagai suatu arsitektur protocol. Dibagian akhir bab ini, setelah bagian ini, baru diarahkan kekonsep ini.

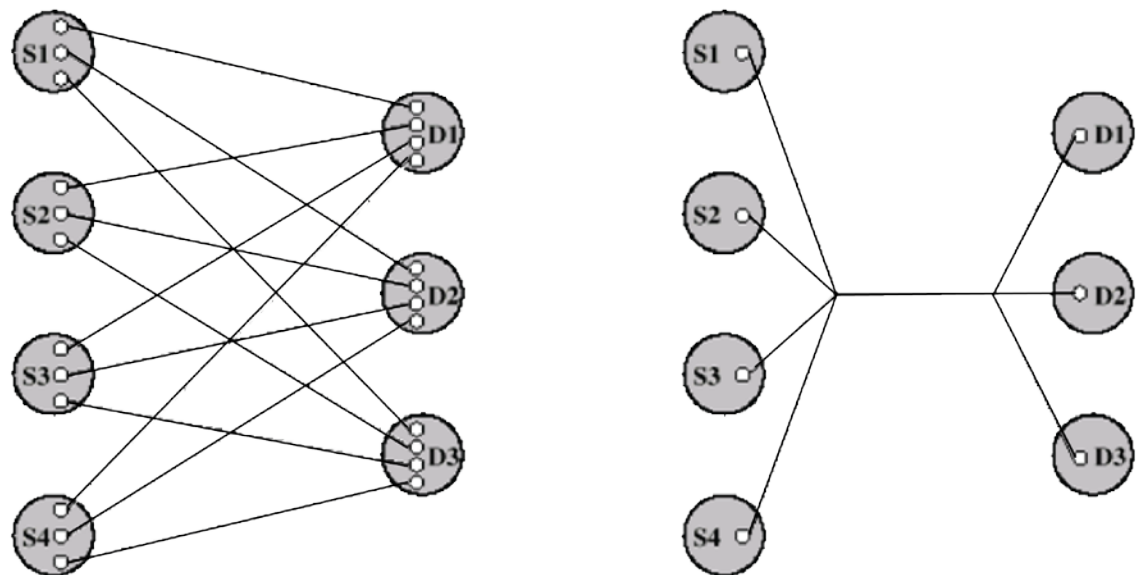
Sebuah protocol dapat bersifat simetris maupun asimetris. Sebagian besar protocol yang akan kita pelajari bersifat simetris. Yaitu, mengandung komunikasi antara entiti sejenis. Asimetris diperintahkan melalui logic pertukaran (misalnya, proses; client; dan server), atau melalui keinginan untuk menyimpan salah satu entiti atau sistem sesederhana mungkin. Contoh terakhir adalah normal response mode dari HDLC. Biasanya, ini akan melibatkan sebuah komputer yang utama dan memilih sejumlah terminal. Logic pada akhir terminal benar-benar jelas.

Terakhir, protocol dapat bersifat standart ataupun nonstandart. Sebuah protocol nonstandart adalah protocol yang dibuat untuk suatu situasi komunikasi tertentu atau, umumnya dirancang untuk model komputer khusus. Jadi, bila K sumber informasi yang berbeda jenis berkomunikasi dengan L tipe receiver informasi, sebaiknya $K \times L$ protocol-protocol yang berlainan diperlakukan tanpa standart dan diperlukan implementasi sebesar $2 \times K \times L$ (Gambar 2.2a). bila seluruh sistem membagikan protocol, hanya diperlukan implementasi $K + L$ (Gambar 2.2b). dengan meningkatnya penggunaan program terdistribusi dan kecenderungan pendiktean vendor tunggal terhadap konsumen yang semakin menurun, maka para vendor mengimplementasikan protocol berdasar penyesuaian dengan standart yang diakui.





Gambar 2.1 inti dari koneksi dari sistem komunikasi



Gambar 2.2 penggunaan protocol-protocol standart

Fungsi-fungsi

Sebelum beralih kepembahasan mengenai arsitektur komunikasi dan berbagai lapisan protocol, kita amati dulu serangkaian fungsi yang membentuk dasar seluruh protocol. Tidak semua protocol memiliki seluruh fungsi: ini akan melibatkan usaha ganda yang signifikan. Meskipun demikian, terdapat beberapa hal dari fungsi dengan tipe yang sama pada protocol yang berada pada level-level yang berbeda.

Karena terpaksa pembahasan ini menjadi agak abstrak. Hal itu memungkinkan pandangan yang terintegrasi mengenai karakteristik-karakteristik dan fungsi-fungsi protocol komunikasi. Konsep tentang protocol bersifat mendasar untuk beberapa topik dalam buku ini, dan saat kita lanjutkan akan kita lihat beberapa contoh dari semua fungsi-fungsi ini.

Kita dapat mengelompokkan fungsi-fungsi protocol dalam kategori-kategori sebagai berikut:

- ☐ Encapsulation
- ☐ Segmentasi dan reassembling (Segmentation and reassembly)
- ☐ Kontrol koneksi (connection control)
- ☐ Pengiriman sesuai order (Ordered delivery)
- ☐ Flow control
- ☐ Error control
- ☐ Pengalamatan
- ☐ Multiplexing
- ☐ Servis-servis transmisi (transmission service)

Encapsulation

Setiap PDU tidak hanya berisikan data tetapi juga informasi control. Tentu saja, beberapa PDU juga semata-mata hanya terdiri dari control informasi saja tanpa data. Contoh trol informasi dikelompokkan dalam tiga kategori umum:

- ☐ **Address:** Alamat pengirim dan atau penerima yang dapat diindikasikan.
- ☐ **Error-detecting code (kode pendetekdi error):** Suatu jenis rangkaian pengecekan terhadap frame untuk mendeteksi kesalahan.
- ☐ **Protocol control:** Informasi tambahan dimasukkan untuk menerapkan fungsi-fungsi protocol yang terdaftar dibagian dari akhir bagian ini.

Informasi control tambahan untuk data menunjukan pada encapsulation. Data yang diterima atau yang dijalankan oleh sebuah entiti dan ter-encapsulation ke dalam suatu PDU yang berisikan data tersebut plus kontrol informasi (Lihat gambar 1.7 dan 1.8).

Segmentasi dan Reassembling²⁾

Sebuah protocol berkaitan dengan pertukaran stream data diantara dua entiti. Biasanya, dapat dikarakteristikan sebagai consistensi dari rangkaian blok data dari beberapa ukuran yang terbatas. Pada level aplikasi, kita menunjuk suatu unit transfer data logis sebagai suatu pesan. Apakah entiti aplikasi mengirim data didalam pesan atau didalam stream yang terus-menerus, protocol-protocol yang berada pada level yang lebih rendah perlu memisahkan data supaya menjadi blok yang berukuran sama. Proses ini disebut segmentasi. Untuk lebih nyamannya, kita akan menunjuk pertukaran blok data diantara dua entiti melalui suatu protocol sebagai unit data protocol (PDU).

Ada sejumlah alasan untuk segmentasi, tergantung pada konteksnya. Alasan-alasan khusus untuk segmentasi antara lain sebagai berikut:

- ☐ Jaringan komunikasi menerima blok data hanya sampai ukuran-ukuran tertentu. Sebagai contoh, sebuah jaringan ATM terbatas untuk blok sebesar 53 octets; Ethernet imposes ukuran maksimum sebesar 1526 octets.
- ☐ Control error bisa menjadi efisien dengan PDU yang berukuran lebih kecil. Dengan PDU yang berukuran lebih kecil tersebut. Sedikitnya bit yang diperlukan untuk transmisi ulang lebih cepat saat PDU mengalami error.

²⁾ Pada sebagian besar spesifikasi protocol yang berkaitan dengan suite protocol TCP/IP, lebih sering dipergunakan istilah fragmentasi dari pada segmentasi. Namun artinya sama

- ❑ Akses yang lebih wajar untuk menggabung fasilitas-fasilitas transmisi, dengan penundaan yang lebih pendek, dapat tersedia. Sebagai contoh, tanpa blok berukuran maksimum, satu station dapat memonopoli media multipoint.
- ❑ Sebuah PDU yang berukuran lebih kecil bisa berarti bahwa entiti penerima dapat mengalokasikan bufer-bufer yang lebih kecil.
- ❑ Entiti mungkin memerlukan transfer data untuk menutup kiriman data, dari waktu ke waktu, untuk pengontrolan dan restart / recovery operasi.

Terdapat beberapa kerugian untuk segmentasi yang mengharuskan membuat block sebesar mungkin, yakni:

- ❑ Sebagaimana yang telah diterangkan, setiap DPU berisikan sejumlah informasi control tertentu. Karena itu, lebih kecil bloknnya, lebih besar persentasi overhead-nya.
- ❑ PDU yang baru masuk mungkin mengakibatkan interrupt yang harus dilayani. Blok-blok yang lebih kecil mengakibatkan terjadinya banyak interrupt.
- ❑ Lebih sedikit waktu yang dipergunakan untuk memproses PDU yang sama, mengakibatkan adanya banyak PDU yang berbeda.

Semua faktor-faktor ini harus diperhitungkan oleh perancang protocol dalam menentukan minimum dan maksimumnya ukuran PDU.

Persamaan segmentasi adalah reassembly. Akhirnya, data yang disegmentasi harus direassembling pesan-pesan yang sesuai dengan level aplikasi. Bila PDU tiba tidak sesuai yang diperintahkan, maka tasknya menjadi lebih rumit.

Proses segmentasi diilustrasikan pada Gambar 1.7 pada bab 1.

Kontrol Koneksi

Suatu entiti yang bisa mentransmisikan data ke entiti yang lain dengan cara masing-masing PDU diperlakukan secara bebas dari semua PDU sebelumnya. Hal ini disebut transfer data yang tanpa koneksi, sebagai contoh adalah penggunaan datagram, yang digambarkan di Bab 10. Sementara mode ini dianggap berguna, teknik-teknik yang tidak kalah pentingnya adalah transfer data yang berorientasi koneksi (*connection-oriented transfer data*), yang mana virtual circuit juga digambarkan di Bab 10, untuk contohnya.

Transfer data-berorientasi koneksi dipilih (bila perlu) bila station yang mengantisipasi perpindahan data yang panjang dan atau dengan detail-detail tertentu protocol mereka harus dihentikan secara dinamis. Asosiasi logis, atau koneksi dilakukan diantara entiti-entiti. Ada tiga fase yang terjadi (gambar 2.3):

- ❑ Pengadaan koneksi (*connection establishment*)
- ❑ Transfer data
- ❑ Penghentian koneksi

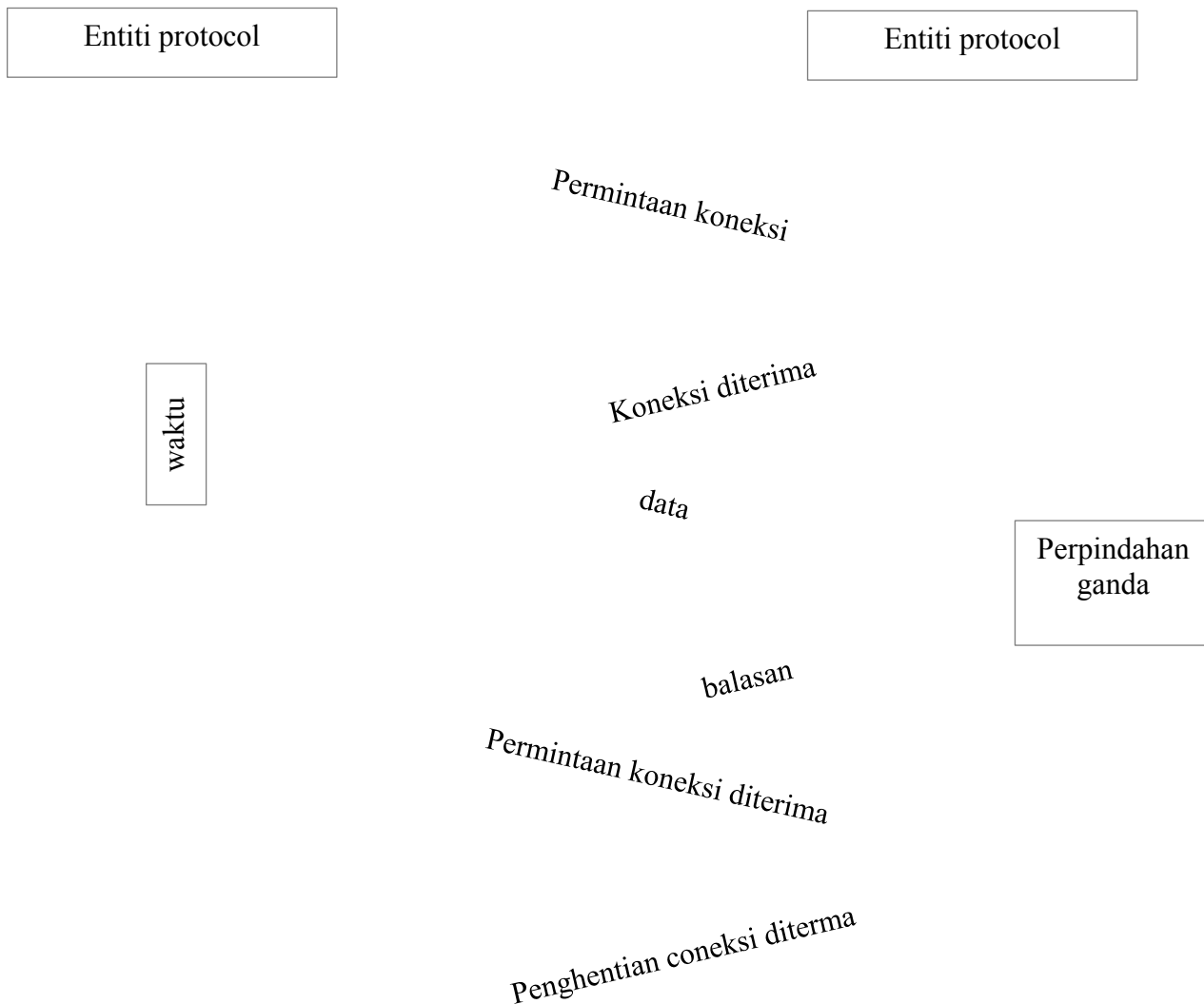
Dengan protocol-protocol yang lebih canggih (*sophisticated*), kemungkinan juga ada penghentian koneksi dan fase perbaikan untuk mengulangi error-error

dan gangguan-gangguan pendek lainnya.

Selama fase pengadaan koneksi, dua entiti setuju memindahkan data. Biasanya, satu stasion akan menyebarkan permintaan koneksi kepada koneksi yang lain. Suatu otoritas pusat bisa terlibat bisa tidak. Pada protocol yang lebih sederhana, apakah entiti menerima atau menolak permintaan dan pada kasus sebelumnya, dipertimbangkan untuk diadakan koneksi. Pada proposal yang lebih kompleks, fase ini meliputi negosiasi yang berkaitan dengan syntax, semantik, dan timing protocol. Tentunya, kedua entiti harus menggunakan protocol yang sama. Namun protocol juga memungkinkan bentuk-bentuk pilihan tertentu dan harus disetujui berdasarkan suatu persetujuan. Sebagai contoh, protocol dapat mengspesifikasikan ukuran PDU sampai sebesar 8000 octet; satu station dapat saja membatasinya sampai 1000 octet.

Setelah pengadaan koneksi, diikuti fase transfer data. Selama fase ini, kedua informasi kontrol dan data (misalnya, flow control, error control) dipindahkan. Pada gambar 2.3 ditunjukkan situasi dimana semua data mengalir dalam satu arah, dengan balasan yang dikembalikan kearah lain. Biasanya, data dan balasan mengalir kedua arah tersebut. Terakhir, satu sisi atau keinginan lain untuk menghentikan koneksi dengan mengirimkan permintaan penghentian. Kemungkinan lain, otoritas pusat mungkin memaksa berhentinya koneksi.

Karakteristik-karakteristik kunci dari transfer data berorientasi koneksi adalah penggunaan pengurutan. Masing-masing sisi mengirim jumlah PDU yang berurutan kesisi yang lain. Karena setiap sisi mengingat, apakah dia sibuk dalam sebuah koneksi logis, untuk menjaga lintasan antara kedua entiti tetap, dimana ia dijalankan dan jumlah PDU yang masuk, yang dijalankan oleh sisi yang lain. Tentu, pada dasarnya sesuatu dapat menentukan suatu transfer data yang berorientasi koneksi sebagai salah satu jumlah PDU dari kedua ujung dan menjaga agar lintasan antara jumlah masukan dan jumlah keluaran. Rangkaian mendukung tiga fungsi utama: mengirim sesuai perintah (*ordered delivery*), flow control, dan error control.



Gambar 2.3 fase-fase transfer data yang berorientasi koneksi

Ordered Delivery

Bila dua entiti yang saling berkomunikasi berada pada host ³⁾ yang berlainan, dihubungkan oleh sebuah jaringan, ada resiko PDU tidak akan tiba sesuai dengan yang diperintahkan saat dikirim, karena mereka dapat saja melintasi jalur-jalur yang berlainan sepanjang jaringan. Pada protocol-protocol yang berorientasi koneksi, umumnya diupayakan agar order PDU dipertahankan. Sebagai contoh, apabila suatu file ditransfer diantara dua sistem, kita akan puas dipastikan bahwa record-record dari file yang diterima sama dengan record-record file yang ditransmisikan dan tidak dibolak balik. Bila setiap PDU diberi nomor khusus dan nomor itu ditandai secara berurutan, maka inilah task yang sederhana bagi entiti penerima untuk memerintahkan kembali PDU yang diterima berdasarkan nomor urutnya. Problem yang muncul dengan skema semacam ini adalah yang berkaitan dengan bidang urutan tertentu, ulangan nomor berurutan (beberapa modul bernomor maksimum).

Jelasnya nomor urutan yang maksimum harus lebih besar dari nomor maksimum

³⁾batasan dari host menunjukkan pada akhir dari suatu sistem dari sebuah jaringan sebagai contohnya adalah personal komputer atau server

PDU yang dapat ditonjolkan setiap saat. Kenyataannya, nomor maksimum mungkin memerlukan dua kali lipat dari nomor maksimum PDU yang ditonjolkan (misal, *selective-repeat ARQ*; lihat bab 7).

Flow Control

Flow control merupakan suatu fungsi yang ditunjukkan melalui suatu entiti yang diterima untuk membatasi jumlah atau rate data yang dikirim oleh suatu entiti yang mentransmisikan.

Entuk flow control yang paling sederhana adalah prosedur berhenti-dan-tunggu (*stop-and-wait procedure*), dimana setiap PDU harus dibalas sebelum yang berikutnya dapat dikirim. Protocol-protocol yang lebih efisien yang melibatkan beberapa bentuk kredit yang disediakan untuk transmitter, dimana sejumlah data yang dapat dikirim tanpa balasan. Teknik HDLC sliding-window merupakan contoh untuk mekanisme ini.

Flow control merupakan suatu contoh yang baik akan fungsi yang harus diterapkan untuk beberapa protocol. Lihat kembali gambar 1.6. Jaringan perlu menjalankan flow control melalui model network access X melewati protocol network access, untuk menjalankan network traffic control. Disaat yang sama, modul network access Y hanya memiliki ruangan penyangga terbatas dan perlu untuk menjalankan flow control melalui protocol transport. Terakhir, meskipun modul network access Y dapat mengontrol aliran datanya, aplikasi Y dapat dengan mudah mengalami overflow. Sebagai contoh, aplikasi menjadi tergantung menunggu akses disk. Jadi, flow control juga diperlukan pada protocol berorientasi aplikasi.

Error Control

Teknik-teknik error control diperlukan untuk menjaga kendali informasi dan data dari kehilangan atau kerusakan. Biasanya, error control diterapkan sebagai dua fungsi yang terpisah, deteksi error dan transmisi ulang. Ulang mencapai deteksi error, pengirim menyisipkan kode pendeteksi kesalahan pada PDU yang ditransmisikan, yang juga merupakan fungsi bit-bit lain didalam PDU. Receiver memeriksa nilai kode pada PDU yang datang. Bila suatu kesalahan terdeteksi, receiver akan membuang PDU. Atas kelemahan dalam menerima balasan untuk PDU dalam waktu yang pantas, pengirim mentransmisikan PDU kembali. Beberapa protocol juga menggunakan kode perbaikan kesalahan, yang memungkinkan penerima tidak hanya mampu mendeteksi kesalahan namun juga untuk beberapa kasus, memperbaikinya sekalian.

Seperti halnya dengan flow control, error control merupakan fungsi yang harus ditunjukkan pada berbagai lapisan protocol. Amati lagi gambar 1.6. Protocol network access harus memasukkan fungsi error control untuk memastikan bahwa data dapat dipindahkan dengan lancar diantara station dan jaringan. Bagaimanapun juga, sebuah paket data kemungkinan dapat hilang didalam jaringan dan protocol transport harus mampu memulihkannya dari kondisi yang merugikan itu.

Pengalamatan

Konsep pengalamatan daam sebuah arsitektur komunikasi bersifat kompleks dan meliputi berbagai hal sebagai berikut:

- ☐ Addressing level (tingkatan pengalamatan)
- ☐ Addressing scope (jangkauan pengalamatan)
- ☐ Connection identifiers (identifikasi koneksi)
- ☐ Addressing mode (model pengalamatan)

Dari pembahasan, kita menggambarkan konsepnya menggunakan gambar 2.4, yang menunjukkan suatu konfigurasi menggunakan arsitektur TCP/IP. Konsep tersebut pada dasarnya sama untuk arsitektur OSI ataupun arsitektur-arsitektur komunikasi lainnya.

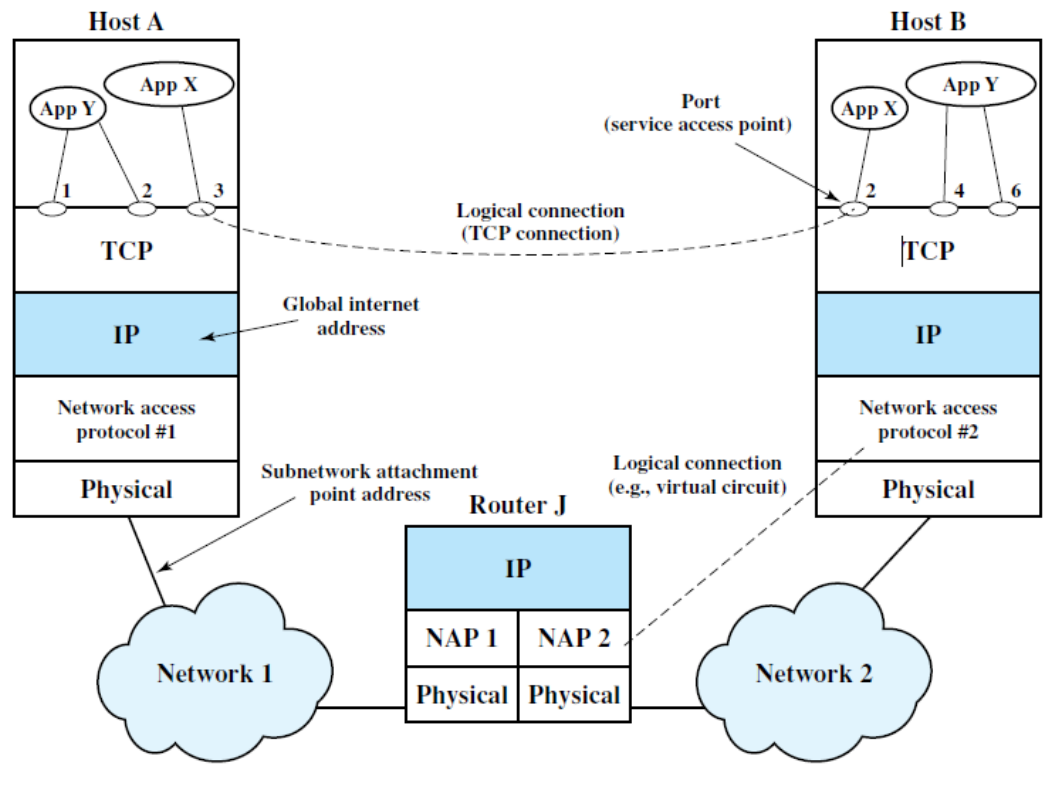
Level pengalamatan menunjukkan pada tingkatan dalam arsitektur komunikasi pada tempat dimana suatu entiti berada. Biasanya, suatu alamat khusus diasosiasikan dengan setiap ujung sistem (misalnya, workstation atau server). Dan setiap sistem lanjutan (misalnya, router) dalam suatu konfigurasi. Umumnya, alamat semacam itu adalah alamat level-jaringan (network-level addressing). Dalam hal arsitektur TCP/IP, hal ini disebut sebagai alamat IP (IP address), atau sederhananya alamat internet. Dalam hal arsitektur OSI, menunjuk pada Network Service Access Point (NSAP). Alamat Network-level dipergunakan untuk mengarahkan PDU melewati sebuah jaringan dan jaringan-jaringan menuju sebuah sistem yang diindikasikan lewat alamat network-level pada PDU.

Sekali data tiba pada sistem tujuan, data tersebut harus diarahkan kebeberapa proses atau aplikasi didalam sistem. Biasanya, sesuatu sistem akan mendukung aplikasi ganda dan suatu aplikasi bisa mendukung pengguna ganda. Masing-masing aplikasi dan mungkin, masing-masing pengguna aplikasi yang bersamaan, ditentukan oleh penanda tertentu, menunjukkan pada suatu port didalam arsitektur TCP/IP dan sebagai SAP (*Service Access Point*) didalam arsitektur OSI. Sebagai contoh, sistem host mendukung aplikasi elektronik mail dan aplikasi transfer berkas. Pada angka minimum setiap aplikasi akan memiliki nomor port atau SAP yang khusus didalam sistem tersebut. selanjutnya, aplikasi transfer berkas akan mendukung transfer-transfer ganda yang simultan, dimana transfer tiap kasus dilambangkan secara dinamis melalui unit nomor port atau SAP.

Gambar 2.4 menggambarkan dua level pengalamatan didalam sebuah sistem. Ini merupakan kasus untuk arsitektur TCP/IP. Bagaimanapun juga, akan ada pengalamatan pada setiap tingkatan scope. Alamat internet atau alamat NSAP yang ditunjukkan untuk setiap tingkatan arsitektur OSI.

Hal-hal lain yang berhubungan dengan alamat suatusistem dan atau sistem lanjutan adalah pengalamatan scope. Alamat internet atau alamat NSAP yang ditunjukkan sebelumnya merupakan alamat global. Karakteristik-karakteristik kunci dari suatu alamat global adalah sebagai berikut:

- ❑ **Global Nonambiguity:** Alamat global menunjukkan alamat tertentu. Nama yang sinonim diperbolehkan. Maksudnya, sebuah sistem bisa saja memiliki alamat global lebih dari satu.
- ❑ **Global Applicability:** Dimungkinkan pada apapun alamat global untuk memperkenalkan alamat global yang lain, didalam suatu sistem, dengan memakai alamat global dari sistem yang lain.



Gambar 2.4 konsep pengalamatan

Karena suatu alamat global bersifat khusus dan dapat diterapkan secara luas, memungkinkan sebuah internet mengarahkan data dari suatu sistem yang terpasang pada suatu jaringan menuju sistem lain yang terpasang pada jaringan lain.

Gambar 2.4 menggambarkan tingkatan pengalamatan lain yang mungkin diperlukan. Masing-masing jaringan harus mempertahankan alamat khusus untuk masing-masing peralatan interface pada jaringan. Contoh-contohnya adalah sebuah alamat MAC pada suatu jaringan IEEE 802 dan alamat host X.25. Alamat ini memungkinkan jaringan mengarahkan unit-unit data (misalnya, MAC frames, X.25 packets) sepanjang jaringan dan mengirimkannya ke sistem terpasang yang dimaksudkan. Kita dapat menyebut alamat semacam itu sebagai alamat titik terkait jaringan (network attachment address).

Hal-hal yang berkaitan dengan jangkauan alamat umumnya hanya relevan untuk alamat network-level. Port atau SAP di atas level jaringan bersifat khusus didalam sistem yang diberikan namun tidak harus sedemikian khusus secara global. Sebagai contoh, pada gambar 2.4, akan ada port 1 pada sistem A dan port

1 disistem B. Penandaan penuh dari dua port ini ditunjukkan sebagai A.1 dan B.1 yang merupakan penandaan khusus.

Sedangkan konsep pengenalan koneksi muncul bila kita lebih mempertimbangkan transfer data tanpa koneksi (misalnya, datagram). Untuk transfer data tanpa koneksi, sebuah nama global dipergunakan dengan masing-masing transmisi data. Sedangkan untuk transfer yang global dipergunakan dengan masing-masing transmisi data. Sedangkan untuk transfer yang berorientasi koneksi, kadang-kadang hanya dipergunakan sebuah nama koneksi selama fase transfer data. Skenarionya adalah sebagai berikut, yaitu entiti 1 pada sistem A meminta sebuah koneksi kepada entiti 2 sistem B, kemungkinan menggunakan alamat global B.2. Saat B.2 menerima koneksi, suatu penanda koneksi (biasanya dalam bentuk angka) disediakan dan dipergunakan oleh dua entiti untuk transmisi selanjutnya. Penggunaan sebuah penanda koneksi memiliki beberapa keuntungan, yakni:

- ❑ **Mengurangi Overhead:** Penanda koneksi umumnya lebih singkat dari pada penanda global. Sebagai contoh, pada protokol X.25 (dibahas di bab 10) yang dipergunakan pada packet-switched network, paket permintaan koneksi berisi alamat sumber dan tujuan, masing-masing dengan sebuah panjang sistem terdefinisi yang mungkin merupakan bilangan oktaf. Setelah koneksi logis, disebut sirkuit virtual, dijalankan, paket-paket data hanya berisikan nomor sirkuit virtual 12 bit.
- ❑ **Routing:** Dalam menjalankan sebuah koneksi, ditentukan rute yang jelas. Penanda koneksi menentukan arah menuju sistem lanjutan, seperti simpul paket-switching, untuk menangani PDU berikutnya,
- ❑ **Multiplexing:** Kita menandai fungsi-fungsi ini dengan istilah-istilah yang lebih umum nanti. Disini kita mencatat bahwa suatu entiti bisa saja ingin memiliki lebih dari satu koneksi secara simultan. Jadi, PDU yang masuk harus diidentifikasi oleh penanda koneksi.
- ❑ **Penggunaan Informasi Kondisi (Use of State Information):** Sekali suatu koneksi dijalankan, ujung sistem mampu mempertahankan informasi kondisi yang berkaitan dengan koneksi tersebut. Hal ini memungkinkan fungsi-fungsi semacam flow control dan error control mempergunakan serangkaian angka-angka. Kita lihat contoh-contohnya yang bersama dengan HDLC (bab 7) dan X.25 (bab 10).

Gambar 2.4 menunjukkan beberapa contoh koneksi. Koneksi logis diantara router J dan host B berada pada level jaringan. Sebagai contoh, bila jaringan 2 merupakan jaringan paket switching yang mempergunakan X.25, maka koneksi

logis ini akan menjadi sebuah sirkuit virtual. Pada level yang lebih tinggi, beberapa protocol transport level, semacam TCP, mendukung koneksi logis diantara pengguna transport layanan. Jadi, TCP dapat mempertahankan sebuah koneksi diantara dua port pada sistem yang berlainan.

Konsep pengalamatan yang lain adalah **addressing mode**. Umumnya, sebuah alamat menunjuk pada sebuah sistem tunggal atau port, dalam kasus ini menunjukkan pada lebih dari satu entiti atau port. Seperti sebuah penerima silmultan rangkap pengenalan alamat data. Sebagai contoh, seorang user mungkin ingin mengirimkan sebuah pesan kepada sejumlah individu. Pusat control jaringan ingin memberitahukan kepada seluruh pengguna bahwa jaringan tersebut sedang mancet. Sebuah alamat untuk penerima-penerima ganda bisa tersiar, dimaksudkan untuk seluruh entiti didalam suatu domain, atau multicase, dimasukkan untuk serangkaian entiti tertentu. Tabel 2.1 mengilustrasikan kemungkinan-kemungkinan tersebut.

Multiplexing

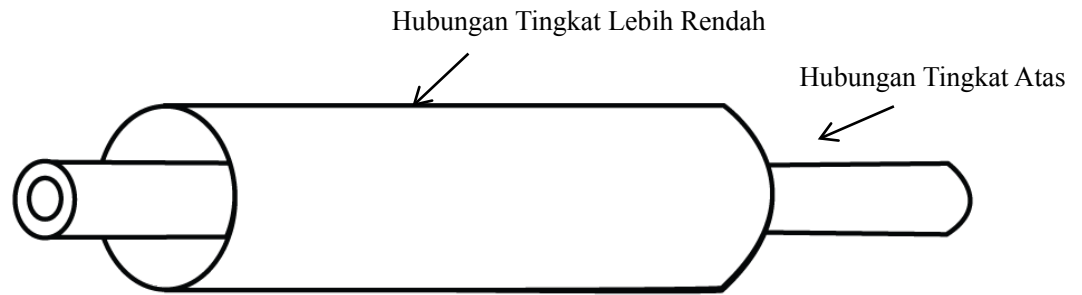
Yang masih berkaitan dengan konsep pengalamatan adalah multiplexing. Satu bentuk multiplexing didukung oleh arti dari koneksi multiple kedalam sistem tunggal. Sebagai contoh X.25, akan ada sirkuit virtual ganda, berhenti pada suatu ujung sistem tunggal; dapat kita katakan bahwa sirkuit virtual ini digandakan pada interface fisik tunggal diantara ujung sistem dan jaringan. Multiplexing juga dapat dikerjakan melalui nama-nama port, yang juga mengizinkan koneksi silmultan ganda. Sebagai contoh kemungkinan akan ada koneksi TCP ganda yang berhenti pada sitem yang diberikan, masing-masing koneksi mendukung sepasang port yang berlainan.

Tabel 2.1 Mode Pengalamatan

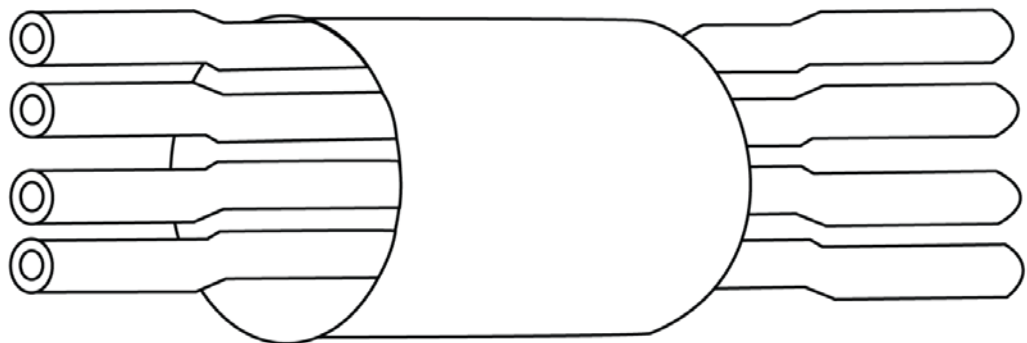
Tujuan	Alamat Jaringan	Alamat Sistem	Port/Alamat SAP
Unicast	Individual	Individual	Individual
Multicast	Individual Individual Semua	Individual Semua Semua	Kelompok Kelompok Kelompok
Broadcast	Individual Individual Semua	Individual Semua Semua	Semua Semua Semua

Multiplexing dipergunakan pada konteks yang lain juga, yaitu pemetaan koneksi dari satu level ke level yang lain. Amati lagi gambar 2.4. Jaringan 1 menyediakan sebuah layanan sirkuit virtual. Untuk setiap koneksi yang dijalankan pada level yang lebih tinggi berikutnya, sebuah sirkuit virtual dapat diciptakan pada level akses jaringan. Ini disebut hubungan satu-satu (one to one relationship), namun tidak perlu seperti itu. Multiplexing dapat digunakan dalam satu atau dua arah (gambar 2.5). multiplexing keatas, atau multiplexing kedalam, terjadi bila koneksi multipel pada level yang lebih tinggi. Ketika koneksi level lebih tinggi multiple adalah memultiplexikan, atau membagi, sebuah koneksi level rendah tunggal. Hal ini diperlukan agar penggunaan service pada level yang lebih rendah bisa lebih efisien atau untuk menyediakan beberapa koneksi pada level yang lebih tinggi pada suatu lingkungan dimana hanya ada sebuah koneksi tunggal pada level

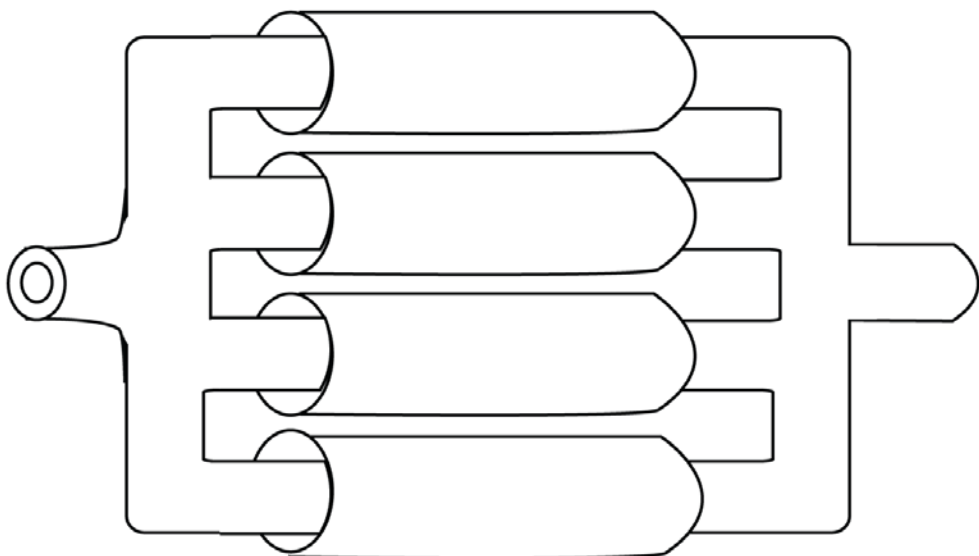
yang lebih rendah. Gambar 2.5 menunjukkan satu contoh mengenai multiplexing keatas.



a) Satu ke Satu



b) Multiplexing ke Atas



c) Multiplexing ke Atas

Gambar 2.5 koneksi multiplexing dan protocol

Multiplexing kebawah atau splitting, berarti suatu koneksi dibangun diatas puncak koneksi multiple pada level yang lebih rendah, jalur pada koneksi yang lebih tinggi dibagi antara berbagai koneksi yang lebih rendah. Teknik ini dipergunakan untuk menampilkan keandalan, kinerja, dan efisiensi.

Transmission Service

Sebuah protocol dapat menyediakan berbagai jenis layanan tambahan kepada entiti-entiti yang menggunakannya. Disini kita sebutkan tiga contoh umum yakni:

- ❑ **Prioritas:** Pesan-pesan tertentu, misalnya kontrol message, diperlukan agar dapat menghubungkan entiti dengan penundaan minimum. Contohnya adalah permintaan penutupan koneksi. Jadi, perioritas ditentukan atas dasar pesan, selain atas dasar koneksi.
- ❑ **Mutu Layanan:** Golongan data tertentu membutuhkan laju penyelesaian minimum atau batas penundaan maksimum.
- ❑ **Pengamanan (security):** Kemungkinan dimintai mekanisme pengamanan , membatasi akses.

Seluruh servis-servis ini tergantung pada sistem transmisi yang mendasari dan apapun entiti pada level yang lebih rendah yang menghalangi. Bila dimungkinkan pelayanan-pelayanan ini dapat disediakan dari bawah, protocol dapat dipergunakan oleh dua entiti untuk menjalankan pelayanan-pelayanan tersebut.

2.2 OSI

Seperti yang dibahas di bab 1, standart-standart diperlukan untuk meningkatkan kinerja diantara perangkat vendor dan untuk meningkatkan skala ekonomisnya. Karena task komunikasi sangat kompleks, standart tunggal tidaklah mencukupi. Lebih dari itu, fungsi-fungsi dibecahkan menjadi bagian-bagian yang dapat ditangani dan disusun sebagai arsitektur. Arsitektur ini kemudian akan membentuk kerangka kerja sebagai standarisasi.

Berdasarkan alasan ini ISO pada tahun 1977 membentuk sub komite untuk mengembangkan semacam arsitektur. Hasilnya adalah model referensi OSI (Open System Interconnection). Meskipun unsur-unsur model yang penting berada pada tempatnya, standart ISO terakhir, ISO 7498, tidak dipublikasikan sampai tahun 1994. Suatu versi yang compatible secara teknis dikeluarkan oleh CCITI (sekarang ITU-T) sebagai X.200.

Tabel 2.2 Prinsip-prinsip yang digunakan dalam menentukan lapisan OSI (ISO 7698)



Tabel 2.3 Justifikasi Lapisan OSI (ISO 7498)

--

Model

Teknik penyusunan yang sudah diterima secara luas, dan salah satunya dipilih oleh ISO adalah Layering. Fungsi-fungsi komunikasi dibagi menjadi suatu rangkaian lapisan yang hierarkis. Masing-masing lapisan menampilkan subrangkaiannya fungsi-fungsi yang masih berkaitan yang diperlukan untuk berkomunikasi dengan sistem yang lain. Hal itu tergantung pada lapisan yang lebih rendah berikutnya untuk menampilkan fungsi-fungsi yang lebih primitif serta untuk menyembunyikan fungsi-fungsi tersebut. Hal itu juga menyediakan layanan-layanan untuk lapisan yang lebih tinggi berikutnya. Idealnya, lapisan harus

ditentukan agar perubahan-perubahan dalam satu lapisan tidak sampai mengubah lapisan yang lain. Jadi, kita telah memecahkan satu masalah menjadi sejumlah sub masalah yang dapat ditangani.

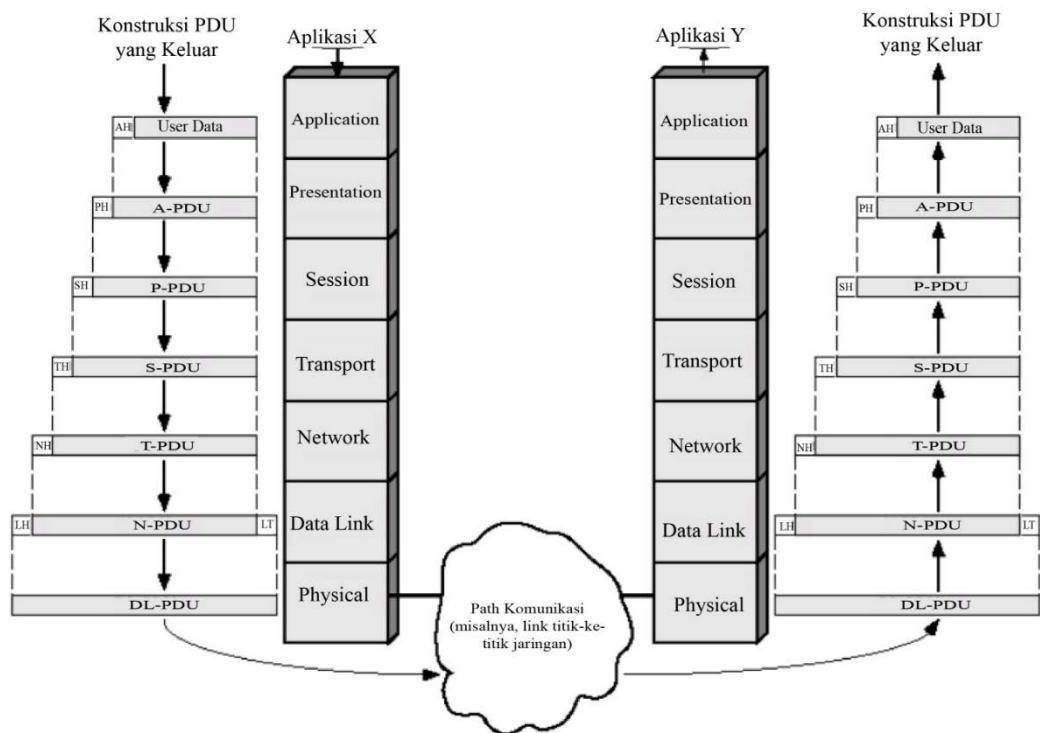
Tugas ISO adalah untuk menentukan suatu rangkaian lapisan dan layanan-layanan yang ditampilkan oleh setiap lapisan. Pembagiannya harus dengan mengelompokkan fungsi-fungsi secara logis dan harus memiliki cukup lapisan untuk membuat setiap lapisan menjadi manajemen kecil, tetapi tidak seharusnya mempunyai begitu banyak lapisan yang memproses, memaksa kumpulan lapisan adalah mempergerak sistem. Prinsip-prinsip yang menuntun upaya perancangan diringkas pada table 2.2. Model referensi yang dihasilkan mempunyai tujuh lapisan, daftarnya dilengkapi dengan definisi singkat pada gambar 1.10. Tabel 2.3 menampilkan justifikasi untuk pemilihan lapisan-lapisan ini.

Gambar 2.6 menggambarkan arsitektur OSI. Masing-masing terdiri dari 7 lapisan. Komunikasi yang datang diantara aplikasi dalam dua komputer, pada gambar tersebut diberi label aplikasi X dan aplikasi Y. Bila aplikasi X ingin mengirim ke aplikasi Y, ia meminta lapisan aplikasi (lapisan7). Lapisan 7 membentuk sebuah hubungan setara dengan lapisan 7 komputer target, menggunakan protocol lapisan 7 (protocol aplikasi). Protocol ini memerlukan servis dari lapisan 6, sehingga kedua lapisan entiti 6 menggunakan protocolnya sendiri, dan begitu turun kelapisan fisik, yang sebenarnya mentransmisikan bit-bit melalui sebuah media transmisi.

Patut dicatat bahwa tidak ada komunikasi secara langsung diantara perlapisan kecuali pada lapisan fisik. Yaitu, diatas lapisan fisik setiap entiti protocol mengirimkan data sampai lapisan yang lebih rendah berikutnya agar mendapatkan data melintasi entiti setaranya. Bahkan pada lapisan fisik, model OSI tidak menentukan bahwa kedua sistem tersebut dihubungkan secara langsung. Sebagai contoh, paket switched atau jaringan sirkuit switched kemungkinan dipergunakan untuk melengkapi link komunikasi.

Gambar 2.6 juga menyoroti penggunaan unit-unit protokol (PDU) arsitektur OSI. Pertama, memperlihatkan cara yang paling umum dimana protokol-protokol direalisasikan. Saat aplikasi X memiliki sebuah pesan untuk dikirimkan keaplikasi Y, ia mentransfer data-data tersebut ke sebuah entiti aplikasi pada lapisan aplikasi. Sebuah header dilampirkan kepada yang berisikan informasi yang diperlukan untuk protokol perlapisan 7 (encapsulation). Data yang asli, ditambah header, sekarang dilewatkan sebagai sebuah unit untuk lapisan 6. Entiti yang disajikan memperlakukan keseluruhan unit sebagai data yang melampirkan headernya (encapsulation ke2). Proses ini terus menurun melewati lapisan 2, yang iasanya menambah header dan jejak (misalnya, EHDC). Unit lapisan 2, disebut frame, kemudian dilintasi oleh lapisan fisik diatas media transmisi. Bila frame diterima oleh target sistem, terjadi proses yang sebaliknya. Saat data menaik, masing-masing lapisan melucuti header terluar, perilaku informasi protocol ada disana, dan melewati pengingat pelapisan berikutnya.

Pada setiap tahapan proses, suatu lapisan mensegmentasikan unit data diman ia menerimanya dari lapisan yang lebih tinggi berikutnya menjadi beberapa bagian, agar dapat menampung keperluan-keperluannya. Kemudian unit-unit data ini harus direassembling oleh lapisan setara yang sesuai yang dilewatkan.



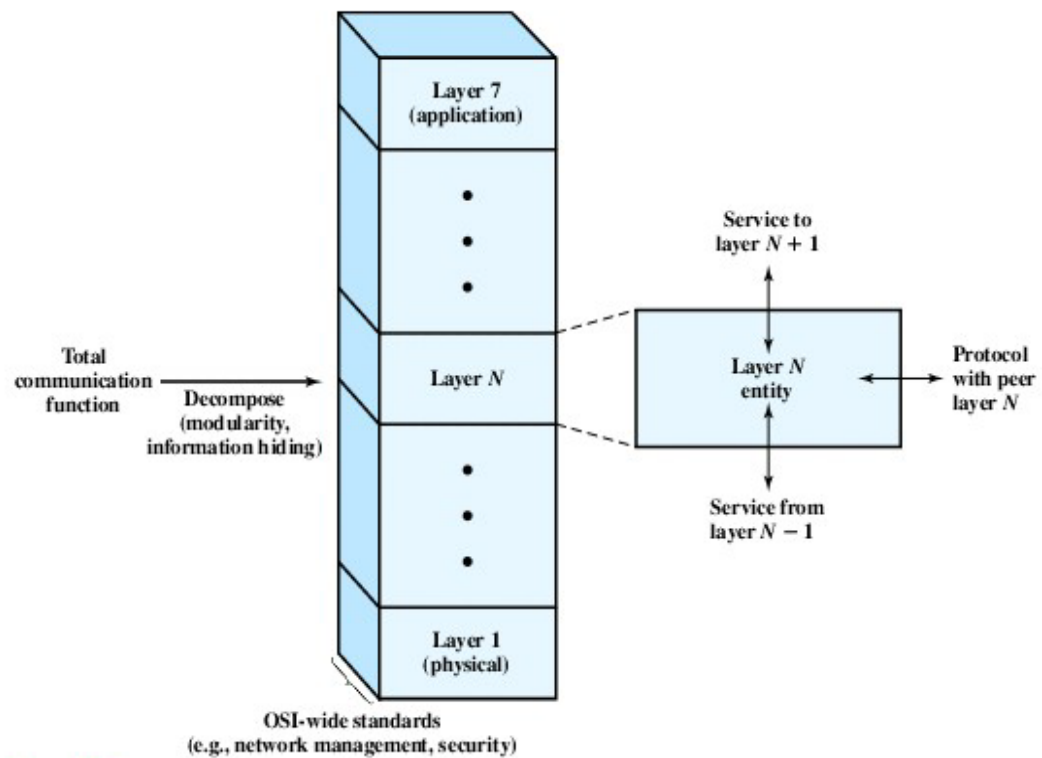
Standarisasi di dalam kerangka kerja OSI ⁴⁾

Alasan pasti untuk pengembangan model OSI di maksudkan untuk menyediakan suatu kerangka kerja bagi standarisasi. Di dalam model itu, satu atau lebih standart protocol dapat dikembangkan pada masing-masing lapisan. Model menentukan fungsi-fungsi secara umum agar dapat ditampilkan pada lapisan dan melengkapi proses pembuatan standar dengan dua cara:

- Baik, standart-standart dapat dikembagkan secara bebas dan simultan untuk masing-masing lapisan. Hal ini mempercepat proses pembuatan standart.
- Karena batas-batas diantara lapisan sudah ditentukan dengan baik, perubahan-perubahan yag terjadi di dalam standa pada satu lapisan yang lain. Hal ini mempermudah pengenalan standar-standar baru.

Gambar 2.7 mengilustrasikan penggunaan model OSI sebagai kerangka kerja semacam itu. Keseluruhan fungsi komunikasi terpaku menjadi tujuh lapisan yang berlainan, menggunakan prinsip-prinsip yang digariskan pada tabel 2.2. Prinsip-prinsip ini pada dasarnya sama dengan menggunakan rancangan modular (modular design). Yaitu, seluruh fungsi dipecah menjadi beberapa modul, membuat interface diantara modul sesederhana mungkin. Selain itu, dipergunakan juga prinsip-prinsip desain untuk menyembunyikan informasi: lapisan bawah dikaitkan dengan tingkatan detail-detail yang lebih besar. Didalam setiap lapisan, kedua service disediakan untuk lapisan yang lebih tinggi berikutnya serta protocol untuk peer lapisan pada sistem yang lain juga disediakan.

⁴⁾konsep-konsep yang diperkenalkan pada sebagian ini juga diterapkan untuk arsitektur TCP/IP

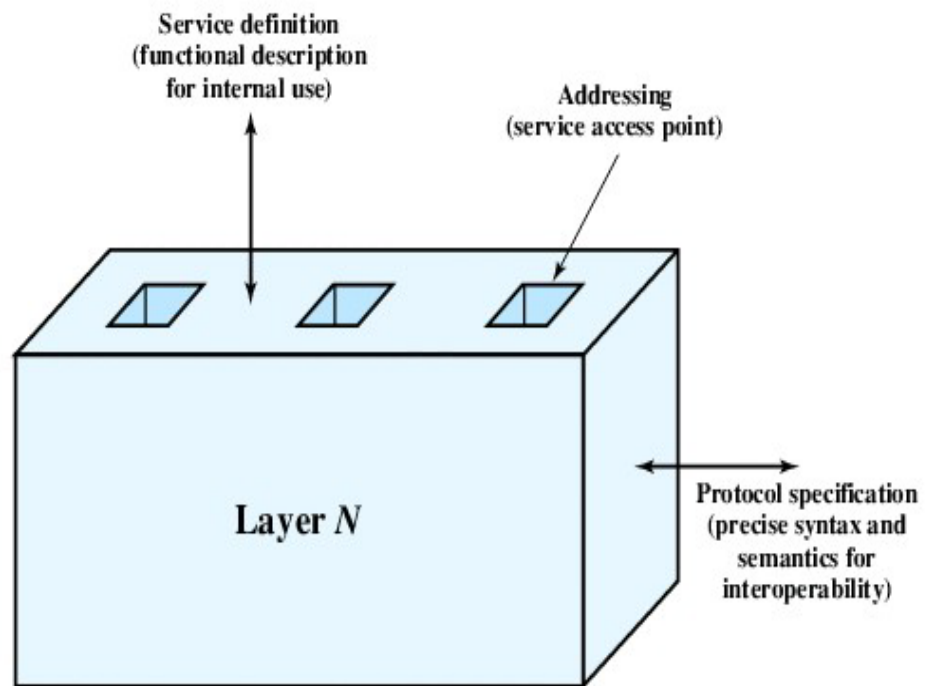


Gambar 2.7: Arsitektur OSI sebagai Kerangka Kerja bagi Standarisasi

Gambar 2.8 menampilkan sifat standarisasi yang lebih spesifik yang diperlukan pada masing-masing lapisan. Tiga elemen kuncinya adalah:

- **Spesifikasi protocol:** Dua entiti pada lapisan yang sama di dalam sistem yang berbeda bekerjasama dan berinteraksi oleh fungsi sebuah protocol. Karena melibatkan dua sistem terbuka yang berlainan, protocol harus dispesifikasikan dengan tepat. Hal ini meliputi format unit-unit data protocol berubah, semantik dari semua bidang, dan rangkaian PDU yang memungkinkan
- **Definisi layanan:** Sebagai tambahan untuk protocol atau protocol-protocol yang beroperasi pada lapisan yang di berikan, diperlukan standar-standar bagi layanan dimana setiap lapisan menyediakan untuk lapisan yang tingkatnya lebih tinggi berikutnya. Biasanya, definisi layanan ekuivalen terhadap deskripsi fungsional yang menentukan bahwa layanan disediakan, namun tidak menunjukkan bagaimana layanan-layanan tersebut disediakan
- **Pengalamatan:** masing-masing lapisan menyediakan layanan untuk entiti pada lapisan yang lebih tinggi. Entiti-entiti ini direferensikan oleh arti sebuah service acces point (SAP). Jadi, sebuah titik akses layanan jaringan (NASP) mengindikasikan suatu entiti transport dimana ia merupakan pengguna dari layanan jaringan.

Perlunya menyediakan spesifikasi protocol yang tepat bagi sistem terbuka adalah sesuatu yang tak terbantahkan. Dua item yang lain mendaftarkan tuntutan perintah lebih lanjut. Dengan penghargaan terhadap diskripsi service, alasan hanya untuk menyediakan suatu definisi fungsional adalah sebagai berikut: pertama, interaksi diantara dua lapisan terjadi di dalam cakupan sistem terbuka tunggal dan tidak berkaitan dengan sistem terbuka lainnya. Jadi, selama lapisan setara dalam sistem yang berbeda menyediakan layanan yang sama dengan lapisan-lapisan yang lebih tinggi berikutnya, detail-detail mengenai bagaimana layanan yang disediakan bisa berbeda dari satu sistem ke sistem yang lain tanpa harus kehilangan kepaduan unjuk kerja. Kedua, biasanya akan menjadi kasus dimana lapisan berbatasan di implementasikan pada prosesor yang sama. Pada kasus seperti itu, kita akan membebaskan programer sistem agar mengeksplorasi hardware dan mengoperasikan sistem agar menyediakan sebuah interface yang seefisien mungkin. Dengan penghargaan terhadap pengalaman, pengguna multipel dari lapisan yang lebih tinggi berikutnya. Multiplexing bisa saja terjadi pada setiap lapisan, namun model memungkinkan untuk itu.



Gambar 2.8: lapisan standart khusus

Service primitives dan parameter

Service diantara lapisan berbatasan pada arsitektur OSI diekspresikan kedalam istilah primitives dan parameter. Sebuah spesifikasi primitive fungsi menjadi terbentuk, sedangkan parameter dipergunakan untuk melewati data kontrol informasi. Bentuk nyata dari suatu primitives adalah penerapan ketergantungan. Contohnya adalah sebuah pemanggilan prosedur.

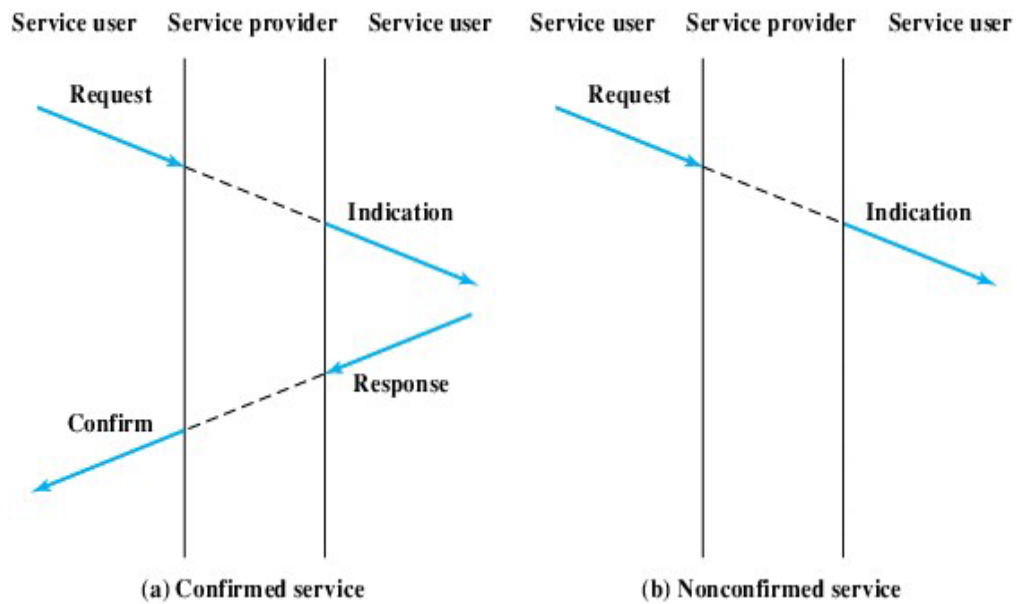
Empat jenis primitives dipergunakan dalam standar-standar untuk menentukan interaksi diantara lapisan berbatasan pada arsitektur (X.210). Hal ini

di gambarkan dalam tabel 2.4. Garis besar dari gambar 2.9a menyarankan tingkatan waktu dari peristiwa-peristiwa ini. Sebagai contoh, amati transfer data dari sebuah entiti (N) menuju suatu entiti setara (N) pada sistem yang lain. Terjadi tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Entity source (N) menggerakkan entitinya (N-1) dengan primitive yang diminta. Diasosiasikan dengan primitive yang di butuhkan parameter, seperti data yang ditransmisikan dan alamat tujuan
2. Entity source (N) menyiapkan sebuah PDU (N-1) untuk di kirim menuju entiti setaranya (N-1)
3. Destination entity (N-1) mengirimkan data menuju entiti tujuan yang tepat (N) melalui sesuatu indication primitive, yang memasukkan alamat data source sebagai parameter.
4. Bila sebuah balasan(acknowledgement) dipanggil, entiti tujuan (N) mengeluarkan suatu tanggap primitive menuju entiti(N-1)- nya
5. Entity(N-1) menyampaikan acknowledgement didalam sebuah PDU (N-1)
6. Acknowledgement dikirimkan ke entity(N) sebagai confirm primitive

Tabel 2.4 Tipe-tipe primitiv

--	--



Gambar 2.9 Time Sequence untuk Service Primitive

Rangkaian kejadian ini menunjuk pada **confirmed service**; saat initiator menerima konfirmasi bahwa service yang diminta telah memiliki efek yang diharapkan pada ujung yang lain. Seandainya permintaan dan indication primitive tidak dilibatkan (berhubungan dengan langkah 1 sampai 3), maka dialog service menjadi **nonconfirmed service**; initiator tidak menerima konfirmasi bahwa pesan aksi sudah pada tempatnya. (Gambar 2.9b).

Lapisan-lapisan OSI

Pada bagian ini kita membahas secara singkat masing-masing lapisan dan bila sesuai, diberikan contoh-contoh mengenai standar-standar untuk protocol pada lapisan-lapisan tersebut.

Physical layer

Lapisan fisik mencakup physical interface diantara device dan aturan-aturan bit-bit dilewatkan dari satu ke yang lain. Lapisan fisik memiliki empat karakteristik penting, yakni:

- **Mekanis:** Berkaitan dengan properti fisik dari interface ke media transmisi. Biasanya, spesifikasinya adalah dari konektor pluggable yang menggabungkan satu atau lebih signal conductor, yang disebut sirkuit.
- **Elektris:** Berkaitan dengan tampilan bit-bit (misalnya, dalam hal tingkatan-tingkatan voltase serta laju transmisi bit).
- **Fungsional:** Menentukan fungsi-fungsi yang ditampilkan oleh sirkuit tunggal dari interface fisik diantara sebuah sistem dengan transmisi.
- **Prosedural:** Menentukan rangkaian kejadian dimana arus bit berpindah melalui medium fisik.

Protocol-protocol lapisan fisik dibahas secara terperinci pada bab 6. Contoh-contoh standar pada lapisan ini adalah EIA-232-F dan bagian dari ISDN serta standar-standar LAN.

Data link layer

Mengingat lapisan fisik hanya menyediakan suatu layanan arus bit mentah (layanan arus bit yang tidak diproses), lapisan data link mengupayakan agar link fisik cukup baik dan menyediakan alat-alat untuk mengaktifkan, mempertahankan, dan menonaktifkan link. Service pokok yang disediakan oleh lapisan data link untuk lapisan yang lebih tinggi adalah error detection dan control jadi, dengan suatu protocol lapisan data link yang berfungsi sepenuhnya, lapisan yang lebih tinggi berikutnya bisa menerima transmisi bebas kesalahan melewati link, bagaimanapun juga, bila komunikasi terjadi diantara dua sistem yang tidak di hubungkan secara langsung, koneksi akan terdiri dari sejumlah data link ganda, masing-masing berfungsi secara terpisah. Jadi, lapisan yang lebih tinggi tidak dikurangi tanggungjawab untuk mengontrol error.

Network layer

Lapisan network menyediakan transfer informasi diantara ujung sistem melewati beberapa jaringan komunikasi berurutan. Ini mengurangi lapisan tertinggi dari kebutuhan untuk mengetahui apapun mengenai transmisi data yang mendasari dan mengganti teknologi-teknologi yang dipergunakan untuk menghubungkan sistem. Pada lapisan ini, sistem komputer berdialog dengan jaringan untuk menentukan alamat tujuan dan meminta fasilitas jaringan tertentu, misalnya prioritas.

Terdapat berbagai macam kemungkinan untuk menghalangi fasilitas-fasilitas komunikasi dikelola oleh lapisan network yang mencolok, terdapat link langsung dari titik ke titik diantara station. Dalam hal ini, tidak diperlukan lagi untuk satu lapisan network karena lapisan link data mampu menampilkan fungsi yang diperlukan dalam mengelola link.

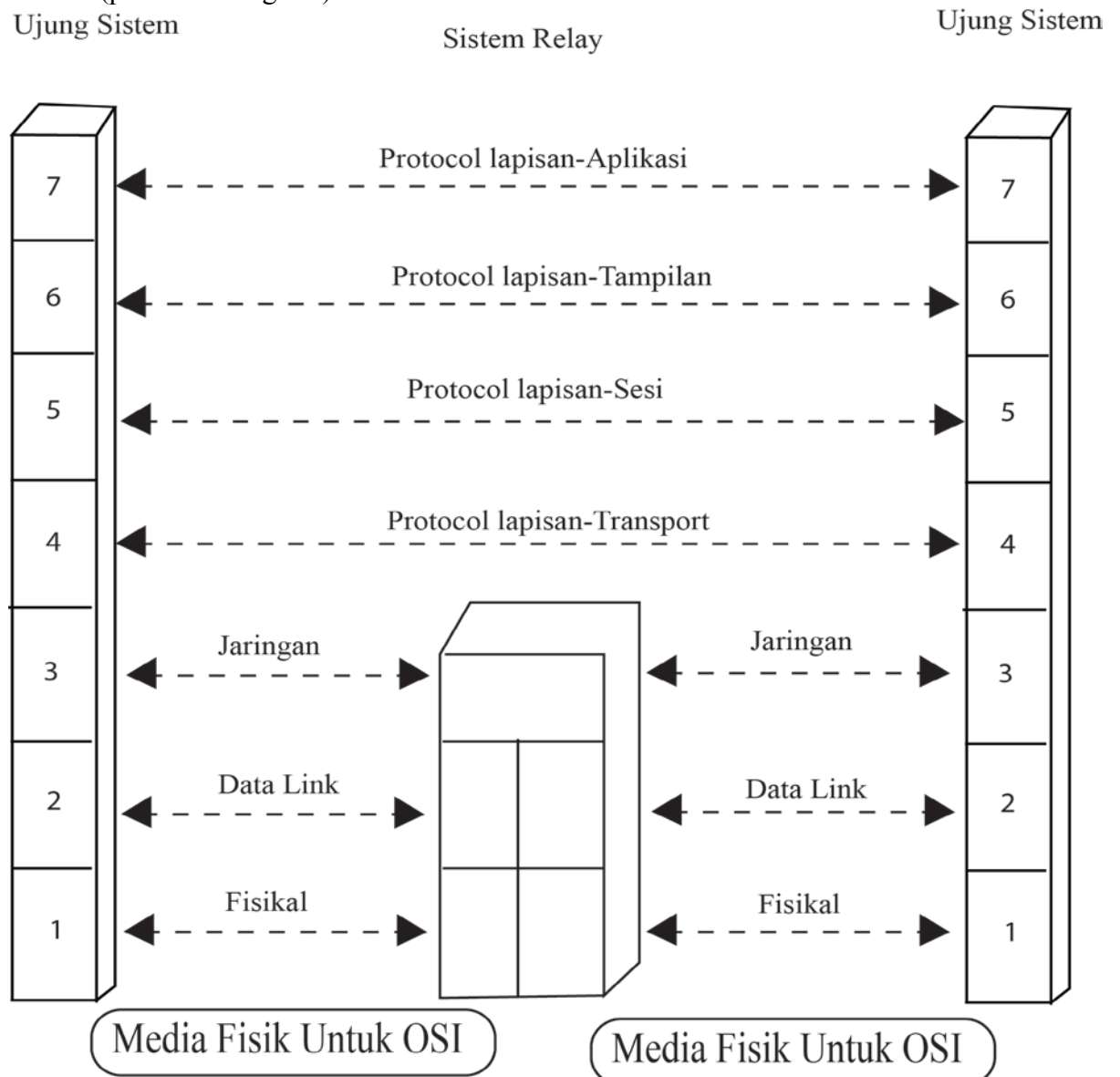
Selanjutnya, sistem dapat dihubungkan melalui suatu jaringan tunggal, semacam jaringan packet-switching atau circuit-switching. Sebagai contoh, packet-level dari standar X.25 merupakan standar lapisan network untuk situasi ini. Gambar 2.10 menunjukkan bagaimana keberadaan sebuah jaringan yang dimuat oleh arsitektur OSI. Tiga lapisan yang lebih rendah dikaitkan dengan pemasangan dan komunikasi dengan jaringan. Packet-packet yang diciptakan oleh ujung sistem melalui satu simpul network atau lebih yang bertindak sebagai perantara diantara kedua ujung sistem. Sistem network menerapkan lapisan arsitektur 1 sampai 3. Pada gambar tersebut, dua ujung sistem di hubungkan melalui satu simpul network tunggal. Lapisan 3 pada simpul menampilkan fungsi switching dan routing. Didalam simpul, terdapat dua lapisan data link dan dua lapisan fisik, disamakan dengan link pada kedua ujung sistem. Masing-masing lapisan data link (dan lapisan fisik) beroperasi secara terpisah untuk menyediakan layanan kepada lapisan network melalui link-nya masing-masing. Empat lapisan yang lebih tinggi adalah protocol 'ujung ke ujung' diantara ujung sistem yang terpasang.

Pada penekanan yang lain, dua ujung sistem kemungkinan ingin berkomunikasi namun bahkan tidak terhubung ke jaringan yang sama, bahkan mereka di hubungkan dengan jaringan yang baik secara langsung maupun tidak langsung, dihubungkan satu sama lain. Khusus ini memerlukan pengalaman beberapa teknik internetworking berurutan kita membahas pendekatan ini lebih jauh di buku "jaringan komputer" oleh penulis yang sama.

Transport layer

Lapisan transport menyediakan suatu mekanisme perubahan data diantara ujung sistem. Layanan transport berorientasi-koneksi menjamin bahwa data yang dikirim bebas dari kesalahan secara bertahap dengan tidak mengalami duplikasi atau hilang. Lapisan transport juga dapat dikaitkan dengan mengoptimalkan penggunaan layanan jaringan dan menyediakan mutu layanan yang bisa diminta, maksimum penundaan, prioritas, dan pengamanan.

Ukuran dan kelengkapan sebuah protocol transport tergantung dari seberapa diandalkannya atau tidak jaringan yang mendasari dan lapisan network layanan. Karena itu, ISO telah mengembangkan suatu rumpun lima standar protocol transport, masing-masing berorientasi terhadap layanan yang berbeda yang mendasari. Pada protocol suite TCP/IP, terhadap dua lapisan transport protocol umum: TCP berorientasi-koneksi(protocol kontrol transmisi) dan UDP tanpa koneksi(protocol datagram).



Gambar 2.10 penggunaan sebuah relay

Session layer

Empat lapisan terendah dari model OSI menyediakan cara bagi pertukaran data yang diandalkan dan juga menyediakan berbagai pilihan mutu layanan. Untuk beberapa aplikasi, layanan dasar ini tidak mencukupi. Sebagai contoh, sebuah aplikasi akses terminal yang jauh mungkin membutuhkan tempat pemeriksaan dalam aliran transfer data untuk membiarkan backup dan recovery. Suatu aplikasi pengolahan pesan kemungkinan membutuhkan suatu kemampuan untuk menghentikan sebuah dialog untuk menyiapkan porsi baru dari suatu pesan dan kemudian melanjutkan dialog dimana dialog tersebut dihentikan.

Semua kemampuan ini dapat disimpan di dalam aplikasi-aplikasi khusus pada lapisan 7. Bagaimanapun juga, peralatan struktur dialog type-type ini mempunyai penggunaan yang meluas, masuk akal untuk menyusun mereka menjadi sebuah lapisan terpisah, yaitu lapisan sesi.

Lapisan sesi menyediakan mekanisme untuk mengontrol dialog diantara aplikasi pada ujung sistem. Pada beberapa kasus, akan ada sedikit atau tidak diperlukan untuk layanan lapisan sesi, namun untuk beberapa aplikasi tertentu saja, service semacam itu diperlukan service-service kunci yang disediakan oleh lapisan sesi adalah sebagai berikut:

- **Disiplin dialog (dialogue discipline):** Ini bisa berupa dua saluran simultan (full duplex) atau dua saluran pilihan (half duplex).
- **Pengelompokan (grouping) :** Aliran data bisa ditandai dengan cara menentukan kelompok data. Sebagai contoh, bila sebuah toko eceran sedang mentransmisikan data penjual kepada suatu kantor cabang di daerah, data dapat di tandai dengan cara menentukan bagian akhir data penjualan untuk masing-masing departemen. Hal ini memberikan tanda pada host komputer untuk menyelesaikan total running untuk departemen tersebut dari mulai mencacah running baru untuk departemen berikutnya.
- **Recovery:** Lapisan sesi dapat menyediakan suatu mekanisme pemeriksaan, agar bila terjadi kegagalan diantara checkpoint, sesi entiti dapat mentransmisikan kembali seluruh data mulai dari checkpoint terakhir.

ISO telah mengeluarkan sebuah standart untuk lapisan sesi yang mencakup, sebagai pilihan, layanan-layanan seperti yang baru saja di gambarkan.

Presentation layer

Lapisan presentasi menentukan format data yang dipindahkan diantara aplikasi dan menawarkan program-program aplikasi serangkaian layanan transformasi data. Presentation layer menentukan syntax yang dipergunakan antara entiti aplikasi serta menyediakan modifikasi seleksi dan subsequent dari representasi yang dipergunakan. Contoh-contoh aplikasi dan layanan-layanan khusus yang bisa ditampilkan pada lapisan ini adalah kompresi dan enkripsi data.

Application layer

Lapisan aplikasi menyediakan cara bagi program-program aplikasi untuk mengakses lingkungan OSI. Lapisan ini berisikan fungsi-fungsi manajemen dan mekanisme-mekanisme yang umumnya berguna untuk mendukung aplikasi-aplikasi yang didistribusikan. Selain itu, aplikasi tujuan umum seperti file transfer, surat elektronik dan terminal access untuk komputer-komputer yang berjauhan ditempatkan pada lapisan ini.

2.3 SUITE PROTOCOL TCP/IP

Selama beberapa tahun, literature teknis mengenai arsitektur protocol didominasi oleh pembahasan-pembahasan yang berhubungan dengan OSI serta pengembangan protocol dan layanan pada setiap lapisan. Sepanjang tahun 1980-an, diyakini secara luas bahwa OSI akan mendominasi secara komersial, melalui arsitektur-arsitektur komersial semacam SNA-nya IBM serta dengan menyaingi skema-skema multivendor seperti TCP/IP. Harapan ini tidak pernah terealisasi. Pada tahun 1990-an, barulah TCP/IP benar-benar menjadi arsitektur komersial yang dominan serta sebagai protocol suite yang terbanyak mewujudkan pengembangan protocol baru.

Terdapat beberapa alasan mengapa protocol TCP/IP sukses melampaui OSI, yakni :

1. Protocol TCP/IP ditentukan dan dinikmati penggunaanya secara ekstensif sebelum standarisasi protocol-protocol alternative ISO. Jadi, organisasi-organisasi pada tahun 1980-an dengan sebuah kebutuhan mendesak dihadapi dengan pilihan menunggu untuk selalu menjanjikan, tidak pernah memberi hasil sempurna packet OSI dan up-and-running, plug-and-play suite TCP/IP. Sekali pilihan TCP/IP yang nyata dibuat, biaya dan risiko-risiko teknis di dalam migrasi dari sebuah penerimaan OSI terhambat dasar instalasi.
2. Protocol TCP/IP awalnya dikembangkan sebagai sebuah upaya riset militer Amerika Serikat yang didanai oleh Departemen Pertahanan (DOD). Meskipun DOD, seperti pada patokan pemerintah Amerika Serikat, dijalankan untuk standart-standart internasional. DOD memerlukan secara cepat tidak dapat dipenuhi selama tahun 1980-an dan awal 1990-an secara tidak terduga oleh produk dari OSI. Karena itu, DOD memberikan mandat penggunaan protocol-protocol TCP/IP untuk semua pembelian software secara virtual. Karena DOD merupakan konsumen terbesar untuk produk-produk software di dunia, kebijakan ini menciptakan sebuah pasar yang sangat besar, dan mendorong vendor- vendor mengembangkan produk-produk berbasis TCP/IP.

3. Protocol-protocol TCP/IP yang awalnya dibangun diatas suite TCP/IP. Pertumbuhan Internet yang dramatis dan khususnya World Wide Web telah memperkuat kejayaan TC/IP melampaui OSI.

Pendekatan TCP/IP

Suite protocol TCP/IP meyakini bahwa tugas komunikasi terlalu kompleks dan terlalu beragam untuk diselesaikan oleh suatu unit tunggal. Karena itu, tugas dipecah menjadi modul-modul (entitas) yang dapat berkomunikasi dengan entitas yang setara pada sistem lain. Satu entitas didalam suatu sistem menyediakan layanan untuk sistem yang lain dan sebaliknya, menggunakan layanan dari entitas-entitas yang lain pula. Aturan praktis perancangan software yang baik adalah entitas-entitas ini dirancang di dalam sebuah tampilan modular dan hierarki.

Model OSI didasarkan atas alasan yang sama, namun mengambil satu langkah lebih jauh. Langkah berikutnya adalah pengakuan bahwa dalam banyak hal, protocol-protokol pada level yang sama dari hierarki memiliki bentuk-bentuk tertentu yang umum. Hal ini menghasilkan konsep baris atau lapisan-lapisan dan upaya untuk menggambarkan di dalam sebuah tampilan abstrak bentuk apa yang dimiliki secara umum oleh protocol-protokol dalam baris tertentu.

Sebagai suatu alat penjelas, sebuah model lapisan memiliki nilai yang signifikan. Dan yang pasti model OSI dipergunakan untuk keperluan beberapa buku yang membahas mengenai komunikasi data dan telekomunikasi. Penolakan yang kadang-kadang dilontarkan oleh perancang suite protokol TCP/IP adalah bahwa model OSI lebih bersifat perspektif daripada deskriptif. Hal ini menyatakan bahwa protocol-protokol didalam lapisan berperan untuk menampilkan fungsi-fungsi tertentu, namun hal ini tidak selalu diharapkan. Sangatlah mungkin menentukan lebih dari satu protokol pada lapisan tertentu, dan fungsionalitas dari protocol-protokol ini tidak harus sama, atau bahkan similar. Jadi apa yang umum dari serangkaian protokol pada lapisan yang sama adalah bahwa mereka membagi-bagi rangkaian protokol pendukung yang sama pada lapisan bawah berikutnya.

Ada keterlibatan lebih jauh didalam model OSI, dikarenakan interface diantara lapisan ditentukan dengan baik. Suatu protokol baru dapat menggantikan protokol yang lebih lama pada lapisan tertentu tanpa ada pengaruh yang kuat atas

lapisan-lapisan yang berdekatan. (Lihat prinsip 6, tabel 2.2) Hal ini tidak mungkin atau bahkan tidak selalu diharapkan. Sebagai contoh, sebuah LAN memberi kemungkinan untuk *Multicast* dan menyiarkan (*broadcast*) pengalamatan pada level link. Bila level link IEEE 802 disisipkan dibawah satu entitas protokol jaringan yang tidak mendukung *multicasting* dan *broadcasting*, layanan tersebut akan ditolak untuk lapisan atas dan hierarki. Untuk mengurus masalah-masalah ini, OSI *proponent talk* dari null lapisan dan sublapisan. Kadang-kadang nampak bahwa artefak-artefak ini menyelamatkan model dalam hal biaya perancangan protokol yang baik.

Di dalam model – model TCP/IP. Kesempurnaan penggunaan semua lapisan tidaklh diharuskan. Sebagai contoh, ada protokol – protokol level aplikasi yang beroperasi secara langsung di puncak IP.

Arsitektur Protokol TCP/IP

Suite protokol TCP/IP diperkenalkan di bab 1, sebagaimana yang dijelaskan, tidak ada model protokol TCP/IP yang resmi. Bagaimanapun juga sangatlah berguna menggolongkan suite protokol seperti lima lapisan yang dilibatkan. Untuk merangkum dari bab 1, lapisan-lapisan ini adalah sebagai berikut :

- ❑ Application layer: Menyediakan komunikasi diantara proses atau aplikasi pada host-host terpisah
- ❑ End-to-end atau Transport layer: Menyediakan layanan transfer data ujung-ke-ujung. Lapisan ini meliputi mekanisme-mekanisme keandalan. Menyembunyikan detail-detail jaringan yang mendasari atau jaringan-jaringan dari lapisan aplikasi.
- ❑ Internet layer: Berkaitan dengan routing data dari sumber ke host tujuan melewati satu jaringan atau lebih yang dihubungkan melalui router.
- ❑ Network access layer: Berkaitan dengan logical interface, diantara suatu ujung sistem dan jaringan.
- ❑ Physical layer: Menentukan karakteristik-karakteristik media transmisi, rata-rata pensinyalan, serta skema pengkodean sinyal (signal encoding scheme)

Operasi TCP dan IP

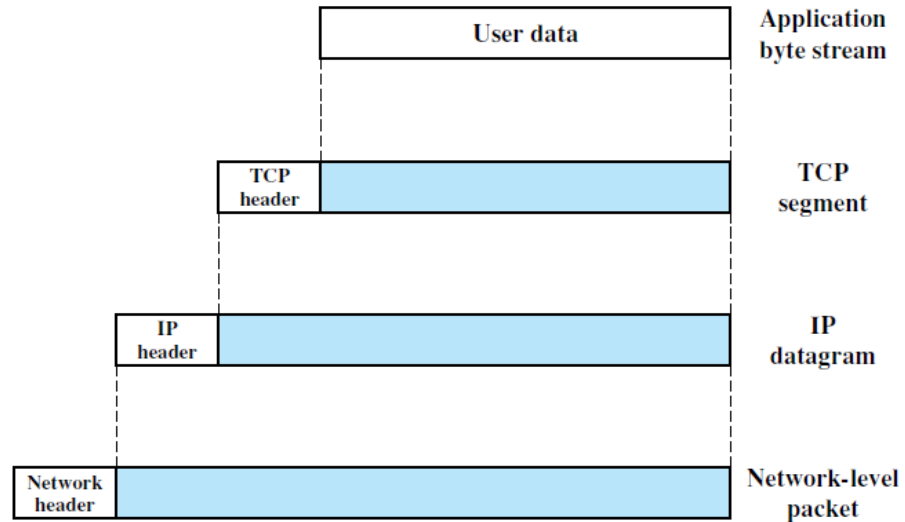
Gambar 2.4 menunjukkan bagaimana protokol TCP/IP dibentuk atau dikonfigurasi untuk komunikasi. Beberapa protokol network access yang berurutan seperti Ethernet, dipergunakan untuk menghubungkan sebuah komputer dengan suatu jaringan. Protokol ini memungkinkan host mampu mengirim data melewati jaringan menuju host lain atau, dari sebuah host pada jaringan lain menuju router. IP diterapkan pada seluruh ujung sistem dan router. Ia bertindak sebagai relay untuk memindah suatu block data dari satu host, melewati satu router atau lebih, menuju host yang lain. TCP hanya diterapkan pada *end* sistem, dan menjadi track suatu blok data untuk memastikan bahwa semuanya dikirim menuju aplikasi yang tepat secara reliabel.

Agar komunikasi berhasil, setiap entitas pada seluruh sistem harus memiliki suatu alamat khusus. Sebenarnya diperlukan dua level pengalamatan, masing-masing host pada suatu jaringan harus memiliki sebuah alamat internet global khusus. Hal ini memungkinkan protokol end-to-end (TCP) mengirim data ke proses yang tepat. Address-address ini kemudian disebut sebagai port-port.

Mari kita meniru operasi yang ditunjukkan dalam Gambar 2.4. Andai itu merupakan sebuah proses, diasosiasikan dengan port 1 pada host A, ingin mengirim sebuah pesan ke proses yang lain, diasosiasikan dengan port 2 pada host B. Proses pada A meneruskan pesan menuju IP dengan instruksi untuk mengirimkannya menuju host B. Patut dicatat bahwa IP tidak perlu diberitahu identitas port tujuan, yang perlu diketahui hanya data yang dimaksudkan untuk host B. Berikutnya, IP meneruskan pesan menuju lapisan network access (misalnya, Ethernet logic) dengan instruksi untuk mengirimkannya ke router J (lompatan pertama pada jalan menuju B).

Untuk mengontrol operasi ini control information serta data user harus ditransmisikan sebagaimana yang disarankan pada Gambar 2.11. Kita bisa mengatakan bahwa proses pengiriman menggerakkan suatu blok data dan meneruskannya ke TCP. TCP memecah blok data ini menjadi bagian-bagian kecil agar mudah disusun. Untuk setiap bagian-bagian kecil ini, TCP melampirkan control information yang disebut sebagai TCP header, membentuk suatu segmen

TCP. Control Information dipergunakan oleh peer entitas protokol TCP pada host B. Contoh dari item-item yang termasuk dalam header adalah sebagai berikut :



Gambar 2.11 unit-unit data protocol pada arsitektur TCP/IP

- ❑ Destination port: Saat entitas TCP pada B menerima segmen, harus diketahui kepada siapa data dikirimkan.
- ❑ Sequence number: TCP numbers the segment bahwa ia dikirimkan ke port tujuan khusus secara bertahap, sehingga bila mereka datang tidak sesuai dengan yang diperintahkan, entitas TCP pada B dapat memerintah mereka kembali.
- ❑ Checksum: Pengiriman TCP mencakup suatu kode yang merupakan suatu fungsi yang berisi penyimpanan segmen. Penerima TCP menampilkan kalkulasi yang sama dan membandingkan hasilnya dengan kode yang datang. Terjadi ketidaksesuaian hasil bila terjadi error pada transmisi.

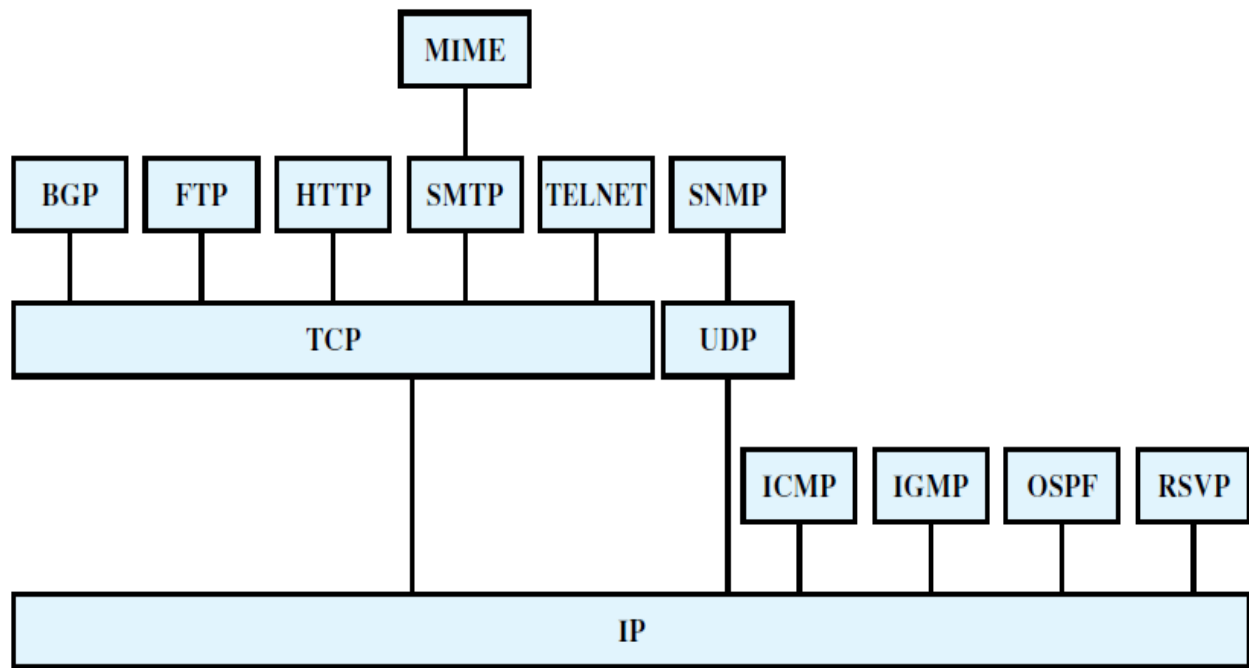
Berikutnya, TCP menyerahkan masing-masing segmen kepada IP, dengan instruksi untuk mentransmisikan ke B. Segmen-segmen ini harus diransmisikan melalui satu jaringan atau lebih dan disampaikan lewat satu atau lebih router perantara. Operasi ini juga memerlukan penggunaan kontrol informasi. Jadi, IP melampirkan suatu header kontrol informasi kepada setiap segmen untuk membentuk suatu datagram IP. Contoh dari item yang disimpan dalam header IP adalah alamat host tujuan (pada contoh ini, B).

Terakhir, masing-masing datagram IP ditampilkan ke lapisan network access untuk ditransmisikan melewati jaringan pertama pada perjalanannya menuju tujuan. Lapisan Network Access melampirkan headernya, menciptakan

sebuah paket atau frame. Paket ditransmisikan sepanjang jaringan menuju router
 J. Paket header berisikan informasi yang diperlukan jaringan untuk menstransfer data sepanjang jaringan tersebut.

Contoh – contoh dari item yang berisikan header meliputi :

- ☐ Destination network address: Jaringan harus tahu kemana paket perlengkapan terpasang harus dikirim.
- ☐ Facilities request: Network access protokol berkemungkinan meminta penggunaan fasilitas jaringan, misalnya seperti prioritas.



BGP = Border Gateway Protocol
 FTP = File Transfer Protocol
 HTTP = Hypertext Transfer Protocol
 ICMP = Internet Control Message Protocol
 IGMP = Internet Group Management Protocol
 IP = Internet Protocol
 MIME = Multipurpose Internet Mail Extension

OSPF = Open Shortes Path First
 RSVP = Resource Reservation Protocol
 SMTP = Simple Mail Transfer Protocol
 SNMP = Simple Network Management Protocol
 TCP = Transmission Control Protocol
 UDP = User Datagram Protoc

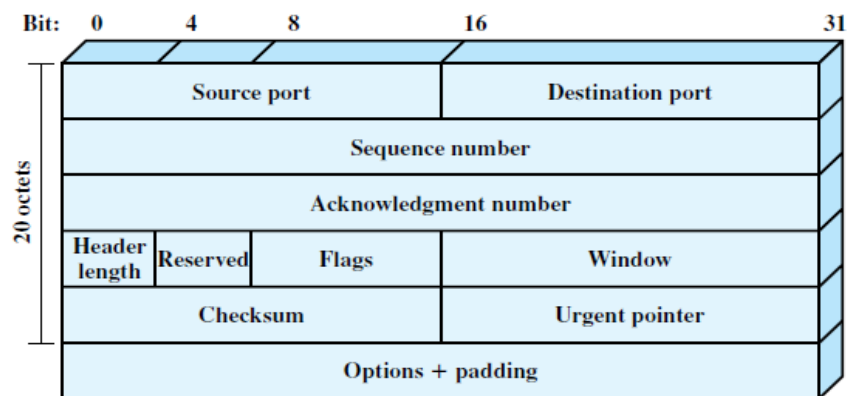
Gambar 2.12 beberapa protocol dalam suite protocol TCP/IP

Pada router J, header paket dibuang dan memeriksa header IP. Atas dasar informasi alamat tujuan pada header IP, modul IP pada router mengarahkan datagram IP melewati jaringan 2 menuju B untuk melakukan hal itu, lalu datagram dirakit lagi dengan header network access.

Bila data diterima di B, terjadi proses kebalikannya. Pada masing – masing lapisan, header yang sesuai dipindahkan, dan sisanya diarahkan menuju lapisan lebih tinggi berikutnya sampai data pengguna yang asli dikirimkan ke proses destination (tujuan).

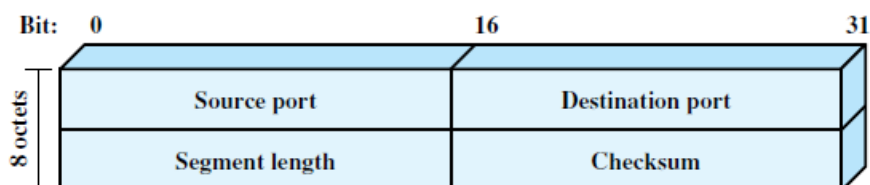
TCP dan UDP

Untuk sebagian besar aplikasi yang berjalan sebagai bagian dari arsitektur protokol TCP / IP, protokol lapisan transport adalah TCP. TCP menyediakan koneksi yang handal untuk transfer data antara aplikasi. Sambungan hanyalah sebuah asosiasi logis sementara antara dua entitas dalam sistem yang berbeda. Koneksi logika mengacu pada sepasang diberikan nilai-nilai pelabuhan. Untuk durasi sambungan setiap entitas melacak TCP segmen datang dan pergi ke entitas lain, untuk mengatur aliran segmen dan untuk pulih dari segmen yang hilang atau rusak.



Gambar 2.13 (a)

Gambar 2.13(a) menunjukkan format header untuk TCP, yang merupakan minimal 20 oktet, atau 160 bit. Bidang Sumber Pelabuhan dan Pelabuhan Tujuan mengidentifikasi aplikasi di sumber dan tujuan sistem yang menggunakan koneksi ini. Bidang Sequence Nomor, Nomor Pengakuan, dan Window memberikan kontrol aliran dan kontrol kesalahan. Checksum adalah frame check sequence 16-bit yang digunakan untuk mendeteksi kesalahan di segmen TCP.

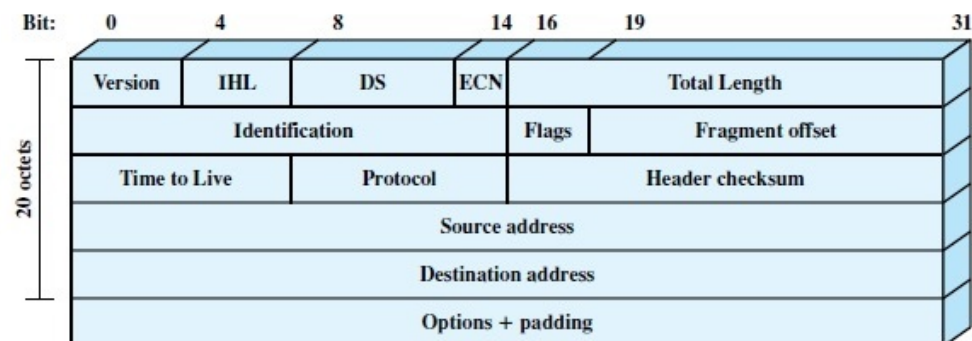


Gambar 2.13 (b)

Selain TCP, ada satu protokol transport-level lainnya yang ada umum digunakan sebagai bagian dari TCP / IP protocol suite, yaitu User Datagram Protocol (UDP). UDP tidak menjamin pengiriman, pelestarian urutan, atau perlindungan terhadap duplikasi. UDP memungkinkan prosedur untuk mengirim pesan ke prosedur lainnya dengan minimum mekanisme protokol. Beberapa aplikasi berorientasi transaksi menggunakan UDP, salah satu contohnya adalah SNMP (Simple Network Management Protocol), standar protokol manajemen jaringan untuk jaringan TCP / IP. Karena itu connectionless, UDP memiliki kemungkinan sangat sedikit untuk melakukannya. Pada dasarnya, ia menambahkan port untuk menangani kemampuan IP. Hal ini terbaik jika dilihat dengan memeriksa header UDP, yang ditunjukkan pada Gambar 2.13(b). UDP juga termasuk checksum untuk memverifikasi bahwa tidak ada kesalahan yang terjadi pada data, namun penggunaan checksum adalah opsional.

IP dan IPv6

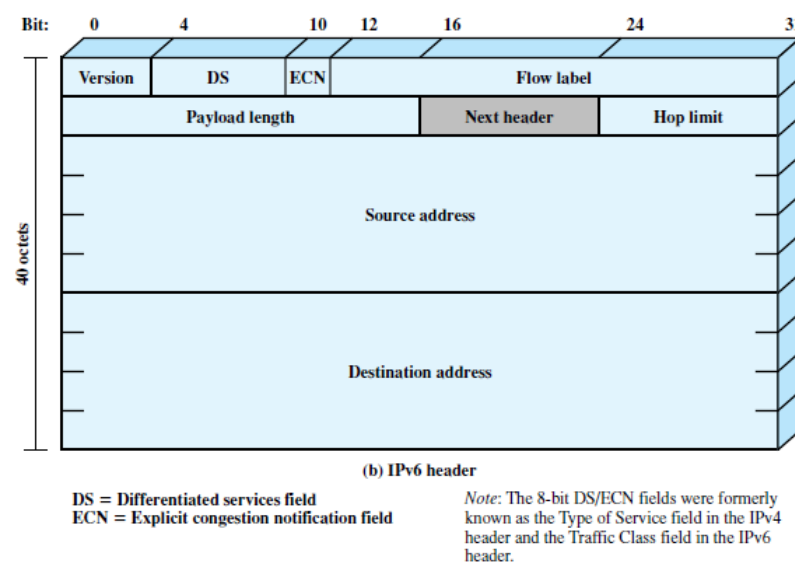
Selama beberapa dekade, batu kunci dari arsitektur protokol TCP / IP telah IP. Gambar 2.14(a) menunjukkan format header IP v4 header, yang merupakan minimal 20 oktet, atau 160 bit.



Gambar 2.14 (a)

Header, bersama-sama dengan segmen dari lapisan transport, membentuk PDU IP-tingkat disebut sebagai datagram IP atau header IP packet, termasuk sumber 32-bit dan alamat tujuan. Header Checksum lapangan digunakan untuk mendeteksi kesalahan dalam *header* untuk menghindari misdelivery. Bidang Protokol menunjukkan lapisan protokol yang lebih tinggi menggunakan IP. ID, Flags, dan Fragment Offset digunakan dalam fragmentasi dan proses reassembly. Pada tahun 1995, Internet Engineering Task Force (IETF), yang mengembangkan protokol standar untuk Internet, mengeluarkan spesifikasi untuk IP generasi berikutnya, yang kemudian dikenal sebagai IPng. Spesifikasi ini berubah menjadi standar pada tahun 1996 yang dikenal sebagai IPv6. IPv6

menyediakan sejumlah perangkat tambahan fungsional atas IP yang ada, dirancang untuk mengakomodasi kecepatan yang lebih tinggi dari jaringan saat ini dan campuran aliran data, termasuk grafis dan video, yang menjadi lebih umum. Tapi mengemudi kekuatan di balik pengembangan protokol baru adalah kebutuhan untuk lebih alamat. IP saat ini menggunakan alamat 32-bit untuk menentukan sumber atau tujuan. Dengan ledakan pertumbuhan internet dan jaringan pribadi yang melekat ke Internet, Panjang alamat ini menjadi tidak cukup untuk mengakomodasi semua sistem yang membutuhkan alamat.



Catatan: 8-bit bidang DS / ECN yang sebelumnya dikenal sebagai Tipe field Layanan di IPv4 header dan bidang Lalu Lintas Kelas di IPv6 header.

Gambar Gambar 2.14 (b)

Seperti Gambar 2.14(b) menunjukkan, IPv6 termasuk sumber 128-bit dan tujuan bidang alamat. Pada akhirnya, semua instalasi menggunakan TCP / IP diharapkan untuk bermigrasi dari IP saat ini untuk IPv6, tetapi proses ini akan memakan waktu bertahun-tahun, jika tidak dekade.

Interface Protocol

Masing-masing lapisan pada protocol TCP/IP berinteraksi dengan apisan perantaranya yang berdekatan. Pada sumber, lapisan aplikasi membuat penggunaan layanan dari lapisan ujung ke ujung dan membuat data datang ke lapisan tersebut. Terdapat hubungan yang similar pada interface ujung keujung dan lapisan internet serta pada interface internet dan lapisan network access. Pada tujuan, setiap lapisan mengirim data sampai kelapisan yang tinggi berikutnya.

Penggunaan setiap lapisan tunggal ini tidak diperlukan oleh arsitektur. Sebagaimana yang disarankan dalam gambar 2.12, memungkinkan untuk mengembangkan aplikasi yang secara langsung meminta layanan dari salah satu lapisan. Sebagaimana besar aplikasi memerlukan protocol ujung keujung yang handal dan memungkinkan penggunaan TCP. Beberapa aplikasi kegunaan khusus tidak memerlukan layanan-layanan dari TCP. Beberapa dari aplikasi ini, misalnya simple network management protocol (SNMP), menggunakan protocol ujung keujung alternatif yang disebut user datagram protocol (UDP), sedangkan yang lain menggunakan IP secara langsung. Aplikasi-aplikasi yang tidak melibatkan internetworking dan yang tidak memerlukan TCP telah dikembangkan untuk meminta lapisan network access secara langsung.

Aplikasi-aplikasi

Gambar 2.12 menunjukkan posisi beberapa protokol kunci yang umumnya diterapkan sebagai bagian dari switch protokol TCP/IP. Sebagian besar dari protokol-protokol ini dibahas dibagian 5. Dibagian ini, kita menyoroti secara singkat 3 protokol yang biasanya dipertimbangkan elemen-elemen TCP/IP yang diperintahkan dan ditunjuk sebagai sebuah standart militer, bersama-sama dengan TCP dan IP, oleh DOD.

Simple mail transfer protocol menyediakan fasilitas surat elektronik dasar. Serta menyediakan suatu mekanisme untuk mentransfer pesan sepanjang host-host yang terpisah. Bentuk-bentuk SMTP meliputi mailing list, mengembalikan tanda penerimaan, dan forwarding. Protocol SMTP tidak menentukan cara dengan pesan-pesan yang dibuat; beberapa fasilitas elektronik asli atau pengeditan lokal. Sekali sebuah pesan diciptakan, SMPT menerima pesan dan membuat penggunaan TCP untuk mengirimkannya ke sebuah modul SMTP pada host yang lain. Modul SMTP tujuan akan menggunakan suatu paket surat elektronik lokal untuk menyimpan pesan-pesan yang datang di mail box pengguna.

File transfer protocol (FTP) dipergunakan untuk mengirim file-file dari satu sistem ke sistem yang lain dibawah perintah pengguna. Kedua file teks dan binar disesuaikan atau dimuat, dan protocol menyediakan bentuk-bentuk untuk mengontrol pengguna. Bila seorang pengguna meminta suatu file ditransfer, FTP membuat koneksi TCP ke sistem tujuan untuk memindahkan kontrol message. Ini memungkinkan password dan id pengguna ditransmisikan dan memungkinkan pengguna menentukan file dan aksi file yang diinginkan. Sekali transfer file disetujui, koneksi TCP kedua dibuat untuk mentransfer data. File ditransfer melalui data koneksi, tanpa overhear dari berbagai header/mengontrol informasi pada level aplikasi. Bila transfer sudah lengkap, kontrol koneksi dipergunakan untuk menandai perlengkapan dan menerima perintah-perintah transfer file yang baru.

TELNET menyediakan kemampuan remote log on, yang memungkinkan seorang pengguna pada sebuah terminal komputer pribadi melakukan log in ke sebuah komputer dan fungsi yang berjauhan seolah-olah dihubungkan secara langsung ke komputer tersebut. protocol dirancang untuk bekerja dengan simple scroll mode terminal. Sebenarnya TELNET diimplementasikan pada 2 modul: user TELNET berinteraksi dengan terminal in/out modul untuk berkomunikasi dengan sebuah terminal lokal. Ini mengubah karakteristik-karakteristik terminal yang ada ke standart jaringan dan begitu pun sebaliknya. Server TELNET

berinteraksi dengan sebuah aplikasi, bertindak sebagai pemegang kendali terminal pengganti agar supaya terminal yang berjauhan dapat muncul sebagai terminal lokal terhadap aplikasi terminal. Terminal traffic/lalu lintas terminal diantara pengguna dan server TELNET dilakukan oleh koneksi TCP.

2.4 BACAAN YANG DISARANKAN

Untuk para pembaca yang tertarik dengan detail-detail TCP/IP, terdapat dua karya tiga volume yang cukup memadai. Hasil karya Comer dan Steven dianggap terbaik dan cukup menentukan [COME99, COME97, COME95]. Hasil karya Wright dan Steven juga sama-sama bermanfaat dan lebih mendetail terutama yang berkenaan dengan operasi protokol [STEVE94, STEV96, WRIG95]. Buku petunjuk yang lebih pendek dan sangat berguna adalah [MURH98] yang mencakup berbagai pandangan mengenai protokol-protokol yang berkaitan dengan TCP/IP yang secara teknis sangat ringkas, termasuk ulasan mengenai beberapa protokol yang tidak ditemui di buku-buku lain.

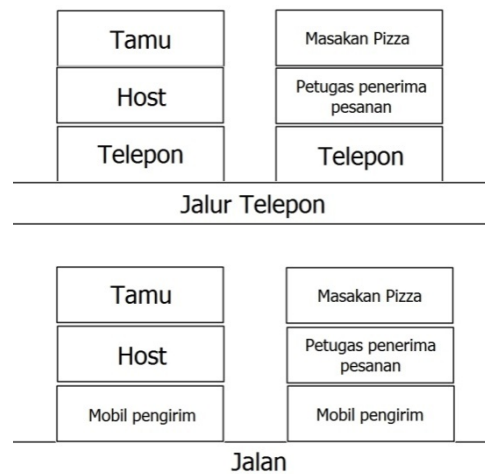
Salah satu laporan terbaik mengenai OSI dan protokol-protokol yang berkaitan dengan OSI adalah [JAIN93]. [HALS96] yang juga menyediakan ulasan yang cukup baik.

2.5 PERMASALAHAN

- 2.1 Dua tentara berseragam biru yang masing – masing berada diatas bukit yang saling berhadapan, bersiap – bersiap untuk menyerang seorang tentara berseragam merah di lembah. Tentara berseragam merah akan dapat mengalahkan kedua tentara berseragam biru secara terpisah namun gagal mengalahkan keduanya bila mereka menyerang secara serempak. Kedua tentara berseragam biru tersebut berkomunikasi melalui sebuah sistem komunikasi yang tidak cukup andal. Komandannya, salah seorang dari tentara berseragam biru, ingin menyerang pada siang hari. Masalahnya

adalah bila mengirim pesan perintah untuk menyerang, ia tidak yakin pesan itu akan sampai. Ia dapat meminta balasan namun mungkin tidak akan sampai. Apakah ada suatu protokol yang dapat dipergunakan oleh kedua tentara berseragam biru tersebut agar dapat menghindari kekalahan?

- 2.2 Sebutkan kerugian – kerugian utama dari pendekatan protokol lapisan.
- 2.3 Dengan menggunakan model lapisan dalam Gambar 2.15, gambarkan pemesanan dan pengiriman sebuah pizza, yang menunjukkan interaksi pada setiap level.
- 2.4 A. Perdana Menteri Perancis dan Cina ingin melakukan suatu perjanjian menggunakan telepon, namun keduanya berbicara dengan bahasa yang berlainan. Selain itu, tidak ada dari keduanya yang memiliki penerjemah yang dapat menerjemahkan bahasa mereka satu sama lain. Namun kedua perdana menteri tersebut sama-sama memiliki tenaga penerjemah berbahasa Inggris diantara staf-staf mereka. Buatlah sebuah diagram yang mirip dengan Gambar 2.15 untuk menggambarkan situasi semacam itu, serta gambarkan pula interaksi yang terjadi berikut masing-masing levelnya.
 B. Sekarang seandainya penerjemah perdana menteri Cina hanya dapat menerjemahkan kedalam bahasa Jepang dan perdana menteri Perancis hanya memiliki penerjemah dalam bahasa Jerman. Penerjemah diantara bahasa Jerman dan Cina hanya tersedia di Jerman. Buatlah sebuah diagram baru yang dapat menunjukkan susunan ini dan gambarkan pula hipotesis dari percakapan telepon tersebut.



Gambar 2.15 arsitektur untuk permasalahan

- 2.5 Berdasarkan atas prinsip-prinsip yang diucapkan dalam Tabel 2.2, rancanglah sebuah arsitektur dengan 8 lapisan penerapannya! Buat 1 lagi dengan 6 lapisan dan penerapannya.
- 2.6 Diskusikan kegunaan untuk sebuah lapisan network (Lapisan 3 OSI) dalam suatu jaringan Broadcast.

- 2.7 Pada gambar 2.11, satu protokol data unit (PDU) dalam lapisan N dirakit dalam sebuah PDU pada lapisan (N-1). Ini juga memungkinkan untuk memecah satu N-level PDU menjadi multipel (N-1)-level PDU (segmentasi) atau untuk kelompok multipel N-level PDU menjadi satu (N-1)-level PDU (blocking).
- 1.1 Dalam kasus segmentasi, perlukah bahwa masing-masing (N-1)-level segmen berisikan salinan N-level header?
- 2.1 Dalam kasus blocking, perlukah bahwa masing-masing N-level PDU tetap memakai headernya, atau dapatkah data dikonsolidasikan menjadi suatu single N-level PDU dengan suatu single N-level header?

B_{AB} 3

TRANSMISI DATA

- 3.1 Konsep dan Terminologi**
Terminologi Transmisi
Frekuensi, spektrum, dan bandwidth
- 3.2 Transmisi Data Digital dan Analog**
Data
Sinyal
Transmisi
- 3.3 Gangguan Transmisi**
Atenuasi
Distorsi
Derau
Kapasitas Channel
- 3.4 Bacaan yang Disarankan**
- 3.5 Permasalahan**
- Lampiran 3A Analisis Fourier**
Tampilan Periodik Sinyal Rangkaian Fourier
Tampilan Transformasi Fourier untuk Sinyal tidak Periodik
Kerapatan Power Spektral dan Bandwidth
- Lampiran 3B Desibel dan Kekuatan Sinyal**

MAKHILLATUL ROFIAH	4103141003
RININTA OKTAVIANA	4103141016
YUWANDA BAGUS A	4103141033

- ❑ Semua bentuk informasi yang dibahas di buku ini (suara, data, image, video) dapat ditampilkan oleh sinyal-sinyal elektromagnetik. Tergantung pada media transmisi dan lingkungan komunikasi, baik sinyal digital ataupun analog dapat dipergunakan untuk menyampaikan informasi.
- ❑ Apapun sinyal elektromagnetik, analog ataupun digital, terdiri dari jumlah frekuensi yang dipilih. Suatu parameter kunci yang mengkarakteristikan sinyal adalah bandwidth, yang merupakan lebar jangkauan frekuensi yang mengandung sinyal. Umumnya, semakin besar bandwidth sinyal, semakin besar pula kapasitas muatan informasinya.
- ❑ Problem utama dalam merancang sebuah fasilitas komunikasi adalah gangguan transmisi. Gangguan yang paling signifikan adalah atenuasi, distorsi atenuasi, distorsi tunda, serta berbagai macam noise, crosstalk, derau impuls. Untuk sinyal-sinyal analog, gangguan transmisi memperkenalkan efek random yang menurunkan mutu informasi yang diterima dan kemungkinan mempengaruhi kejelasan data. Sedangkan sinyal-sinyal digital, gangguan transmisi dapat menyebabkan bit error pada receiver.
- ❑ Perancang sebuah fasilitas komunikasi harus memenuhi empat faktor: bandwidth sinyal, rate data yang dipergunakan untuk informasi digital, jumlah noise dan gangguan-gangguan yang lain, serta tingkatan rate error yang dapat diterima. Bandwidth dibatasi oleh media transmisi dan keinginan untuk menghindari kecampuran antara sinyal-sinyal lain terdekat. Karena bandwidth merupakan sumber penting, kita akan memaksimumkan data rate yang dapat dicapai dalam sebuah bandwidth yang ada. Rate data dibatasi oleh bandwidth, gangguan yang terjadi, serta rate error yang dapat diterima.

Kesuksesan transmisi data tergantung pada dua faktor, yaitu : mutu sinyal yang ditransmisikan dan karakteristik media transmisi. Tujuan bab ini serta bab berikutnya adalah menyadarkan pembaca akan sifat kedua faktor ini.

Bagian pertama menampilkan beberapa konsep dan istilah dari bidang teknik. Ini menyediakan latar belakang yang cukup memadai untuk menyesuaikan dengan bagian akhir dari bab ini. Bagian 3.2 membedakan penggunaan istilah analog dan digital. Baik data digital maupun analog dapat ditransmisikan menggunakan sinyal digital dan analog. Lebih jauh, sudah biasa pengolahan dalam perangkat perantara dijelaskan diantara sumber dan tujuan, dan pengolahan ini juga memiliki karakter, baik analog maupun digital.

Bagian 3.3 melihat berbagai macam gangguan yang memunculkan error kedalam data selama transmisi. Gangguan yang utama adalah atenuasi, distorsi atenuasi, distorsi tunda, serta berbagai bentuk noise. Terakhir, kita melihat pada konsep penting tentang kapasitas channel.

3.1 KONSEP DAN TERMINOLOGI

Pada bagian ini kita memperkenalkan beberapa konsep dan istilah-istilah yang akan ditampilkan sepanjang Bagian Dua dan sisanya.

Terminologi Transmisi

Transmisi data terjadi di antara transmitter dan receiver melalui beberapa media transmisi. Media transmisi dapat digolongkan sebagai guided atau unguided. Pada kedua hal itu, komunikasi berada dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Dengan guided media, gelombang dikendalikan sepanjang jalur fisik; contoh-contoh guided media adalah twisted pair, coaxial kabel, serta fiber optik. Unguided media menyediakan alat untuk mentransmisikan gelombang-gelombang elektromagnetik namun tidak mengendalikannya; contohnya adalah perambatan (propagation) di udara, dan laut.

Istilah hubungan langsung dipergunakan untuk menunjuk pada jalur transmisi di antara dua perangkat di mana sinyal dirambatkan secara langsung dari transmitter menuju receiver tanpa melalui peralatan perantara, berbeda dengan amplifier atau repeater yang dipergunakan untuk meningkatkan kekuatan sinyal. Patut dicatat bahwa istilah ini dapat diterapkan untuk media guided dan unguided.

Media transmisi guided adalah ujung ke ujung bila ia menyediakan suatu hubungan langsung di antara dua perangkat dan membagi media yang sama. Pada sebuah bentuk multipoint guided, lebih dari dua perangkat membagi media yang sama. Sebagai contoh, pada gambar 1.3, hubungan di antara dua simpul switching pada bagian yang lebih tinggi gambar tersebut adalah hubungan ujung ke ujung; hubungan yang menghubungkan workstation di atas LAN pada bagian gambar yang lebih rendah adalah hubungan multipoint.

Sebuah transmisi dapat berupa simplex, half duplex, atau full duplex. Pada transmisi simplex, sinyal ditransmisikan hanya pada satu direction (arah); satu station sebagai transmitter dan lainnya sebagai receiver. Pada operasi half-duplex, kedua station dapat mentransmisikan, namun hanya satu station pada saat yang sama. Sedangkan pada operasi full duplex, kedua station bisa mentransmisikan secara kebersamaan. Pada kasus berikutnya, media membawa sinyal pada kedua arah pada saat yang sama. Bagaimana hal ini bisa terjadi? Kita mencatat bahwa definisi yang baru saja diberikan merupakan definisi yang paling umum digunakan untuk menafsirkan half duplex sebagaimana yang dijelaskan sebelumnya, dan istilah duplex dipergunakan untuk menafsirkan half duplex seperti yang baru saja diterangkan.

Frekuensi, Spektrum, dan Bandwidth

Di buku ini, kita akan memfokuskan pada sinyal-sinyal elektromagnetik, yang dipergunakan sebagai alat untuk mentransmisikan data. Pada poin 3 dalam gambar 1.2, sebuah sinyal digerakkan melalui sebuah transmitter dan ditransmisikan melalui suatu media. Sinyal merupakan suatu fungsi waktu, namun juga dapat diekspresikan sebagai suatu fungsi frekuensi; di mana, sinyal terdiri dari komponen-komponen frekuensi yang berbeda. Pandangan frequency-domain dari suatu sinyal lebih penting bagi suatu pemahaman mengenal transmisi data dibanding pandangan time-domain-nya. Kedua pandangan tersebut akan diperkenalkan di sini.

Konsep Time-Domain

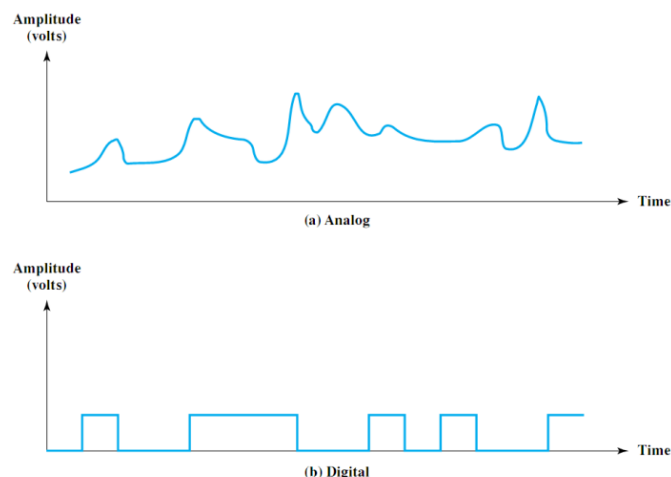
Bila dipandang sebagai suatu fungsi waktu, sebuah sinyal elektromagnetik dapat berupa sinyal analog atau digital. Sinyal analog adalah sinyal di mana intensitasnya berubah-ubah dalam bentuk halus sepanjang waktu. Dengan kata lain, tidak ada sinyal yang terputus atau diskontinu.¹

Sedangkan sinyal digital adalah sinyal dimana intensitasnya mempertahankan level yang konstan selama beberapa periode waktu dan kemudian berubah ke level konstan yang lain². Gambar 3.1 menunjukkan contoh masing-masing jenis sinyal. Sinyal kontinu dapat menggambarkan percakapan, dan sinyal discrete menggambarkan biner 1 dan 0.

Sinyal pendek yang paling sederhana adalah sinyal periodik, di mana pola sinyal yang sama berulang setiap waktu. Gambar 3.2 menunjukkan contoh sinyal kontinu periodik (gelombang sinus) dan sinyal discrete periodik (gelombang persegi). Secara matematik, sebuah sinyal $s(t)$ ditentukan sebagai periodik bila dan hanya bila.

$$S(t + T) = s(t) \quad -\infty < t < +\infty$$

Di mana T konstan adalah periode sinyal (T merupakan nilai terendah yang memenuhi persamaan). Sebaliknya, sebuah sinyal adalah aperiodik.



Gambar 3.1 Sinyal Periodik

Gelombang sinus adalah sinyal periodik yang fundamental. Suatu gelombang sinusoidal dapat digambarkan oleh tiga parameter: amplitudo tertinggi (A), frekuensi (f). Dan fase (ϕ). Puncak amplitudo adalah nilai tertinggi atau kekuatan sinyal setiap waktu; biasanya, nilai ini diukur dalam volt. Frekuensi adalah rate (dalam putaran per detik, atau Hertz[Hz]) di mana sinyal berulang-ulang. Parameter yang ekuivalen adalah periode (T) suatu sinyal, merupakan

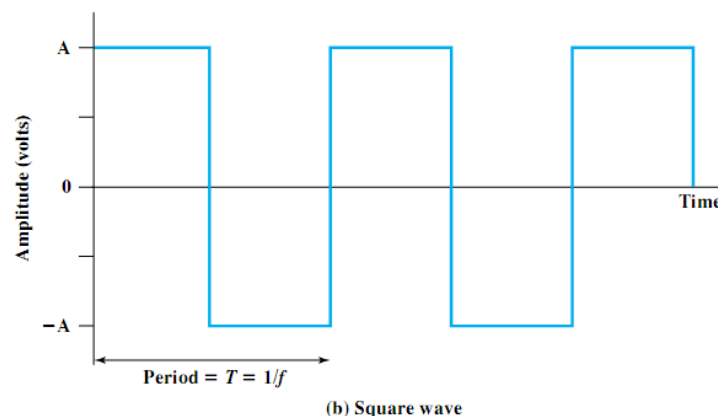
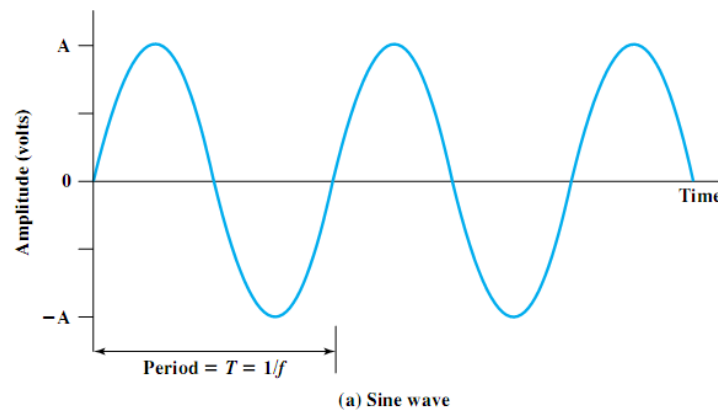
1) Definisi matematik: sebuah sinyal $s(t)$ berlangsung terus-menerus bila $\lim_{t \rightarrow a} s(t) = s(a)$ untuk semua a

2) Ini adalah definisi yang ideal. Bahkan transisi dari satu tingkat tegangan yang lain tidak akan instan, tetapi ada masa transisi kecil. Namun demikian sinyal digital yang sebenarnya mendekati model level tegangan konstan

jumlah waktu yang diambil untuk satu pengulangan.;jadi, $T=1/f$. Fase adalah ukuran posisi relatif dalam satu waktu di dalam satu periode sinyal, seperti yang digambarkan nanti. Lebih formalnya, untuk suatu periodik signal $f(t)$, fase merupakan sebagian kecil t/P dari periode P di mana t punya hubungan relatif yang kuat dengan asal. Asal biasanya diambil di bagin sebelumnya melalui titik nol dari arah negatif ke arah positif.

Gelombang sinus umum bisa dituliskan dengan berikut

$$S(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$$



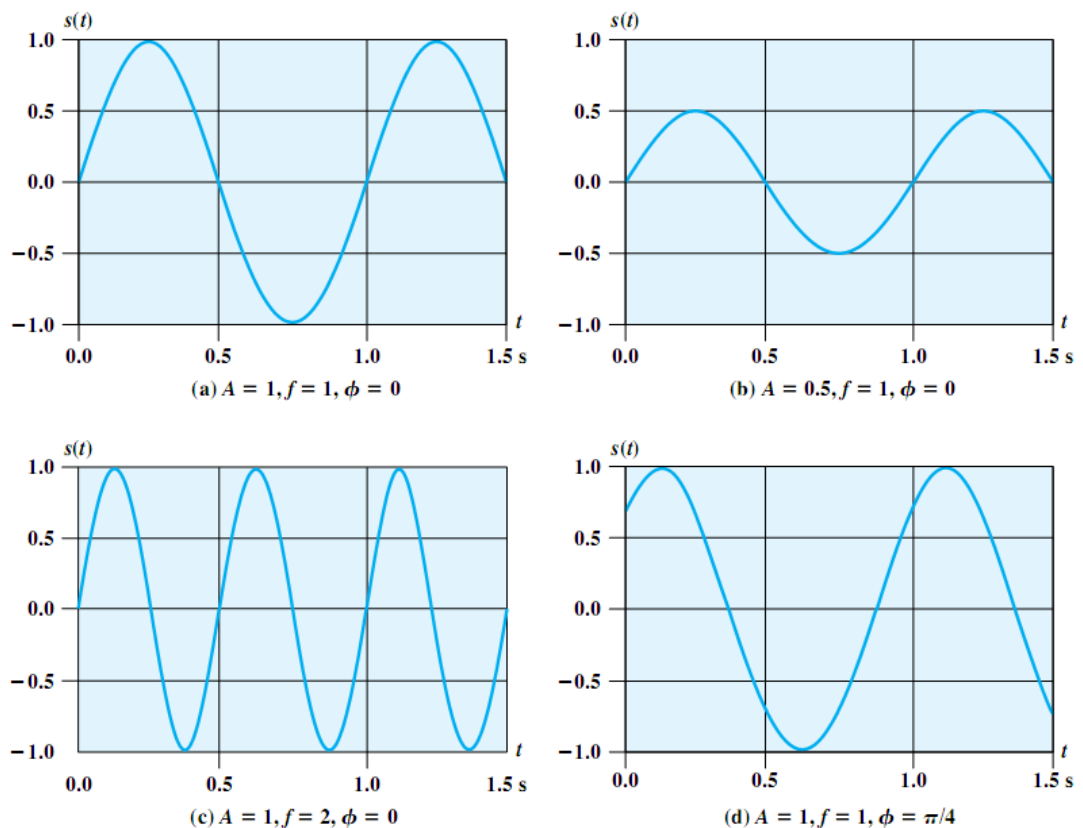
Gambar 3.2 Sinyal Periodik

Gambar 3.3 menunjukkan efek dari keberagaman masing-masing dari tiga parameter. Di bagian (a) dari gambar tersebut, frekuensinya 1 Hz; sedangkan periodenya adalah $T=1$ detik. Bagian (b) memiliki frekuensi $f=2$, yang ekuivalen dengan $T = 1/2$. Terakhir, bagian (d) menunjukkan efek perubahan fase dari $\pi/4$ radian, dimana 45 derajat (2π radian = $360^\circ=1$ periode)

Pada gambar 3.3, sumbu horisontalnya dalah waktu; grafik yang menunjukkan nilai suatu sinyal pada titik tertentu dan dalam jarak tertentu sebagai suatu fungsi waktu. Grafik-grafik yang sama ini, dengan suatu perubahan skala, dapat digambarkan dengan sumbu horisontal dalam jangka waktu tertentu. Dalam hal ini, grafik yang menunjukkan nilai sebuah sinyal pada titik tertentu pada waktu tetentu sebagai fungsi jarak. Sebagai contoh, untuk suatu sinusoidal transmission (katakanlah jarak suatu gelombang radio elektromagnetik dari antenna

radio, atau jarak dari loudspeaker), dalam waktu tertentu, intensitas sinyal bervariasi dalam jalan sinusoidal sebagai fungsi jarak dari sumber.

Terdapat dua keterkaitan sederhana di antara dua gelombang sinus, satu dalam hal waktu dan lainnya dalam hal jarak. Menentukan panjang gelombang (wavelength), λ , dari suatu sinyal saat jarak ditempati oleh suatu putaran tunggal atau, menggunakan cara lain, jarak diantara dua titik dari fase yang berhubungan dari dua putaran yang berurutan. Anggap saja sinyal bergerak dengan kecepatan (velocity) v . Kemudian wavelength yang dihubungkan dengan periode sebagai: $\lambda = v T$. Ekuivalen dengan, $\lambda f = v$. Yang paling relevan dengan pembahasan dalam buku ini adalah pada kasus dimana $v = c$, kecepatan sinar dalam ruang kosong, kira-kira sebesar $3 \times 10^8 \text{ m/s}$.



Gambar 3.3 $S(t) = A \sin(2\pi f t + \phi)$

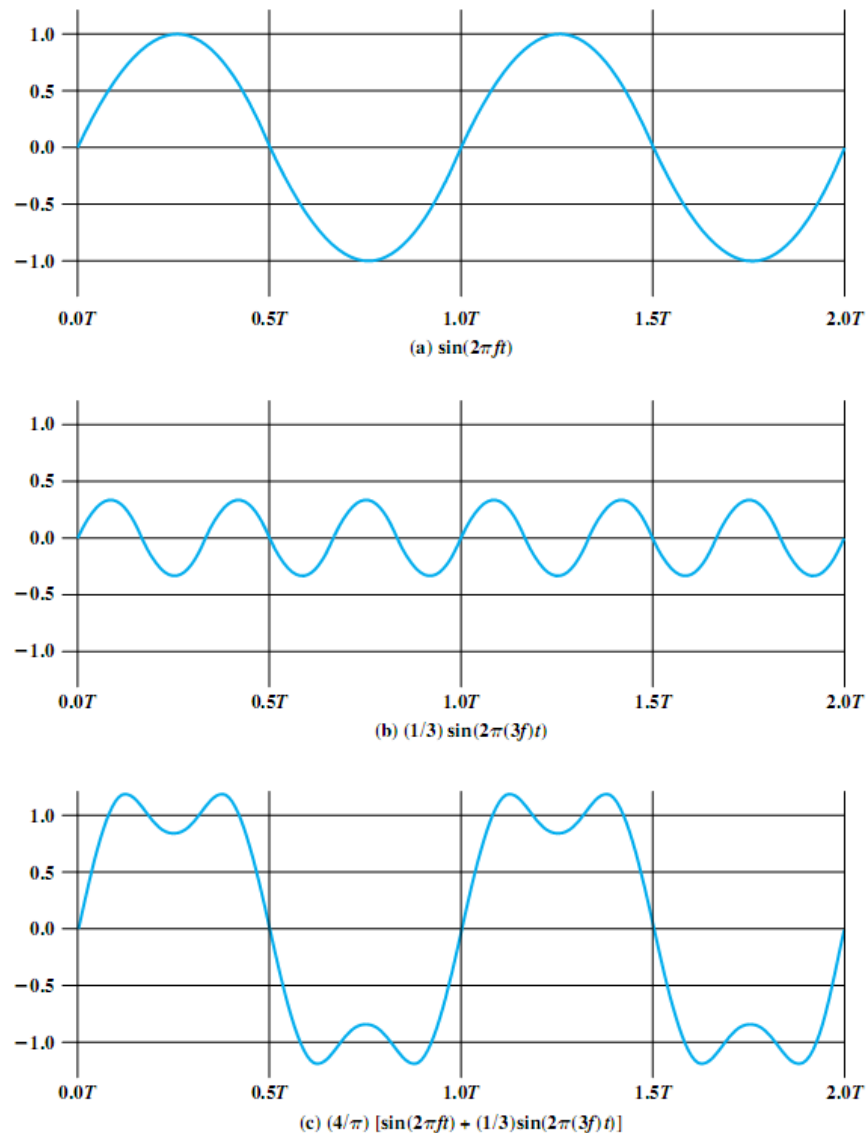
Konsep frequency-Domain

Pada kenyataannya, sebuah sinyal elektromagnetik dibentuk dari beberapa frekuensi. Sebagai contoh, sinyal

$$S(t) = (4/\pi) \times (\sin(2\pi f t) + (1/3) \sin(2\pi(3f)t))$$

Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.4c, komponen-komponen sinyal itu adalah gelombang sinus dengan frekuensi f dan $3f$; bagian (a) dan (b) dari gambar tersebut menunjukkan komponen-komponen terpisah. Ada dua poin

menarik yang dapat disimpulkan dari gambar ini:



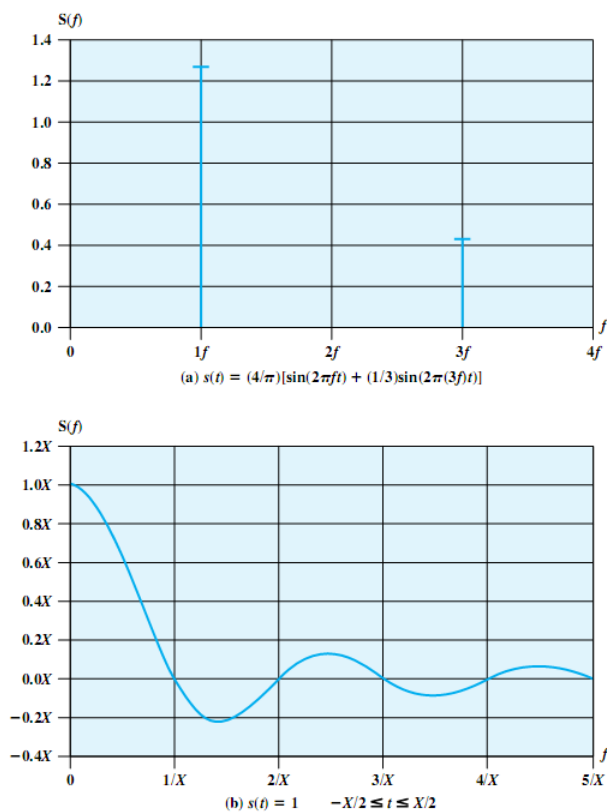
Gambar 3.4 Komponen-komponen frekuensi ($T=1/f$) tambahan

- ❑ Frekuensi kedua adalah suatu enggandaan dari frekuensi pertama. Bila semua komponen frekuensi dari sebuah sinyal adalah penggandaan dari satu frekuensi, frekuensi berikutnya ditunjukkan sebagai **fundamental frekuensi**.
- ❑ Periode sinyal keseluruhan setara dengan periode fundamntl frekuensi. Periode dari komponen $\sin(2\pi ft)$ adalah $T = 1/f$, dan periode dari $s(t)$ juga T , sebagaimana yang dapat dilihat dalam gambar 3.4c.

Dapat ditunjukkan, dengan menggunakan suatu ilmu yang disebut sebaai analisis fourier, bahwa apapun sinyal yang dibentuk dari komponen-komponen

pada berbagai frekuensi masing-masing komponen itu disebut sinisoid. Hasil ini sangat penting, karena efek dari beragam media transmisi pada suatu sinyal dapat diekspresikan ke dalam istilah frekuensi, sebagaimana yang akan dibahas nanti di bab berikutnya. Bagi para pembaca yang tertarik, subyek dari analisis Fourier ditamplikan di lampiran 3A pada bagian akhir pada bab ini.

Jadi dapat kita katakan bahwa untuk setiap sinyal, terdapat fungsi time-domain $s(t)$ yang menentukan amplitudo sinyal pada setiap waktu tertentu. Hampir sama dengan itu, terdapat suatu fungsi frekuensi-domain $S(f)$ yang menentukan amplitudo puncak dari frekuensi sinyal yang konsisten. Gambar 3.5a menunjukkan fungsi frekuensi-domain untuk sinyal dalam gambar 3.4c. perlu dicatat bahwa dalam hal ini, $S(f)$ berurutan. Gambar 3.5b menunjukkan fungsi frekuensi-domain untuk suatu pulsa kwadrat tunggal yang memiliki



Gambar 3.5 Frekuensi Domain Representation

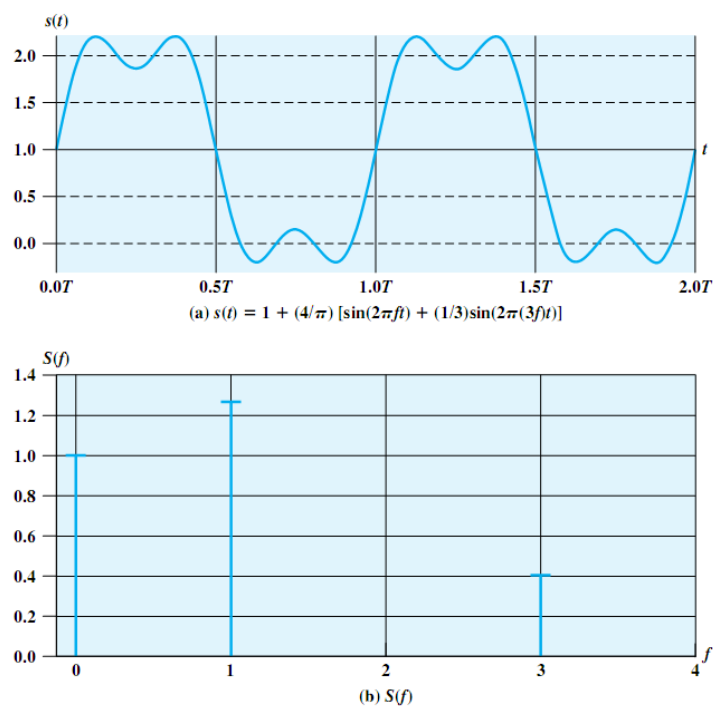
Nilai 1 di antara $-X/2$ dan $X/2$, dan 0 dimana-mana.³⁾ patut dicatat bahwa dalam hal ini $S(f)$ bersifat terus-menerus, dan bahwa tidak ada nilai nonzero untuk jangka waktu tidak terbatas, meskipun magnitude komponen-komponen frekuensi dengan cepat menjadi lebih kecil untuk f yang lebih besar. Karakteristik-karakteristik ini umum terjadi pada sinyal nyata.

Spektrum sebuah sinyal adalah rentang frekuensi dimana spektrum berada. Untuk sinyal pada Gambar 3.4c, spektrum memanjang mulai dari f ke $3f$.

³⁾ Kenyataannya, fungsi $S(f)$ pada kasus ini simetris sekitar $f = 0$, dan begitu juga nilai-nilai untuk frekuensi negatif. Keberadaan frekuensi negatif merupakan suatu artifak matematis yang penjelasannya jauh melampaui jangkauan buku ini.

Bandwidth multak dari suatu sinyal adalah lebar spektrum. Dalam kasus seperti dalam Gambar 3.4c, bandwidthnya adalah $2f$. Beberapa sinyal, seperti yang ada dalam Gambar 3.5b, memiliki bandwidth yang tidak terbatas. Bagaimanapun juga, sebagian besar energi dalam sinyal ditahan ke dalam band sempit dari f frekuensi secara relatif. Band ini ditunjukkan sebagai **effective bandwidth** atau bandwidth saja.

Istilah untuk menentukan adalah **dc component**. Bila sebuah sinyal mencakup sebuah komponen zero frequency, komponen tersebut merupakan suatu direct current(dc) atau komponen konstan. Sebagai contoh, Gambar 3.6 menunjukkan hasil penambahan suatu dc componen ke sinyal dalam gambar 3.4c. tanpa dc componen, sebuah sinyal memiliki amplitudo rata-rata sebesar nol, sebagaimana yang dilihat dalam domain waktu. Dengan suatu dc componen, sinyal memiliki frequency term pada $f=0$ dan amplitudo rata-rata bukan nol.



Gambar 3.6 Sinal dengan DC komponen

Hubungan antara Data Rate dan Bandwidth

Telah kita katakan bahwa bandwidth yang efektif adalah band dimana sebagian besar energi sinyal terkonsentrasi di dalamnya. Istilah sebagian besar dalam konteks ini sedikit berubah-ubah. Hal terpenting disini adalah, meskipun bentuk gelombang tertentu berisi frekuensi sepanjang jarak yang sangat panjang, sebagaimana hal-hal praktis yang berkaitan dengan berbagai sistem transmisi (transmitter plus media plus receiver) yang dipergunakan akan mampu untuk mengakomodasikan hanya satu frekuensi band terbatas. Hal ini, sebaliknya, mematasi data rate yang dapat dibawa sepanjang media transmisi.

Agar dapat menjelaskan hubungan ini, amati gelombang persegi (square wave) dari Gambar 3.2b. Anggap saja kita membiarkan pulsa positif mewakili biner 1 dan pulsa negatif mewakili biner 0. Kemudian bentuk gelombang mewakili deretan biner 1010.... Durasi masing-masing pulsa sebesar $1/2f$; jadi data ratenya

sebesar $2f$ bit per detik (bps). Apa komponen-komponen frekuensi dari sinyal ini? Untuk menjawab pertanyaan ini, amati lagi gambar 3.2. dengan bersama-sama menambahkan gelombang sinus pada frekuensi f dan $3f$, kita memperoleh bentuk gelombang yang mulai menyerupai gelombang square yang asli. Mari kita melanjutkan proses ini dengan menambahkan suatu gelombang sinus frekuensi $7f$, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7b. Saat kita menambahkan multipel ganjil tambahan (additional odd multiple), skala yang sesuai, bentuk gelombang yang dihasilkan semakin mendekati gelombang persegi.

Tentu saja, apa pula ditunjukkan bahwa komponen-komponen frekuensi dari gelombang persegi dengan amplitudo A dan $-A$ dapat dinyatakan sebagai berikut:

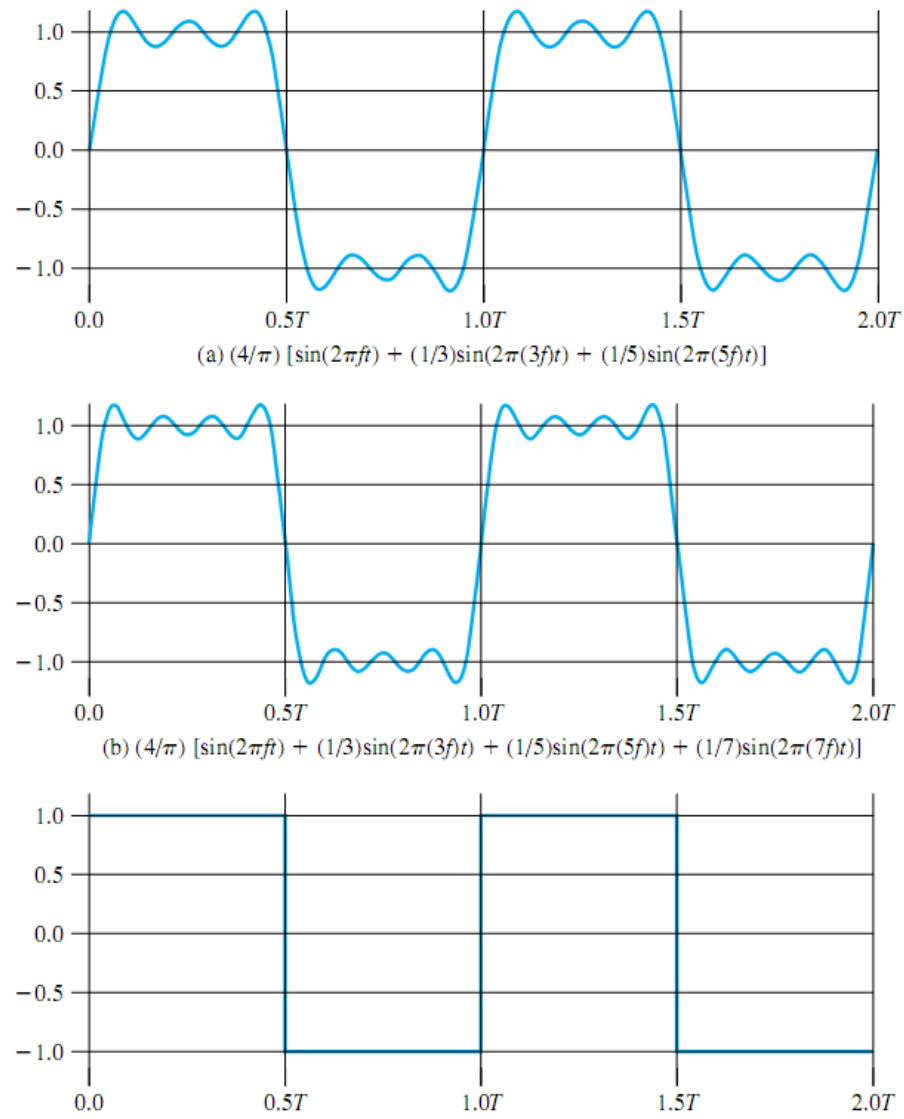
$$s(t) = A \times \frac{4}{\pi} \times \sum_{k \text{ odd}, k=1}^{\infty} \frac{\sin(2\pi k f t)}{k}$$

Jadi, bentuk gelombang ini memiliki komponen-komponen frekuensi yang tidak terbatas dan oleh karena itu bandwidth yang tidak terbatas. Bagaimanapun juga, puncak amplitudo dari komponen frekuensi k th, kf , hanyalah $1/k$, jadi begitu banyak dari energi disalurkan dalam bentuk gelombang ini pada sebagian kecil dari komponen-komponen frekuensi yang pertama. Apa yang terjadi bila kita membatasi bandwidth hanya sampai tiga komponen frekuensi yang pertama saja? Kita bisa melihat jawabannya pada Gambar 3.7a. Dan sebagaimana yang dapat kita lihat, bentuk dari bentuk gelombang yang dihasilkan mendekati bentuk gelombang persegi yang asli.

Kita dapat menggunakan Gambar 3.4 dan 3.7 untuk menggambarkan hubungan antara data rate dan bandwidth. Anggap saja kita menggunakan suatu sistem transmisi digital yang cukup mampu untuk dapat mentransmisikan sinyal-sinyal dengan bandwidth sebesar 4MHz. Mari kita berusaha mentransmisikan sebuah rangkaian bolak-balik 1s dan 0s seperti gelombang persegi pada gambar 3.7c. Berapa data rate yang bisa dicapai? Kita melihat pada tiga kasus.

Kasus I. Mari kita memperkirakan gelombang persegi dengan bentuk gelombang dari gambar 3.7a. Meskipun bentuk gelombang ini merupakan suatu bentuk gelombang yang menyimpang, cukup dekat dengan gelombang persegi dimana sebuah receiver harus mampu untuk membedakan antara sebuah biner 0 dan biner 1. Bila kita membiarkan $f = 10^6$ siklus/detik = 1MHz. Maka bandwidth sinyalnya adalah $(5 \times 10^6) - 10^6 = 4\text{MHz}$

$$S(t) = 4/\pi \times [\sin(2\pi \times 10^6 t) + 1/3 \sin((2\pi \times 3 \times 10^6)t) + 1/5 \sin((2\pi \times 5 \times 10^6)t)]$$



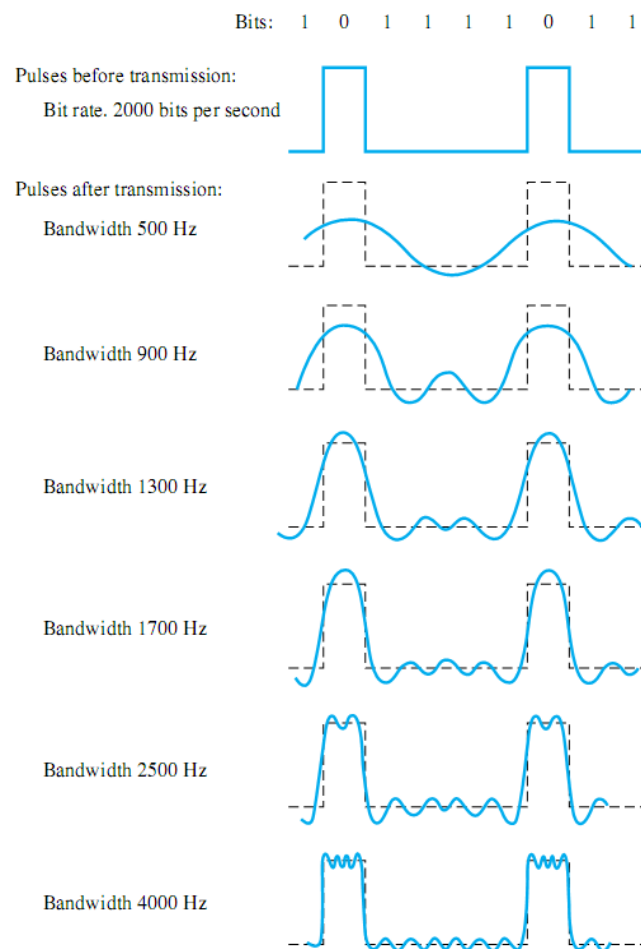
Gambar 3.7 Komponen-komponen Frekuensi Gelombang Persegi ($T=1/f$)

Patut dicatat bahwa untuk $f=1\text{MHz}$, maka periode frekuensi dasar-nya adalah $T = 1/10^6 = 10^{-6} = 1\mu\text{s}$. Bila kita memperlakukan bentuk gelombang ini sebagai suatu bit string sebesar 1 dan 0, muncul satu bit setiap $0,5\mu\text{s}$, untuk suatu data rate sebesar $2 \times 10^6 = 2\text{Mbps}$. Jadi, untuk suatu bandwidth sebesar 4MHz , diperoleh data rate sebesar 2Mbps .

Kasus II. Sekarang anggap saja kita memiliki bandwidth sebesar 8MHz . Kita lihat lagi pada gambar 3.7a, namun sekarang dengan $f = 2\text{MHz}$. Menggunakan garis pemikiran yang sama seperti sebelumnya, bandwidth sinyalnya adalah $(5 \times 2 \times 10^6) - (2 \times 10^6) = 8\text{MHz}$. Namun dalam hal ini $T = 1/f = 0,5\mu\text{s}$. Sebagai hasilnya, muncul satu bit setiap $0,25\mu\text{s}$ untuk data rate sebesar 4Mbps . Jadi, hal-hal lainnya menjadi setara, dengan menggandakan bandwidth kita menggandakan data rate yang mungkin diperoleh.

Kasus III. Sekarang anggap saja, bentuk gelombang dalam Gambar 3.4c

dianggap cukup memadai untuk memperkirakan suatu gelombang persegi. Yaitu, perbedaan antara sebuah pulsa positif dengan pulsa negatif dalam gambar 3.4c benar-benar berbeda maka bentuk gelombang akan dapat dipergunakan untuk menggambarkan rangkaian 1 dan 0. Diasumsikan seperti dalam kasus II bahwa $f = 2 \text{ MHz}$ dan $T = 1/f = 0.25 \text{ ms}$, sehingga muncul satu bit setiap 0.25 untuk suatu data rate sebesar 4 Mbps. Dengan menggunakan bentuk gelombang pada gambar 3.4c, bandwidth sinyal-nya adalah $(3 \times 2 \times 10^6) - (2 \times 10^6) = 4 \text{ MHz}$. Jadi, suatu bandwidth tertentu dapat mendukung berbagai data rate tergantung pada kemampuan receiver untuk melihat perbedaan diantara 0 dan 1 pada derau dan gangguan yang ada.



Gambar 3.8 Efek bandwidth terhadap suatu sinyal digital

Secara ringkas,

Kasus I : Bandwidth = 4 MHz; data rate = 2 Mbps

Kasus II : Bandwidth = 8 MHz; data rate = 4 Mbps

Kasus III : Bandwidth = 4 MHz; data rate = 4 Mbps

Kita dapat menggambarkan kesimpulan-kesimpulan tersebut dari pembahasan sebelumnya. Secara umum, suatu bentuk gelombang digital memiliki

bandwidth yang tidak terbatas. Bila kita berusaha untuk mentransmisikan bentuk gelombang ini sebagai sebuah sinyal melewati media apapun, sistem transmisi akan membatasi bandwidth yang dapat ditransmisikan. Lebih jauh, untuk suatu media tertentu, semakin besar bandwidth yang ditransmisikan, semakin besar pula biayanya. Jadi di lain pihak, membatasi bandwidth akan menyebabkan terjadinya distorsi, yang akan membuat tugas penerjemah yang diterima sinyal menjadi lebih sulit. Bandwidth yang semakin terbatas, distorsi-nya semakin besar, dan berarti pula semakin besar error yang diterima receiver.

Sebuah ilustrasi lagi akan disajikan untuk memperkuat konsep ini. Gambar 3.8 menunjukkan suatu deretan bit digital dengan data rate sebesar 2000 bit per detik. Dengan bandwidth sebesar 2500 Hz, atau bahkan 1700 Hz, tampilannya benar-benar baik. Lebih jauh, kita dapat menyamaratakan hasil-hasil ini. Bila data rate suatu digital sinyal adalah W bps, maka akan diperoleh tampilan yang sangat baik dengan bandwidth sebesar $2W$ Hz. Bagaimanapun juga, kecuali jika derayanya sangat besar, pola bit akan dipulihkan dengan lebih sedikit bandwidth bila dibandingkan dengan ini (lihat pembahasan mengenai kapasitas channel dalam Bagian 3.3).

Jadi, ada keterkaitan langsung antara data rate dengan bandwidth: semakin tinggi data rate sebuah sinyal, semakin besar pula bandwidth efektif-nya. Dipandang dengan cara lain, semakin besar bandwidth sebuah sistem transmisi, maka akan semakin tinggi data rate yang bisa ditransmisikan melalui sistem tersebut.

Observasi yang pantas diberikan: bila kita mengingat tentang bandwidth suatu sinyal saat ditempatkan di tengah-tengah kira-kira beberapa frekuensi, ditunjukkan sebagai **frekuensi pusat**, maka semakin tinggi frekuensi pusat, semakin tinggi pula kekuatan bandwidth dan berarti pula semakin tinggi data rate potensial-nya. Sebagai contoh, bila suatu sinyal ditempatkan di tengah-tengah pada 2 MHz, maka maksimum bandwidth-nya sebesar 4 MHz.

Kita kembalikan ke pembahasan mengenai keterkaitan antara bandwidth dan data rate di Bagian 3.3, setelah mempertimbangkan gangguan transmisi.

3.2. TRANSMISI DATA DIGITAL DAN ANALOG

Dalam mentransmisikan data dari sumber ke tujuan, satu hal yang harus dihubungkan dengan sifat data, arti fisik yang hakiki dipergunakan untuk menyebarkan (propagate) data, dan pemrosesan atau penyetelan apa yang perlu dilakukan sepanjang jalan untuk memastikan bahwa data yang diterima dapat dimengerti dengan baik. Dari semua pertimbangan ini, inti terpentingnya adalah apakah kita menghadapi analog entiti ataukah digital entiti.

Secara kasar, istilah analog dapat disamakan dengan kontinu, sedangkan digital dengan diskrete. Dua istilah ini sering digunakan dalam komunikasi data dan sedikitnya dalam tiga konteks:

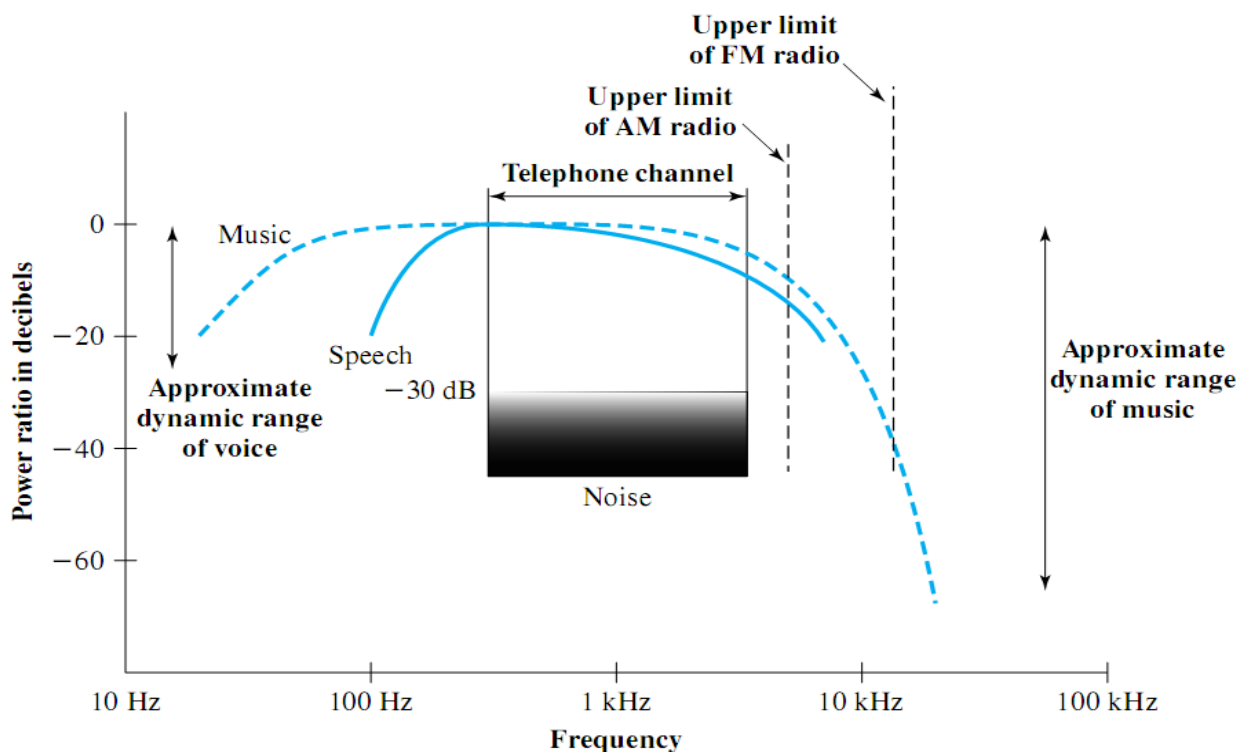
- ☐ Data
- ☐ Pensinyalan
- ☐ Transmisi

Kita dapat menentukan data sebagai entiti yang menyampaikan arti atau informasi. **Sinyal** adalah tampilan data elektrik atau elektromagnetik. **Pensinyalan** berarti penyebaran sinyal secara fisik melalui suatu media yang sesuai. Terakhir, **transmisi** adalah komunikasi data melalui penyebaran dan pemrosesan sinyal-sinyal. Apa yang terjadi selanjutnya, kita berusaha untuk memperjelas konsep-konsep yang masih kabur dengan cara membahas istilah analog dan digital seperti yang diterapkan terhadap data, sinyal, dan transmisi.

Data

Konsep-konsep mengenai data analog dan digital cukup sederhana. Analog data menerima nilai yang terulang secara terus-menerus dan kontinu dalam beberapa interval. Sebagai contoh, suara dan video mengubah pola-pola intensitas secara terus-menerus. Sebagian besar data yang dkumpulkan oleh sensor, seperti temperatur dan tekanan, dinilai tanpa henti. Digital data menerima nilai-nilai yang berlainan; misalnya teks dalam bilangan bulat.

Contoh yang paling dikenal dari analog adata adalah **audio**, di mana, dalam bentuk gelombang suara akustik, dapat dirasakan manusia secara langsung. Gambar 3.9 menunjukkan spektrum akustik untuk percakapan manusia dan untuk musik. frekuensi komponen-komponen percakapan biasa bisa ditemukan berkisar antara 100 Hz dan 7 kHz. meskipun sebagian besar energi percakapan ini terpusat pada frekuensi yang lebih rendah, dari uji coba yang dilakukan menunjukkan bahwa frekuensi bisa mencapai 600smpai 700 Hz, sedikit menambah kejelasan percakapan tersebut sehingga dapat diterima telinga manusia.

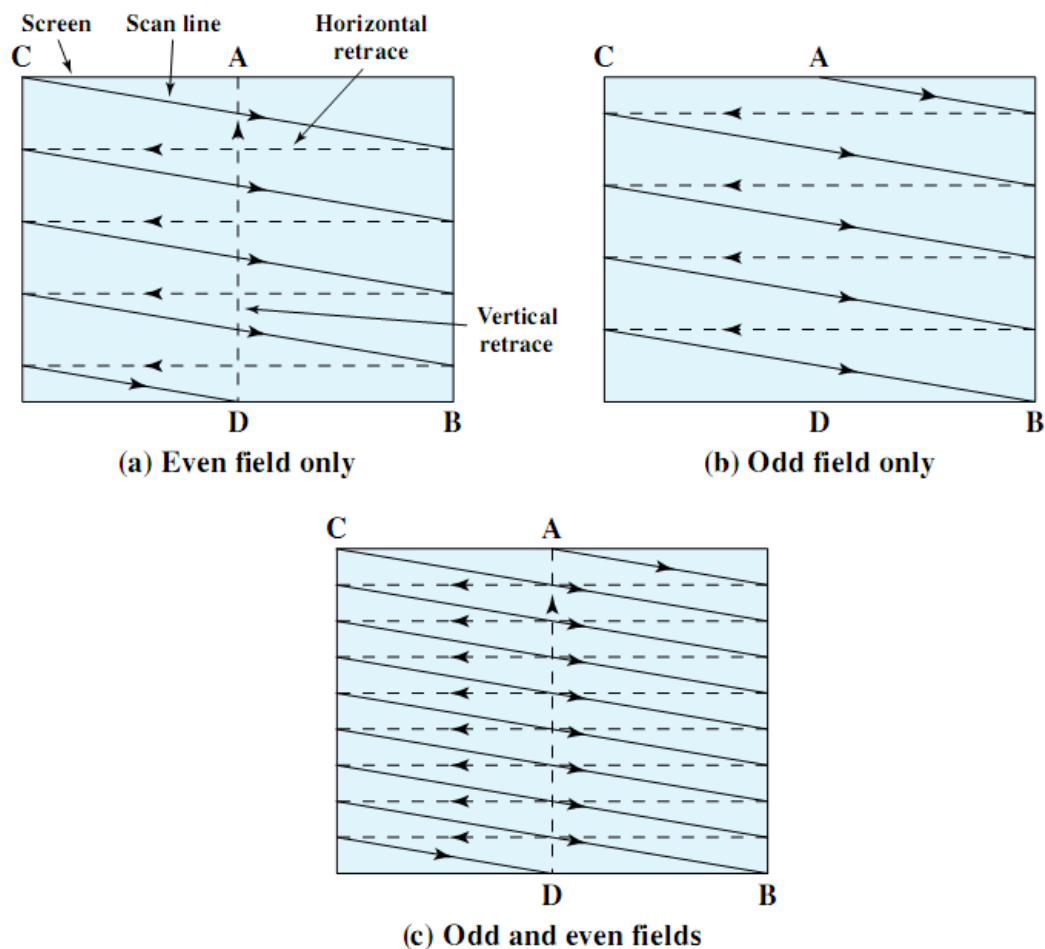


Gambar 3.9 Akustik Spektrum dari Percakapan dan Musik

Percakapan biasa memiliki rentang dinamik (dynamic range) sebesar kira-kira 25 dB^4 , yaitu, kekuatan yang dihasilkan teriakan terkeras kemungkinan bisa mencapai 300 kali lebih besar dari bisikan lemah. Gambar 3.9 juga menunjukkan spektrum akustik dan rentang dinamik untuk musik.

Contoh umum lainnya mengenai analog data adalah **video**. di sini lebih mudah untuk mengkarakteristikan data dipandang dari segi penonton (tujuan) layar TV dibandingkan dengan adegan aslinya (sumber yang direkam oleh kamera TV). Untuk menghasilkan sebuah gambar pada layar, sebuah sinar elektron (electron beam) memayari (scan) melalui permukaan layar dari kiri ke kanan serta

dari atas ke bawah. Untuk televisi hitam-putih, jumlah iluminasi (illumination) yang dihasilkan (di atas skala dari hitam ke putih) pada beberapa titik sebanding dengan intensitas sinar saat melintasi titik tersebut. Jadi dalam waktu tertentu sinar yang menerima nilai intensitas analog untuk menghasilkan kecerahan (brightness) yang diinginkan pada titik tersebut di atas layar. Lebih jauh, ketika sinar memayari. Nilai analog berubah. Jadi image video dapat dimaksudkan sebagai sinyal analog tergantung pada waktu.



Gambar 3.10 Produksi Gambar TV

⁴) Konsep decibel dijelaskan dalam Appendix 3B

Gambar 3.10a menggambarkan proses pemayaran. Di setiap akhir jalur pemayaran (scan line), sinar diarahkan kembali dengan cepat ke kiri (garis horizontal). Saat sinar mencapai bagian bawah, dengan cepat diarahkan kembali ke atas (garis vertikal). Sinar dipadamkan (digilangkan) sepanjang interval garis.

Untuk mencapai resolusi yang memuaskan, sinar memproduksi sejumlah 483 garis horizontal dengan rate sebesar 30 layar per detik. Dari uji coba yang dilakukan menunjukkan bahwa rate ini akan menghasilkan suatu sensasi kerlipan dan bukannya gerakan pelan. bagaimanapun juga, kerlipan dieliminasi melalui suatu proses penjalinan, seperti yang digambarkan pada Gambar 3.10b. sinar elektron melakukan scan sepanjang layar, bermula dari ujung kiri dekat sekali dengan bagian atas. Sinar mencapai pertengahan garis terendah layar setelah 241.5 baris. Pada titik ini, dengan cepat sinar ditempatkan kembali ke bagian atas layar dan mulai lagi di pertengahan baris yang paling atas dari layar yang dapat dilihat untuk menghasilkan 241.5 baris yang terjalin dengan himbauan asli. Jadi layar di-refress 60 kali per detik dan bukannya 30, serta kerlipan dihindari.

Tabel 3.1 The International Reference Alphabet (IRA)

Posisi bit

							0	0	0	0	1	1	1	1
							0	0	1	1	0	0	1	1
							0	1	0	1	0	1	0	1
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1								
		0	0	0	0	0	NUL	DLE	SP	0	@	P	`	p
		0	0	0	0	1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
		0	0	1	0	0	STX	DC2	“	2	B	R	b	r
		0	0	1	1	0	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
		0	1	0	0	0	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
		0	1	0	1	0	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
		0	1	1	0	0	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
		0	1	1	1	0	BEL	ETB	‘	7	G	W	g	w
		1	0	0	0	0	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
		1	0	0	1	0	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
		1	0	1	0	0	LF	SUB	*	:	J	Z	j	Z
		1	0	1	1	0	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
		1	1	0	0	0	FF	IS4	,	<	L	\	l	
		1	1	0	1	0	CR	IS3	-	=	M	]	m	}
		1	1	1	0	0	SO	IS2	.	>	N	^	n	~
		1	1	1	1	0	SI	IS1	/	?	O	_	o	DEL

Contoh yang paling dikenal dari digital data adalah teks atau karakter-karakter. Sementara tekstual data paling nyaman untuk manusia, tidak dapat, dalam bentuk karakter disimpan dengan mudah untuk ditransmisikan melalui pengolahan data dan sistem komunikasi. Sistem semacam ini dirancang untuk data biner. Jadi sejumlah kode telah direncanakan dengan cara di mana karakter diwakili oleh sederet bit. Mungkin awalnya contoh yang paling umum untuk hal ini adalah kode biner. Saat ini, kode teks yang paling umum dipergunakan adalah International Reference Alphabet (IRA)⁵, ditunjukkan dalam tabel 3.1. masing-masing karakter dalam kode ini ditunjukkan lewat 7 bit pola khusus; jadi 128 karakter yang berlainan dapat ditampilkan. Ini merupakan jumlah yang sangat besar dari yang dibutuhkan, dan beberapa pola tersebut menggambarkan karakter kontrol yang tidak terlihat (invisible) (Tabel 3.2). beberapa dari karakter kontrol ini berkaitan dengan pengendalian pencetakan karakter atas suatu halaman. Yang lainnya berkaitan dengan prosedur komunikasi dan hal itu akan dibahas kemudian. IRA-encoded karakter selalu disimpan dan ditransmisi menggunakan 8 bit per karakter. Bit kedelapan merupakan jumlah bilangan biner 1 dalam setiap octa selalu ganjil (odd parity) atau selalu genap (even parity). Jadi, suatu transmisi error yang dapat mengubah suatu bit tunggal, atau apapun jumlah bit yang ganjil, akan terdeteksi

⁵) IRA didefinisikan dalam T.50 Recommendation ITU-T dan dikenal sebagai International Alphabet Number 5 (IA5) Dalam versi U.S IRA dirujuk seperti The American Standard Code for Information Interchange (ASCII)

Tabel 3.2 Karakter Kontrol IRA

Kontrol Format	
BS (backspace): menunjukkan gerakan mekanisme penulisan atau menampilkan kursor satu posisi ke belakang. HOT (Horizontal Tab): menunjukkan gerakan mekanisme penulisan atau menampilkan kursor ke depan menuju 'tab' berikutnya atau menghentikan posisi LF (Line Feed): menunjukkan gerakan mekanisme penulisan atau menampilkan kursor menuju posisi karakter yang sesuai di baris berikutnya	VT (Vertical Tab): menunjukkan gerakan mekanisme penulisan atau menampilkan kursor menuju rangkaian baris berikutnya FF (Format Feed): menunjukkan gerakan mekanisme penulisan atau menampilkan kursor menuju posisi awal halaman, form, atau layar berikutnya CR (Carriage Return): menunjukkan gerakan mekanisme penulisan atau menampilkan kursor menuju posisi awal pada baris yang sama

Kontrol Transmisi

SOH (Start of Heading): digunakan untuk menunjukkan bagian awal heading yang berisikan alamat atau arah informasi STX (Start of Text): digunakan untuk menunjukkan awal teks serta menunjukkan bagian akhir heading ETX (End of Text): digunakan untuk mengakhiri teks yang dimulai dengan STX EOT (End of Transmission): menunjukkan selesainya transmisi, serta kemungkinan mencakup satu teks atau lebih berikut headingnya ENQ (Enquiry): permintaan respons dari station yang berjauhan. Bisa	ACK (Acknowledgement): dutransmisikan oleh receiver sebagai respons persetujuan kepada pengirim. Serta dipergunakan sebagai respons positif untuk meyelidiki pesan NAK (Negative Acknowledgement): dutransmisikan oleh receiver sebagai respons negatif kepada pengirim. Serta dipergunakan sebagai respons negatif untuk meyelidiki pesan SYN (Synchronus/Idle): dipergunakan oleh sistem transmisi synchronus untuk mencapai sinkronisasi. Bila tidak ada data
---	---

dimaksudkan sebagai permintaan WHO ARE YOU untuk sebuah station supaya menunjukkan identitasnya	yang dikirim, maka sistem transmisi synchronus akan terus menerus mengirimkan karakter SYN ETB (End of Transmission Block): menunjukkan bagian akhir blok data untuk keperluan komunikasi. Sert digunakan juga untuk memblok data dimana struktur blok tersebut tidak perlu dihubungkan dengan format pengolahan
---	---

Pemisah Informasi

IS4 (File Separator) Group Separator) IS2 (Record Separator) IS1 (Unit Separator)	Pemisah informasi dipergunakan untuk hal-hal yang bersifat opsional (pilihan) kecuali bila hierarkinya IS4 (yang paling eksklusif) menunjukkan IS1 (yang paling tidak inklusif)
--	---

Lain – Lain

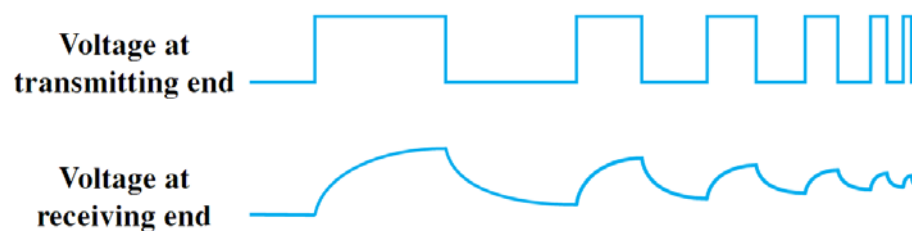
NUL (null) tanpa karakter. Dipergunakan untuk mengisi waktu atau menempati spasi pada media bila tidak ada data BEL (bell): dipergunakan bila ingin menarik perhatian manusia. Bisa berupa alarm kontrol atau perangkat atensi. SO (Shift Out): menunjukkan bahwa kombinasi kode yang mengikuti harus diterjemahkan diluar urutan karakter standart sampai karakter SI diperoleh SI (Shift In): menunjukkan bahwa kombinasi kode yang mengikuti harus diterjemahkan sesuai karakter standar DEL (delete): dipergunakan untuk menghapus karakter yang tidak diinginkan SP (Space): karakter nonpenulisan yang dipergunakan untuk memisahkan kata-kata	DLE (Data Link Escape): mengibah arti satu atau lebih karakter yang berdekatan DC1, DC2, DC3, DC4 (Device Control): karakter-karakter untuk menontrol perangkat-parangkat tambahan atau bentuk-bentuk terminal khusus CAN (Cancel): menunjukkan bahwa data yang mendahului di dalam suatu pesan atau blok harus diabaikan EM (End of Medium): menunjukkan ujung fisik sebuah pita atau media lain, atau bagian paling ujung dari media yang diperlukan atau dipergunakan SUB (Substitute): dimaksudkan menggantikan karakter yang salah atau keliru ESC (Escape): meenyajikan perluasan kode yang menyediakan
---	--

	sejumlah karakter tertentu yang mengikutinya terus-menerus dalam arti yang bergantian
--	---

Sinyal

Dalam suatu sistem komunikasi, data disebarkan dari satu titik ke titik yang lain melalui sebuah alat sinyal-sinyal elektrik. Suatu sinyal analog merupakan aneka ragam gelombang elektromagnetik yang berlangsung terus-menerus yang kemungkinan disebarkan lewat berbagai macam media, tergantung pada spektrum; contohnya media kabel (wire), semacam twisted pair dan coaxial cable, kabel fiber optik, dan atmosfer atau ruang perambatan. Sinyal digital adalah suatu rangkaian voltase pulsa yang bisa ditransmisikan melalui sebuah media kabel; sebagai contoh, suatu level voltase positif konstan ditunjukkan sebagai biner 1 sedangkan level voltase negatif konstan dengan biner 0.

Yang terjadi setelah itu, pertama-tama kita melihat beberapa contoh khusus mengenai tipe-tipe sinyal dan kemudian mendiskusikan hubungan antara data dan sinyal.



Gambar 3.11 Persinyalan analog dan digital untuk data analog dan digital

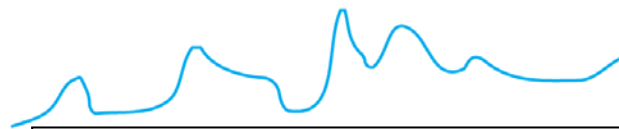
Keuntungan utama dari sinyal digital adalah bahwa itu umumnya lebih murah dari sinyal analog dan kurang rentan terhadap kebisingan interference. The dis utama. Keuntungan adalah bahwa sinyal digital menderita lebih dari pelemahan daripada sinyal analog. Gambar 3.11 menunjukkan urutan pulsa tegangan, yang dihasilkan oleh sumber menggunakan dua level tegangan, dan tegangan yang diterima beberapa jarak ke media melakukan. Karena atenuasi, atau pengurangan, dari kekuatan sinyal pada frekuensi yang lebih tinggi, pulsa menjadi bulat dan lebih kecil. Ini harus jelas bahwa pelemahan ini bisa mengakibatkan agak cepat hilangnya informasi yang terkandung dalam sinyal disebarkan. Dalam apa yang berikut, pertama kita lihat beberapa contoh spesifik jenis sinyal dan kemudian mendiskusikan hubungan antara data dan sinyal.

Contoh-contoh

Mari kita kembali pada tiga contoh yang disajikan pada subbagian terdahulu. Untuk masing-masing contoh, kita menggambarkan sebuah sinyal dan memperkirakan bandwidth-nya.

Dalam hal akustik data (suara), data dapat ditampilkan secara langsung melalui sebuah sinyal elektromagnetik yang menempati spektrum yang sama. Bagaimanapun juga, perlu untuk mengkompromikan antara ketepatan suara saat

ditransmisi secara elektrik dengan biaya transmisi, yang meningkat dengan meningkatkan bandwidth. Seperti yang telah disebutkan, spektrum percakapan berkisar antara 100 Hz sampai 7 kHz, meskipun banyak bandwidth yang lebih kecil akan menghasilkan reproduksi suara yang mampu diterima. Standard spektrum untuk suatu chanel suara adalah 300 sampai 3400 Hz. Ini cukup memadai untuk transmisi percakapan, meminimalkan kapasitas transmisi yang diperlukan, dan memungkinkan pengguna pesawat telepon yang agak murah. Transmitter telepon mengubah sinyal suara akustik yang datang menjadi sebuah sinyal elektromagnetik melewati range 300 sampai 3400 Hz. Sinyal ini kemudian ditransmisikan melalui sistem telepon menuju receiver, yang memproduksi sebagai suara akustik.



Dalam grafik ini dari sinyal analog yang khas, variasi amplitudo dan frekuensi menyampaikan gradasi kenyaringan dan lapangan dalam pidato atau musik. Sinyal serupa digunakan untuk mengirimkan televisi gambar, tapi pada frekuensi yang lebih tinggi.

Similar signals are used to transmit television pictures, but at much higher frequencies.

Gambar 3.12 Konversi Suara Input ke Sinyal Analog

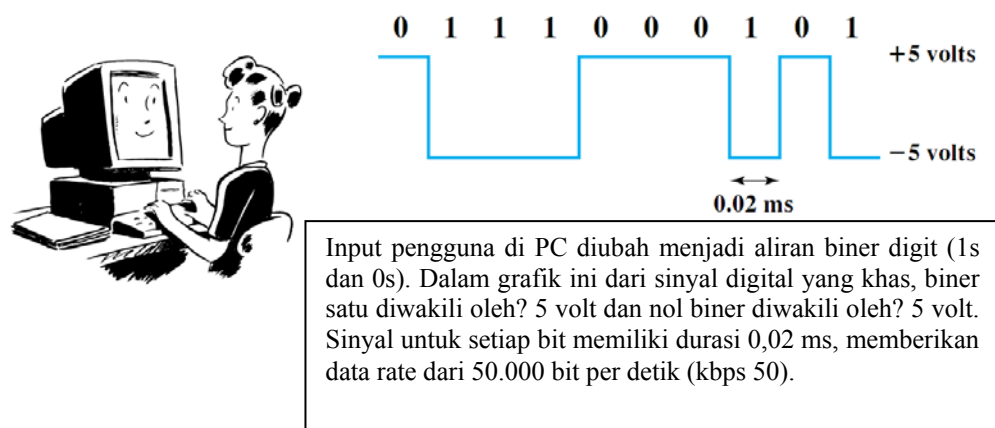
Sekarang mari kita melihat pada sinyal video. Untuk memproduksi suatu sinyal video, yang menampilkan fungsi yang sama dengan receiver TV, dipergunakan sebuah kamera TV. Suatu komponen dari kamera adalah pelat photosensitive, dimana pemandangan terfokus. Suatu sinar elektron dimasukkan melewati pelat dari kiri ke kanan dan dari atas kebawah dengan cara yang sama seperti yang digambarkan pada Gambar 3.10 untuk receiver. Saat sinar masuk, sinyal elektrik analog dikembangkan sebanding dengan kejelasan adegan pada suatu posisi tertentu. Kita sebutkan bahwa jumlah baris yang 483 sudah dimayarkan sebanyak 30 layar per detik. Ini merupakan jumlah rata-rata mengingat waktu yang terbuang sepanjang interval garis vertikal. Standar Amerika Serikat yang sebenarnya adalah 525 baris, namun dari sebesar itu, kira-kira 42 yang hilang sepanjang garis vertikal. Jadi, frekuensi pemayaran horizontalnya adalah $(525 \text{ baris}) \times (30 \text{ layar/detik}) = 15.750 \text{ baris per detik}$, atau $63 \mu\text{s/baris}$. Dari $63 \mu\text{s/baris}$ ini, kira-kira sebanyak $11 \mu\text{s}$ diperhitungkan untuk garis horizontal, menyisakan total $52,5 \text{ ms}$ per baris video.

Sekarang kita berada pada posisi untuk memperkirakan bandwidth yang diperlukan untuk sinyal video. Untuk melakukan hal ini kita harus memperkirakan frekuensi tertinggi (maksimum) dan frekuensi terendah (minimum) dari band. Kita menggunakan alasan-alasan berikut agar mencapai frekuensi maksimum. Frekuensi maksimum akan terjadi sepanjang scan horizontal bila adegan dibolak-

balik antara hitam dan putih secepat mungkin. Kita dapat memperkirakan nilai maksimum ini dengan cara mempertimbangkan resolusi image video. Dalam dimensi vertikal, terdapat 483 baris, sehingga diperoleh resolusi vertikal maksimum sebesar 483. Dari uji coba yang dilakukan menunjukkan bahwa resolusi subyektif yang sebenarnya kira-kira sebesar 70% dari jumlah tersebut, atau kira-kira 338 baris. Agar diperoleh gambar yang stabil, resolusi vertikal dan horizontal harus hampir sama. Karena perbandingan antara lebar dan tinggi sebuah layar TV adalah 4:3, resolusi horizontalnya kira-kira $4/3 \times 338 = 450$ baris. Sebagaimana yang terjadi pada kasus terburuk, baris pemayaran harus dibuat dari 450 unsur yang dibolak-balik hitam dan putih. Scan akan menghasilkan suatu gelombang, dimana setiap siklus gelombang terdiri dari satu level voltase yang lebih tinggi (hitam) dan satunya lebih rendah (putih). Karena itu akan ada $452/2 = 225$ siklus gelombang dalam 53,5 ms, untuk frekuensi maksimum sebesar 4,2 Hz. Kenyataannya, pemikiran ini benar-benar akurat. Batas rendahnya adalah frekuensi nol atau dc, dimana komponen-komponen dc berkaitan dengan iluminasi rata-rata adegan (nilai rata-rata dimana sinyal melebihi rujukan level putih). Jadi, bandwidth sinyal video besarnya kira-kira $4\text{MHz} - 0 = 4\text{MHz}$.

Pembahasan terdahulu tidak menyinggung masalah komponen-komponen audio atau warna sinyal. Lebih dari itu, walaupun audio atau warna sinyal termasuk, bandwidth tetap kira-kira 4 MHz.

Terakhir, contoh ketiga menggambarkan kasus umum mengenai digital data biner. Sinyal yang umum dipergunakan untuk data yang demikian itu menggunakan dua level voltase konstanta (dc), satu level untuk biner 1, dan satu level lagi untuk biner 0. (Di bab 5 akan kita lihat bahwa ini hanya merupakan satu alternatif, menunjuk pada NRZ). Sekali lagi, kita mengamati bandwidth sinyal semacam itu. Pada beberapa kasus tertentu, hal ini tergantung pada ketetapan bentuk gelombang dan rangkaian 1 dan 0. Kita dapat memperoleh beberapa pemahaman mengenai hal ini dengan cara mengamati gambar 3.8 (bandingkan dengan gambar 3.7). seperti yang kita lihat, semakin besar bandwidth sinyal, maka akan semakin tepat memperkirakan deretan pulsa digital.



Gambar 3.13 Konversi PC Input ke Sinyal Digital

Data dan Sinyal

Pada pembahasan terdahulu, kita mengamati sinyal-sinyal analog yang

dipergunakan untuk menampilkan data analog, dan sinyal-sinyal digital untuk menampilkan data digital. Biasanya, data analog merupakan suatu fungsi waktu dan menempati spektrum frekuensi terbatas; data semacam itu dapat dikumpulkan melalui sinyal elektromagnetik yang menempati spektrum yang sama. Sedangkan data digital dibawa melalui sinyal digital, dengan level voltase yang berlainan untuk setiap dua digit biner.

Sebagaimana yang diilustrasikan dalam gambar 3.14, hal ini bukan merupakan satu-satunya kemungkinan. Data digital juga dapat dibawa melalui sinyal-sinyal analog dengan menggunakan sebuah modem (modulator/demodulator). Modem mengubah suatu deretan pulsa voltase biner (two-valued) menjadi suatu sinyal analog dengan cara menandai data digital di atas frekuensi pembawa (carrier frequency). Sinyal yang dihasilkan menempati spektrum frekuensi tertentu pada frekuensi pembawa, dan disebarkan sepanjang media yang sesuai dengan frekuensi pembawa tersebut. Modem yang paling umum menampilkan data digital dalam spektrum suara dan memungkinkan data tersebut disebarkan melalui jalur telpon berderajat-suara biasa. Di ujung saluran lain, modem yang lain juga mendemodulasi sinyal untuk menghasilkan data yang asli.

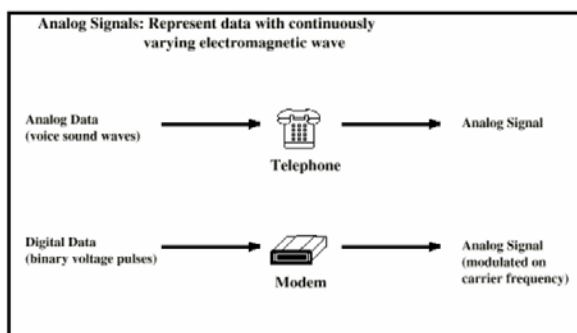
Dalam operasi yang sama seperti yang ditunjukkan modem, data analog dapat dihasilkan melalui data digital. Perangkat yang mampu menghasilkan fungsi untuk data suara ini adalah codec (coder-decoder). pada dasarnya, codec takes sinyal analog yang menempatkan data suara secara langsung dan memperkirakan sinyal tersebut melalui deretan bit. Pada ujung penerima, deretan bit digunakan untuk merekonstruksi data analog.

Jadi gambar 3.14 memberi saran bahwa data bisa ditandai di dalam sinyal dengan berbagai cara. Kita akan kembali ke topik ini lagi pada bab 5.

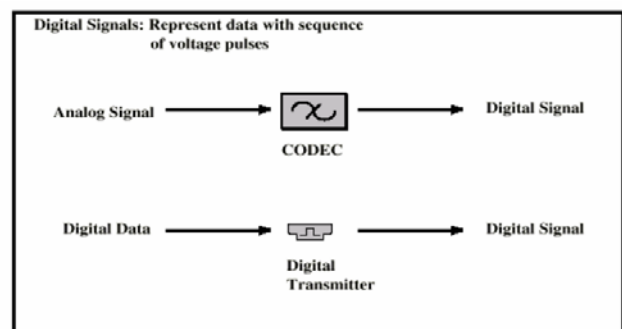
Transmisi

Perbedaan final tetap bisa dibuat. Baik sinyal analog maupun sinyal digital dapat ditransmisikan melalui media transmisi yang sesuai. Caranya, sinyal-sinyal ini diperlakukan sebagai fungsi sistem transmisi. Tabel 3.3 menyajikan ringkasan mengenai metode-metode transmisi data. Transmisi analog merupakan suatu alat untuk mentransmisikan sinyal-sinyal analog tanpa memperhatikan isinya: sinyal bisa menampilkan data analog (misalnya, suara)

Analog Signals Carrying Analog and Digital Data



Digital Signals Carrying Analog and Digital Data



Activ
22 Go to

Gambar 3.14 Persinyalan analog dan digital untuk data analog dan digital

(a) Data dan Sinyal

Tabel 3.3 Transmisi Analog dan Digital

	Sinyal Analog	Sinyal Digital
Data Analog	Dua alternatif : (1) sinyal menempati spektrum yang sama sebagai analog data; (2) data analog ditandai agar menempati bagian spektrum yang berlainan.	Data analog yang ditandai dengan menggunakan sebuah kodek agar menghasilkan suatu digital bit stream.
Data Digital	Data digital disandingkan dengan menggunakan modem untuk menghasilkan sinyal analog	Dua alternatif: (1) sinyal terdiri dari dua level voltase untuk menggambarkan dua nilai biner; (2) digital data ditandai agar menghasilkan suatu digital signal dengan sifat-sifat (properties) yang diinginkan

(b) Perlakuan Sinyal

Disebarkan melalui amplifier; perlakuan yang sama apakah sinyal dipergunakan untuk menggambarkan data analog ataupun untuk menggambarkan data digital	Anggap saja sinyal analog menggambarkan data digital. Sinyal disebarakan melalui repeater; pada masing-masing repeater; digital data diperoleh kembali dari sinyal yang masuk dan dipergunakan untuk menghasilkan analog sinyal keluar yang baru.
Tidak dipergunakan	Sinyal digital menampilkan stream 1 dan 0, yang bisa menggambarkan data digital atau menggambarkan pengkodean data analog. Sinyal disebarakan melalui repeater; pada masing-masing repeater, deretan 1 dan 0 diperoleh kembali dari sinyal yang masuk dan dipergunakan untuk menghasilkan digital sinyal keluar yang baru.

Atau data digital (misalnya, data biner yang melintasi sebuah modem). Pada kasus itu, sinyal analog menjadi lebih lemah (attenuate) setelah menempuh jarak tertentu. Agar dapat mencapai jarak yang lebih jauh lagi, sistem transmisi analog termasuk amplifier mendorong energi ke dalam sinyal. Sayangnya, amplifier juga mendorong komponen-komponen noise. Dengan amplifier yang memancar agar mencapai jarak yang paling panjang, sinyal menjadi lebih banyak terdistorsi. Untuk data analog, misalnya suara, distorsi bit bisa ditoleransi dan data tetap jelas.

Meski begitu, untuk digital data, pancaran amplifier tetap memunculkan error.

Kebalikannya, transmisi digital berkaitan dengan muatan sinyal. Suatu sinyal digital dapat ditransmisikan hanya pada jarak tertentu sebelum atenuasi, noise, dan gangguan yang lain membahayakan integritas data. Agar dapat mencapai jarak yang cukup besar, digunakan repeater. Sebuah repeater menerima data signal, memperoleh kembali pola 1 dan 0, dan kembali mentransmisikan sinyal yang baru. Kemudian barulah atenuasi diatasi.

Teknik yang sama dipergunakan pada suatu sinyal analog bila diasumsikan bahwa sinyal membawa data digital. Pada titik yang ditempatkan dengan tepat, sistem transmisi memiliki repeater dan bukannya amplifier. Repeater memperoleh kembali data digital dari sinyal analog dan menghasilkan sinyal yang baru, kemudian membersihkan sinyal analog. Sehingga noise tidak menumpuk.

Tentunya muncul pertanyaan-pertanyaan mengenai metode apa yang dipilih untuk melakukan transmisi. Jawabannya diberikan oleh industri telekomunikasi dan pelanggannya adalah digital. Fasilitas-fasilitas telekomunikasi long-haul dan intra building beralih ke transmisi digital dan, bila mungkin, teknik-teknik pensinyalan digital. Alasan-alasan terpentingnya adalah sebagai berikut:

- ❑ **Teknologi Digital:** Datangnya teknologi Large-Scale-Integration (LSI) dan Very-Large-Scale-Integration (VSLI) menyebabkan penurunan biaya dan ukuran digital circuitry. Peralatan yang analog tidak menunjukkan penurunan yang sama.
- ❑ **Integritas Data:** Dengan menggunakan repeater daripada amplifier, efek noise dan gangguan sinyal yang lain tidak menumpuk. Karena itu, sangatlah mungkin mentransmisikan data pada jarak yang lebih jauh dan dengan kualitas lebih rendah melalui peralatan digital sambil tetap mempertahankan integritas data.
- ❑ **Penggunaan Kapasitas:** Menjadi lebih ekonomis membangun jalur transmisi dengan bandwidth yang sangat tinggi, termasuk channel satelit dan fiber optik. Derajat multipel yang tinggi diperlukan agar kapasitas dapat digunakan dengan efektif, dan hal itu lebih mudah dan lebih murah diperoleh dengan teknik digital (time-divison) dibandingkan dengan teknik analog (time-division). Hal ini akan dibahas lebih terperinci di Bab 8.
- ❑ **Security (pengamanan) dan privacy (kerahasiaan):** Teknik-teknik encryption dapat diterapkan dengan mudah pada data digital dan data analog yang didigitalkan.
- ❑ **Integrasi:** Dengan memperlakukan analog data dan digital data secara digital, semua sinyal memiliki bentuk yang sama dan dapat diperlakukan dengan sama pula. Karena itu skala ekonomik dan ketepatan waktu dapat dicapai melalui integrasi suara, video, dan digital data.

3.3 GANGGUAN TRANSMISI

Dalam sistem komunikasi, sinyal yang diterima kemungkinan berbeda dengan sinyal yang ditransmisikan karena adanya berbagai gangguan transmisi.

Bagi analog signal, gangguan ini dapat menurunkan kualitas sinyal. Sedangkan bagi digital signal, akan muncul bit error: biner 1 diubah menjadi biner 0 dan seterusnya. Di bagian ini, kita menguji berbagai gangguan dan bagaimana terhadap kapasitas yang membawa informasi pada suatu jalur komunikasi; Bab 5 membahas ukuran-ukuran yang dapat diambil untuk mengimbangi gangguan ini.

Gangguan yang paling signifikan adalah sebagai berikut:

- ☐ Atenuasi dan distorsi atenuasi
- ☐ Distorsi Delay
- ☐ Derau (noise)

Atenuasi

Kekuatan sinyal berkurang bila jaraknya terlalu jauh melalui media transmisi. Untuk guided media, penurunan dalam hal kekuatan, atau atenuasi, pada umumnya mengikuti fungsi logaritma. Sehingga biasanya dinyatakan sebagai jumlah desibel konstan per unit jarak. Untuk guided media, atenuasi adalah fungsi yang lebih kompleks dari jarak. Atenuasi membawakan tiga pertimbangan untuk membangun transmisi. Pertama, sinyal yang diterima harus cukup kuat sehingga arus elektronik pada receiver bisa mendeteksi sinyal. Kedua, sinyal harus mempertahankan level yang lebih tinggi dibanding noise yang diterima tanpa error. Ketiga, atenuasi merupakan fungsi frekuensi yang meningkat.

Permasalahan pertama dan kedua berkaitan dengan perhatian terhadap kekuatan sinyal dan penggunaan amplifier atau repeater. Untuk hubungan ujung ke ujung, kekuatan sinyal sebuah transmitter harus cukup kuat agar dapat diterima dengan jelas, namun juga tidak perlu terlalu kuat agar tidak menimbulkan overload pada sirkuit transmitter atau repeater, yang bisa menyebabkan distorsi. Melampaui jarak tertentu, atenuasi tidak dapat diterima dengan baik, dan repeater atau amplifier dipergunakan untuk memperkuat sinyal pada interval yang wajar. Permasalahan ini menjadi lebih kompleks untuk jalur multipoint dimana jarak dari transmitter menuju receiver tidak tetap.

Permasalahan ketiga biasanya nampak jelas pada analog sinyal. Karena atenuasi berubah-ubah sehingga sebagai fungsi frekuensi, sinyal yang diterima menjadi menyimpang, sehingga mengurangi tingkat kejelasan. Untuk menanggulangi masalah ini, disediakan teknik untuk menyamakan atenuasi ini melintasi band frekuensi. Hal ini biasanya dilakukan untuk saluran telepon tingkat kebisingan dengan menggunakan loading coil (gulungan muatan) yang mengubah sifat elektrik saluran tersebut; hasilnya untuk meratakan efek-efek atenuasinya. Pendekatan-pendekatan lainnya adalah dengan menggunakan amplifier yang dapat memperkuat frekuensi tinggi bahkan frekuensi yang lebih rendah.

Contoh yang disediakan dalam Gambar 3.15, yang menampilkan atenuasi sebagai fungsi frekuensi untuk leased line tertentu. Pada Gambar tersebut, atenuasi yang diukur berhubungan dengan atenuasi pada 1000 Hz. Nilai positif pada sumbu y menggambarkan atenuasi yang lebih besar daripada atenuasi pada 1000 Hz. Nada sebesar 1000 Hz pada tingkat tenaga tertentu ditetapkan untuk input, dan daya P1000 diukur pada output. Untuk beberapa frekuensi yang lain f , prosedurnya diulang dan atenuasi relatif dalam desibelnya adalah⁶⁾

⁶⁾ Pada bagian akhir ini, terkecuali bila yang sebaliknya ditunjukkan, kita gunakan $\log(x)$ untuk rata-rata $\log_{10}(x)$

$$N_f = -10 \log_{10} \frac{P_f}{P_{1000}}$$

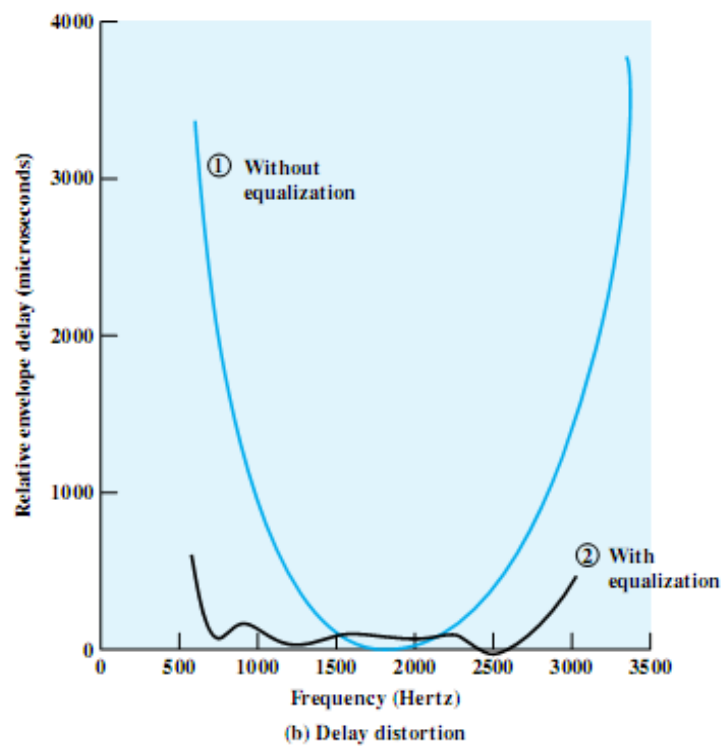
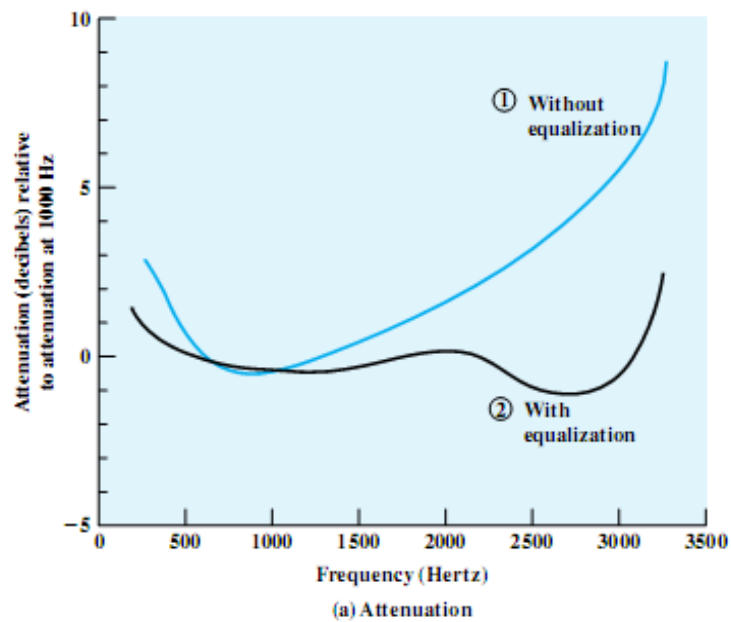
Garis tebal pada gambar 3.15 menunjukkan atenuasi tanpa equalisasi. Sebagaimana yang dapat dilihat, komponen frekuensi pada bagian akhir voice band ditingkat yang lebih tinggi lebih diperlemah dibandingkan dengan berada pada frekuensi yang lebih rendah. Nampak jelas bahwa ini akan mengakibatkan munculnya distorsi pada sinyal percakapan yang diterima. Garis putus-putus menunjukkan efek equalisasi. Garis lengkung balasan yang mendatar meningkatkan mutu sinyal suara. Hal itu memungkinkan data rate yang lebih besar dipergunakan oleh data digital yang melintasi sebuah modem.

Distorsi atenuasi menggambarkan kurangnya masalah dengan sinyal digital. Seperti yang telah kita lihat, kekuatan signal digital berkurang secara cepat bersama dengan frekuensi (gambar 3.5b); sebagian besar muatannya dikonsentrasikan ke dekat frekuensi dasar atau bit rate sinyal.

Distorsi Tunda

Distorsi tunda merupakan sebuah fenomena khas pada media guided. Distorsi yang terjadi disebabkan oleh kenyataan bahwa kecepatan penyebaran sebuah sinyal melewati medium guided berbeda dengan frekuensi. Untuk sebuah signal band terbatas, kecepatannya cenderung sangat tinggi di dekat pusat frekuensi dan turun mengarah pada kedua sisi band. Sehingga berbagai komponen frekuensi suatu sinyal akan mencapai receiver pada waktu yang berlainan, dan mengakibatkan fasenya berubah di antara frekuensi yang berbeda-beda.

Efek ini menunjuk pada distorsi tunda, akibat sinyal yang diterima mengalami distorsi karena berbagai penundaan yang dialami pada pemilih frekuensinya. Distorsi tunda sangat kritis bagi data digital. Anggap saja, suatu rangkaian bit sedang ditransmisikan baik dengan menggunakan signal analog maupun signal digital. Karena mengalami distorsi tunda, beberapa komponen sinyal dari satu posisi bit meluap (spill over) ke posisi bit yang lai, dan menimbulkan gangguan inter-simbol, yang merupakan batasan utama terhadap bit rate maksimum sepanjang channel transmisi.



Gambar 3.15 Garis lengkung atenuasi dan distorsi tunda untuk saluran suara

Teknik-teknik equalisasi juga dipergunakan untuk distorsi tunda. Lagi-lagi dengan menggunakan telpon leased line sebagai contoh, gambar 3.15 menunjukkan efek equalisasi atas delay sebagai fungsi frekuensi.

Derau

Untuk suatu peristiwa pentransmisian data, sinyal yang diterima akan berisikan sinyal-sinyal yang ditransmisikan, dimodifikasi oleh berbagai distorsi yang terjadi melalui sistem transmisi, plus sinyal-sinyal tambahan yang tidak diinginkan yang diselipkan di suatu tempat di antara transmisi dan penerimaan. Berikutnya, sinyal-sinyal yang tidak diharapkan tersebut sebagai derau. Yaitu derau yang merupakan faktor utama yang membatasi performance sistem komunikasi.

Derau dibagi menjadi empat kategori:

- ☐ Derau suhu
- ☐ Derau intermodulasi
- ☐ Crosstalk
- ☐ Derau impuls

Derau suhu adalah suatu gejala thermal elektron. Muncul di semua perangkat elektronik dan media transmisi serta merupakan fungsi temperatur. Derau suhu secara keseluruhan disebarkan sepanjang spektrum frekuensi dan sering juga disebut sebagai white noise. Derau suhu tidak dapat dihilangkan dan karena itu menempatkan suatu batas atas pada unjuk kerja untuk sistem komunikasi. Jumlah derau suhu yang dapat ditemukan dalam suatu bandwidth sebesar 1 Hz untuk segala jenis perangkat atau konduktor adalah

$$N_0 = kT \text{ (W/Hz)}$$

Dimana ⁷⁾

N_0 = kerapatan kekuatan derau dalam watt per 1 Hz bandwidth

k = konstanta Boltzmann = $13803 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$

T = Temperatur, derajat kelvin

Contoh

Pada temperatur kamar, $T = 17^\circ\text{C}$, atau 290°K , dan kerapatan tenaga derau suhu-nya adalah

$$N_0 = (13803 \times 10^{-23}) \times 290 = 4 \times 10^{-21} \text{ W/Hz} = -204 \text{ Dbw/Hz}$$

Dimana dBW adalah desibel-watt, ditentukan dalam lampiran 3B

Derau diasumsikan sebagai keleluasaan frekuensi, sehingga derau suhu dalam watt yang ditampilkan dalam suatu bandwidth B hertz dapat dinyatakan sebagai $N = Ktb$

Atau, dalam desibel-watt,

$$\begin{aligned} N &= 10 \log k + 10 \log T + 10 \log B \\ &= -228,6 \text{ dBW} + 10 \log T + 10 \log B \end{aligned}$$

Contoh

Sebuah receiver tertentu dengan temperatur derau efektif sebesar 100° dan bandwidth 10-MHz, tingkat derau suhu pada output receiver adalah

$$N = -228,6 \text{ dBW} + 10 \log 10^2 + 10 \log 10^7$$

⁷⁾) Joule (J) adalah International System (SI) untuk energi thermal, elektrik, dan mekanik. Sedangkan watt adalah satuan International System (SI) untuk daya, setara dengan satu Joule per detik. Kelvin (K) adalah satuan SI untuk temperatur termodinamik. untuk temperatur dalam derajat kelvin T , temperatur yang sesuai dalam derajat Celcius setara dengan $T - 273,15$.

$$\begin{aligned}
 &= -228,6 + 20 + 70 \\
 &= -138,6 \text{ dBW}
 \end{aligned}$$

Bila sinyal-sinyal pada frekuensi yang berlainan menggunakan media transmisi yang sama, hasilnya dapat berupa derau intermodulasi. Efek derau intermodulasi akan menghasilkan sinyal-sinyal pada suatu frekuensi yang merupakan jumlah atau kelipatan antara dua frekuensi asal atau kelipatan dari frekuensi-frekuensi tersebut. Sebagai contoh, percampuran sinyal pada frekuensi f_1 dan f_2 akan menghasilkan energi pada frekuensi $f_1 + f_2$. Sinyal yang diperoleh ini dapat bercampur dengan sinyal yang dituju pada frekuensi $f_1 + f_2$.

Derau intermodulasi akan terjadi bila terdapat beberapa sifat tidak linear pada transmitter, receiver, atau sistem transmisi yang menghalangi. Normalnya, komponen-komponen ini berlaku sebagai sistem linear; yaitu, output sama dengan input kali suatu konstanta. Pada suatu sistem non linear, output merupakan fungsi yang lebih kompleks dari input. Sifat tidak linear semacam ini disebabkan karena tidak berfungsinya komponen atau penggunaan kekuatan sinyal yang terlalu berlebihan. Di bawah kondisi seperti itulah muncul istilah jumlah dan selisih.

Crosstalk dialami oleh siapapun saat menggunakan telepon, terdengar percakapan lain; ini merupakan kopel yang tidak diharapkan yang terjadi di antara path sinyal. Dapat pula terjadi karena kopel elektrik di antara twisted pair yang berdekatan, atau, namun jarang pada jalur coaxial cable, yang membawa sinyal-sinyal multipel. Crosstalk dapat pula terjadi bila sinyal-sinyal yang tidak diharapkan tersebut disebarkan melalui antena gelombang mikro; meskipun antena pengaruh dipergunakan, namun energi gelombang mikro tersebar luas selama proses propagasi. Biasanya, crosstalk memiliki tingkat magnitude yang sama atau lebih kurang dari derau suhu.

Segala jenis derau dibahas sejauh sejauh ini memiliki magnitude-magnitude konstan relatif dan telah dapat diperkirakan sebelumnya. Karena itu sangatlah mungkin membangun sistem transmisi sekaligus mengatasinya. Bagaimanapun juga, derau impuls, tidak terjadi secara terus-menerus. Derau impuls terjadi pada pulsa-pulsa yang tidak beraturan atau terputusnya bunyi pada durasi pendek, serta dari amplitudo yang relatif tinggi. Derau impuls dapat terjadi karena berbagai macam sebab, termasuk karena gangguan elektromagnetik eksternal seperti halilintar, dan kesalahan serta kerusakan dalam sistem komunikasi.

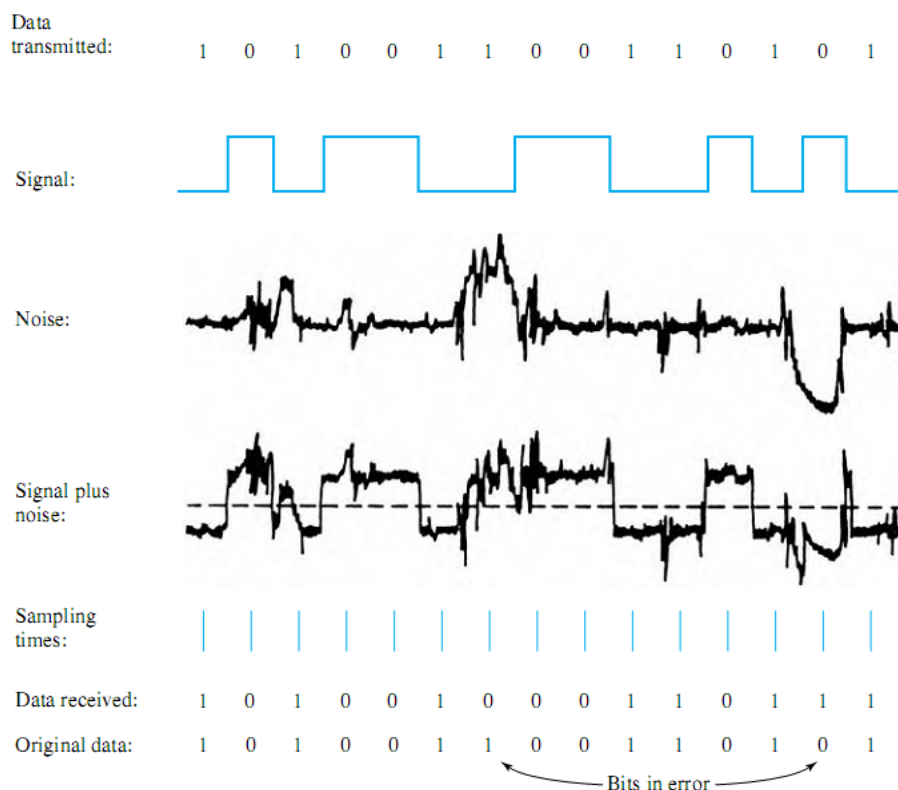
Derau impuls umumnya hanyalah gangguan kecil bagi data analog. Sebagai contoh, transmisi suara dapat diganggu oleh bunyi klik dan gemerisik tanpa mengurangi kejelasannya. Bagaimanapun juga, derau impuls juga merupakan sumber utama terjadinya error dalam komunikasi data digital. Sebagai contoh, penghentian energi secara tajam dari durasi 0,01s, meskipun tidak sampai merusak data suara, namun akan mengurangi kira-kira sebanyak 560 bit data yang sedang ditransmisikan pada 56kbps. Gambar 3.16 merupakan suatu contoh mengenai efek derau pada suatu signal digital. Di sini, derau terdiri dari tingkat relatif dari derau suhu ditambah penghentian-penghentian berkala derau impuls. Digital data dapat diperoleh kembali dari sinyal dengan cara menarik contoh bentuk gelombang yang diterima satu kali per bit waktu. Sebagaimana yang dapat dilihat, noise kadang-kadang cukup memadai untuk mengubah 1 menjadi 0 atau 0 menjadi 1.

Kapasitas Channel

Kita telah melihat bahwa berbagai jenis gangguan yang dapat mengganggu dan merusak sebuah sinyal. Untuk data digital, pertanyaan yang akan muncul pada tingkat apa gangguan-gangguan ini mampu membatasi data rate yang dapat dicapai. Rate maksimum pada data yang mana dapat ditransmisikan melalui suatu jalur komunikasi tertentu, atau channel, pada kondisi tertentu, ditunjukkan sebagai kapasitas channel.

Di sini terdapat empat konsep di mana kita berusaha saling menghubungkannya satu sama lain.

- ❑ **Date rate:** Merupakan rate, dalam bit per detik(bps), pada data yang mana yang dapat dikomunikasikan
- ❑ **Bandwidth:** Merupakan bandwidth dari sinyal yang ditransmisikan saat dipaksa melalui transmitter dan sifat media transmisi, dinyatakan dalam siklus per detik, atau hertz
- ❑ **Derau:** Merupakan level rata-rata derau sepanjang jalur komunikasi
- ❑ **Error rate:** Merupakan rate di mana error terjadi, dimana suatu error diterima sebesar 1 saat 0 ditransmisikan atau penerimaan sebesar 0 saat 1 ditransmisikan



Gambar 3.16 Efek noise dalam sebuah sinyal

Permasalahan yang sedang kita bahas adalah fasilitas-fasilitas komunikasi yang mahal, dan, umumnya, bandwidth fasilitas yang lebih besar berarti biaya yang lebih besar pula. Selanjutnya, semua channel transmisi dari kepentingan tertentu terbatas oleh bandwidth. Batasan-batasan tersebut muncul dari sifat-sifat fisik media transmisi atau dari pembatasan-pembatasan yang disengaja pada transmitter terhadap bandwidth untuk mencegah gangguan dari sumber-sumber lain. Karena itu, kita membuat penggunaan bandwidth tertentu seefisien mungkin. Untuk data digital, hal ini berarti bahwa kita akan mendapatkan data rate setinggi mungkin pada batas error rate tertentu untuk bandwidth tertentu juga. Penghalang utama untuk mencapai tingkat efisiensi seperti itu adalah derau.

Nyquist Bandwidth

Untuk mengawalinya, kita melihat pada kasus sebuah channel yang bebas dari derau. Di lingkungan ini, keterbatasan pada data rate terlebih karena bandwidth sinyal. Rumus untuk masalah ini, menurut Nyquist, menyatakan bahwa bila rate sinyal transmisi adalah $2B$, maka suatu sinyal dengan frekuensi tidak lebih besar daripada B cukup memadai untuk menghasilkan rate sinyal. Kebalikannya jika berlaku: Suatu bandwidth tertentu sebesar B , maka rate sinyal tertinggi yang bisa dihasilkan adalah sebesar $2B$. Keterbatasan ini dikarenakan efek gangguan intersymbol, seperti misalnya, yang disebabkan oleh distorsi tunda. Hasilnya berguna untuk pengembangan skema pengkodean digital ke analog, dan bisa diperoleh di lampiran 5A.

Patut dicatat bahwa dalam paragraf sebelumnya, kita menunjuk pada rate sinyal. Bila sinyal-sinyal yang ditransmisikan berupa biner (level dua voltase), maka data rate yang bisa didukung oleh B Hz adalah $2B$ bps. Seperti pada contoh, misalnya suatu suara, melalui modem, mentransmisikan data digital. Dianggap bandwidth nya sebesar 3100 Hz. Maka, kapasitas (C) channel sebesar $2B = 6200$ bps. Bagaimanapun juga, sebagaimana yang kita lihat di Bab 5, sinyal-sinyal yang memiliki dua level atau lebih dapat dipergunakan; yakni, masing-masing elemen sinyal dapat menampilkan lebih dari satu bit. Sebagai contoh, bila empat level voltase dipergunakan sebagai sinyal, maka masing-masing sinyal tersebut akan dapat menampilkan dua bit. Dengan multilevel persinyalan, rumus Nyquistnya menjadi

$$C = 2B \log_2 M$$

Dimana M adalah jumlah signal yang berlainan atau level voltase. Sehingga, untuk $M = 8$, nilai yang dipergunakan dengan berbagai modem, C menjadi 18600 bps.

Jadi, untuk bandwidth tertentu, data rate dapat ditingkatkan dengan cara meningkatkan jumlah elemen-elemen sinyal yang berlainan. Bagaimanapun juga, hal ini menambah beban pada receiver: dibandingkan dengan satu dari dua elemen-elemen sinyal khusus sepanjang masing-masing waktu sinyal, haruslah dibedakan satu dari sinyal-sinyal M . Derau dan gangguan yang lain pada jalur transmisi akan membatasi nilai M .

Rumus Kapasitas Shannon

Rumus Nyquist menyatakan bahwa, segala sesuatu yang sama, menggandakan bandwidth akan menggandakan data rate. Sekarang pertimbangkan keterkaitan antara data rate, derau, dan error rate. Hal ini dapat dijelaskan secara intuitif dengan cara melihat lagi pada gambar 3.16 tampilan derau dapat merusak satu bit bahkan bisa lebih. Bila data rate meningkat, maka bit

akan menjadi lebih ‘pendek’ supaya lebih banyak bit yang terpengaruh melalui pola-pola derau tertentu. Dengan demikian, pada level derau tertentu, semakin tinggi rate data, maka semakin tinggi pula rate error.

Seluruh konsep ini dapat disatukan bersama-sama dengan teratur dalam satu rumus yang dikembangkan oleh pakar matematika Claude Shannon. Sebagaimana yang baru saja kita gambarkan, semakin tinggi rate data, kemungkinan terjadinya kerusakan yang tidak diinginkan semakin besar. Untuk level derau tertentu, kita berharap bahwa kekuatan sinyalyang lebih besar akan meningkatkan kemampuan menerima data secara benar di dalam tampilan derau. Parameter kunci yang terlibat dalam alasan ini adalah Signal-ke-NoiseRatio (SNR)⁸), yang merupakan perbandingan daya dalam suatu sinyal terhadap daya yang dikandung oleh noise yang muncul pada titik-titik tertentu dalam transmisi. Biasanya, perbandingan ini diukur pada sebuah receiver, karena perbandingan pada titik ini dimaksudkan untuk memproses sinyal dan menghilangkan derau yang yang tidak diinginkan. Untuk mudahnya, perbandingan ini sering dinyatakan dalam desibel.

$$(\text{SNR})_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \frac{\text{signal power}}{\text{noise power}}$$

Hal ini menyatakan jumlah, dalam desibel, dimana sinyal yang dimaksud melebihi level derau. SNR yang tinggi berarti suatu sinyal yang bermutu tinggi dan repeater parantara yang diperlukan dalam jumlah kecil.

Signal-to-Noise Ratio sangatlah penting dalam transmisi digital data karena menyusun batas atas terhadap rate data yang mampu dicapai. Yang dihasilkan Shannon adalah kapasitas chanel maksimum, dalam bit per detik, sesuai dengan persamaan.

$$C = B \log_2 (1 + \text{SNR}) \quad (3.1)$$

Dimana C adalah kapasitas canel dalam bit per detik dan B adalah bandwidth canel dalam hertz. Rumus Shannon menggambarkan nilai maksimum teoretis yang bisa dicapai. Sedangkan pada prakteknya, bagaimanapun juga, rate yang lebih rendahlah yang mampu dicapai. Satu alasan hal ini adalah rumus tersebut berasumsi white noise (derau suhu). Derau impuls tidak diterangkan; baik mengenai distorsi atenuasi maupun distorsi tunda.

Kapasitas yang dinyatakan dalam persamaan sebelumnya ditunjukkan sebagai kapasitas error-free. Shannon membuktikan bahwa bila rate informasi aktual pada suatu canel lebih sedikit dibanding kapasitas error-free, maka secara teoritis sangatlah mungkin menggunakan kode sinyal yang sesuai untuk mencapai transmisi error-free sepanjang canel. Sayangnya, dalil Shannon tersebut tidak menyarankan alat untuk menemukan kode-kode semacam itu, namun hanya menyediakan ukuran yang dapat dipergunakan untuk mengukur unjuk kerja skema-skema praktek komunikasi.

Beberapa observasi lain yang berkaitan dengan persamaan sebelumnya mengandung banyak pelajaran. Untuk level derau tertentu, akan muncul bahwa

⁸) Beberapa literature menggunakan SNR, yang lain menggunakan S/N. Juga dalam beberapa kasus kuantitas berdimensi disebut sebagai SNR atau S/N dan kuantitas dalam desibel berarti Db quantity menggunakan SNR atau SNRdb

data rate akan dapat ditingkatkan dengan baik dengan cara meningkatkan kekuatan sinyal atau meningkatkan bandwidth-nya. Bagaimanapun juga, saat kekuatan sinyal meningkat, maka akan meningkat pula efek sifat nonlinear di dalam sistemnya, sekaligus meningkatkan derau intermodulasi-nya. Juga patut dicatat bahwa, karena derau diasumsikan sebagai white noise, semakain besar bandwidth, maka semakin banyak derau yang diterima sistem. Sehingga, saat B meningkat SNR akan menurun.

Contoh

Sekarang kita lihat sebuah contoh yang mengaitkan rumus Nyquist dan rumus Shannon. Anggap saja spektrum sebuah channel berkisar antara 2 MHz dan 4 MHz serta SNR sebesar 24 Db. Maka

$$B = 4 \text{ MHz} - 2 \text{ MHz} = 2 \text{ MHz}$$

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 24 \text{ Db} = 10 \log_{10} (\text{SNR})$$

$$\text{SNR} = 251$$

Dengan menggunakan rumus Shannon,

$$C = 10^6 \times \log_2(1 + 251) = 10^6 \times 8 = 8 \text{ Mbps}$$

Hal ini merupakan batas teoritis dan, sebagaimana yang telah kita katakan, nampaknya sulit dicapai. Namun anggap saja kita dapat mencapai batas tersebut. Berdasarkan atas rumus Nyquist, berapa banyak signalling level yang diperlukan? Kita dapatkan

$$C = 2B \log_2 M$$

$$8 \times 10^6 = 2 \times (10^6) \times \log_2 M$$

$$4 = \log_2 M$$

$$M = 16$$

Pernyataan E_b/N_0

Terakhir kita menyebutkan sebuah parameter yang berkaitan dengan SNR yang lebih sesuai untuk menentukan rate data digital dan rate error. Parameter tersebut adalah perbandingan energi sinyal per bit terhadap kerapatan daya derau per hertz, E_b/N_0 . Anggap saja sebuah sinyal, digital ataupun analog, yang berisikan biner data digital yang ditransmisikan pada suatu bit rate R tertentu. Ingat lagi bahwa $1 \text{ watt} = 1 \text{ J/s}$, energi per bit dalam sebuah sinyal diperlihatkan melalui $E_b = ST_b$, dimana S adalah daya sinyal dan T_b adalah waktu yang diperlukan untuk mengirim satu bit. Data rate R , $R = 1/T_b$ Maka

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S/R}{N_0} = \frac{S}{kTR}$$

Atau dalam angka desibel,

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\text{db}} = S_{\text{dBW}} - 10 \log R - 10 \log k - 10 \log T$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\text{db}} = S_{\text{dBW}} - 10 \log R + 228,6 \text{ Dbw} = 10 \log T$$

Perbandingan E_b/N_0 sangat penting karena rate bit error untuk data digital fungsi untuk perbandingan ini. Nilai tertentu sebesar E_b/N_0 diperlukan untuk mencapai rate error yang diinginkan, parameter-parameter dalam rumus sebelumnya bisa dipilih. Patut dicatat bahwa saat bite rate R meningkat, daya sinyal yang ditransmisikan, relatif terhadap derau, harus ditingkatkan untuk

mempertahankan E_b/N_0 yang diperlukan.

Mari kita berupaya untuk memahami hasil ini secara intuitif dengan jalan kembali ke Gambar 3.16. Di sini sinyal yang dimaksud adalah sinyal digital, namun pertimbangannya sama dengan pertimbangan untuk signal analog. Pada beberapa contoh, deraunya cukup memadai untuk mengubah nilai suatu bit. Bila data ratenya rangkap, bit-bit menjadi penuh sesak, dan bagian derau yang sama bisa merusak dua bit. Karena itu, untuk sinyal konstan dan kekuatan derau, peningkatan dalam rate data akan meningkatkan rate error.

Contoh

Untuk pindahan fase biner (ditentukan dalam Bab 5), $E_b/N_0 = 8,4$ dB diperlukan untuk suatu bit rate error sebesar 10^{-4} (satu bit error keluar setiap 10000). Bila derau temperatur efektif besarnya 290°K (temperature kamar) dan data rate sebesar 2400 bps, berapa level sinyal yang diterima yang diperlukan?

Kita dapatkan

$$\begin{aligned} 8,4 &= S \text{ (dBW)} - 10 \log 2400 + 228,6 \text{ Dbw} - 10 \log 290 \\ &= S \text{ (Dbw)} - (10)(3,38) + (228,6 - (10)(2,46)) \\ S &= -161,8 \text{ dBW} \end{aligned}$$

3.4 BACAAN YANG DISARANKAN

Terdapat beberapa buku yang membahas mengenai pokok-pokok transmisi analog dan transmisi digital. [COUC97] benar-benar cermat. Buku petunjuk yang cukup bagus adalah [FREE98] yang mencakup beberapa contoh yang dipergunakan pada bab ini. Laporan yang luar biasa lainnya adalah laporan tiga volume [BELL90], [LATHI98], dan [GLOV98].

Laporan yang sangat mudah diakses mengenai rangkaian Fourier dan perubahan Fourier adalah [JAME95].

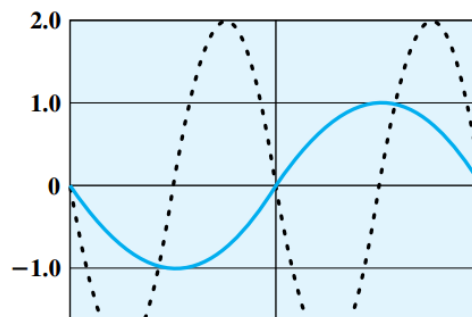
Recommended Web site: Fourier series synthesis: An excellent

3.5 PERMASALAHAN

- 3.1 a. Untuk susunan multipoint, hanya satu perangkat pada waktu yang sama yang dapat melakukan transmisi. Mengapa?
 b. Terdapat dua metode yang memperkuat aturan bahwa hanya satu perangkat yang dapat melakukan transmisi. Pada metode sentralisasi, satu station berada dalam kontrol dan lainnya selain dapat melakukan transmisi juga memungkinkan stasiun lain tertentu agar dapat melakukan transmisi. Adapun pada metode desentralisasi, satu station bekerja sama dalam hal mengambil giliran. Apa yang Anda Lihat sebagai keuntungan dan kerugian dari kedua metode tersebut?
- 3.2 Bunyi dicontohkan sebagai fungsi sinusoidal. Bandingkan dengan frekuensi relative dan wavelength nada musikal. Gunakan 330 m/ s sebagai kecepatan bunyi dan frekuensi berikut untuk skala musikal.

Not	C	D	E	F	G	A	B	C
Frekuensi	264	297	330	352	396	440	495	528

- 3.3 Bila garis lengkung penuh pada Gambar 3.14 melambangkan $\sin(2\pi t)$, apa yang dilambangkan oleh garis lengkung terputus-putus? Garis lengkung terputus-putus dapat dituliskan dalam bentuk $A \sin(2\pi f t + \Psi)$ apa yang dimaksud dengan A, f, dan Ψ .



Gambar 3.14 Gambar untuk Permasalahan 3.3

- 3.4 An unlimited signal periodik hanya memiliki tiga komponen frekuensi: dc, 100 Hz, dan 200 Hz. Dalam bentuk sinus-kosinus,

$$x(t) = 12 + 15 \cos 200\pi t + 20 \sin 200\pi t - 5 \cos 400\pi t - 12 \sin 400\pi t$$
 Butlah pernyataan untuk sinyal dalam bentuk amplitudo/ fase
- 3.5 Sinyal decompose $(1 + 0.1 \cos 5t) \cos 100t$ ke dalam suatu kombinasi fungsi sinusoidal linear, dan temukan amplitudo, frekuensi, dan fase masing-masing komponen. (Petunjuk: gunakan identitas untuk $\cos a \cos b$.)
- 3.6 Temukan perioda fungsi $f(t) = (10 \cos t)^2$
- 3.7 Gambar 3.4 menunjukkan efek komponen harmonik tinggi tereliminasi sebuah squarewave dan hanya memakai a few lower-harmonic components. Sinyalnya akan menyerupai apa pada kasus, yang bertentangan ini (yakni,

- tetap menahan semua harmonik tinggi dan menghilangkan beberapa harmonik rendah)?
- 3.8 Gambar 3.5b menunjukkan fungsi frequency-domain untuk pulsa persegi tunggal. Pulsa tunggal melambangkan digital 1 dalam suatu komunikasi. Patut dicatat bahwa suatu jumlah frekuensi-frekuensi tinggi tak terbatas dari magnitude yang menurun diperlukan untuk menggambarkan pulsa tunggal. Apa implikasi yang muncul untuk sistem transmisi digital riil?
 - 3.9 Kode IRA 7-bit yang memungklnkan 128 karakter dapat ditent-ukan. Pada tahun 1970- an, banyak surat kabar menerima cerita-cerita dari kabel layanan dalam 6-bit kode yang disebut TTS. Kode ini memuat huruf besar dan huruf kecil serta beberapa symbol khusus dan operasi. Rangkaian karakter TTS tertentu memungkinkan lebih dari 100 karakter yang dapat ditentukan. Menurut Anda, bagaimana hal ini bisa dicapai?
 - 3.10 Untuk sebuah sinyal video, apa yang mungkin akan meningkat dalam resolusi horisontal bila dipergunakan suatu bandwidth sebesar 5 MHZ 1? Apa yang mungkin meningkat dalam resolusi vertikal? Bicarakan dua pertanyaan ini secara terpisah; yakni, bandwidth yang meningkat dipergunakan untuk menaikkan baik resolusi horisontal maupun resolusi vertikal, namun tidak untuk menaikkan keduanya.
 - 3.11 a. Anggap saja bahwa suatu gambar TV digital ditransmisikan dari sumber yang mempergunakan suatu matriks sebesar 480 x 500 elemen gambar (pixel), di mana masing-masing pixel dapat memuat salah satu dari ke-32 nilai intensitas. Asumsikan bahwa dalam setiap dapat 30 gambar. (Sumber digital ini secara kasar ekuivalen dengan standar siaran TV yang dipakai). Carilah rate sumber-nya R (bps).
 b. Asumsikan bahwa gambar TV yang ditransmisikan melalui sebuah channel dengan bandwidth sebesar 4,5 MHZ dan berbandingan sinyal terhadap derau 35-dB. Carilah kapasitas channel-nya (bps).
 c. Diskusikan bagaimana parameter tersebut di bagian (a) dapat dimodifikasikan sehingga memungkinkan dilakukannya transmisi sinyal TV berwarna tanpa meningkatkan nilai yang diperlukan untuk R.
 - 3.12 Amplifier dengan temperatur derau efektif sebesar 10.0000 K dan bandwidth 10 MHZ, berapa level derau thermal yang bisa diharapkan pada outputnya?
 - 3.13 Berapa kapasitas channel untuk sebuah channel teleprinter dengan bandwidth sebesar 300 Hz dan perbandingan sinyal-terhadap-derau sebesar 3 dB ?
 - 3.14 Suatu sistem pensinyalan digital diperlukan agar beroperasi pada 9600 bps.
 - a. Bila suatu elemen sinyal memberi kode suatu kata-kata 4 bit, berapa bandwidth minimum yang diperlukan channel-nya?
 - b. B. Ulangi bagian (a) untuk 8 bit kata—kata
 - 3.15 Berapa level derau thermal untuk sebuah channel dengan bandwidth sebesar 10 kHz yang memuat 1000 watt daya dan beroperasi pada 50° C?
 - 3.16 Pelajari hasil karya Shannon dan Nyquist mengenai kapasitas channel. Masing-masing menempatkan batas tertinggi untuk bit rate suatu channel berdasarkan atas dua pendekatan. Bagaimana keterkaitan antara dua pendekatan tersebut?

- 3.17 Suatu channel dengan kapasitas yang dtharapkan sebesar 20 Mbps, bandwidth channel sebesar 3 MHz. Berapa perbandingan sinyal-terhadap-derau yang diperlukan untuk mencapai kapasitas tersebut?
- 3.18 Gelombang persegi pada gambar 3.7c, dengan $T = 1$ ms, disalurkan melewati filter low pass yang meneruskan frekuensi sampai 8 KHz tanpa atenuasi.
- Carilah energi pada bentuk gelombang output.
 - Asumsikan bahwa pada filter input terdapat voltase derau suhu derigan $N_0 = 0,1 \mu \text{ W/Hz}$, tetapkan sinyal output untuk perbandingan derau dalam dB.
- 3.19 Bila level sinyal yang diterima untuk suatu sistem digital khusus adalah -151 dBW dan temperatur derau efektif pada sistem receiver sebesar 1500° K , berapa E/N_0 untuk jalur yang mentransmisikan 2400 bps?
- 3.20 Lengkapi elemen-elemen yang hilang dalam tabel perkiraan perbandingan daya untuk berbagai level dB dibawah ini;

Desibel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kerugian			0.5							0.1
Keuntungan			2							10

- 3.21 Bila sebuah amplifier memiliki bati (gain) voltase sebesar 30 dB, berapa perbandingan voltase yang melambangkan bati tersebut?
- 3.22 Sebuah amplifier memiliki output sebesar 20 W. Berapa output-nya dalam dBW?

LAMPIRAN 3A ANALISIS FOURIER

Dalam lampiran ini, kita memberikan gambaran mengenai konsep kunci dalam Analisis Fourier

Tampilan Periodik Sinyal Rangkaian Fourier

Dengan bantuan sebuah tabel integral yang baik, merupakan higas yang sangat sederhana menentukan sifat frekuensi-domain suatu sinyal. Kita mulai dengan sinyal periodik. Sinyalperiodik apa saja yang digambarkan sebagai jumlah sinusoida, yang disebut sebagai rangkaian Fourier⁹):

$$x(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \cos(2\pi f_t) + B_n \sin(2\pi n f_0 t)]$$

⁹) Para ahli matematika biasanya menulis rangkaian Fourier dan mengubah persamaan dengan menggunakan variabel w_0 yang memiliki dimensi radian per deti, sert dimana $w_0 = 2\pi f_0$. untuk fisik dan teknisnya, dipilih rumus f_0 : dibuat untuk pernyataan yang lebih sederhana dan secara intuitif lebih memuaskan memiliki frekuensi yang dinyatakan dalam Hz dibandingkan dengan radian per detik

di mana f_0 berbanding terbalik dengan periode sinyal ($f_0 = 1/T$). Frekuensi f_0 ditunjukkan sebagai frekuensi dasar atau harmonik dasar; multipel bilangan bulat dan f_0 ditunjukkan sebagai harmonik. Jadi, suatu sinyal periodik dengan periode T terdiri dari frekuensi dasar $f_0 = 1/T$ ditambah integer multipel dan frekuensi tersebut. Bila $A_0 \neq 0$ maka $x(t)$ memiliki sebuah komponen dc.

Nilai-nilai koefisien yang dikalkulasikan adalah sebagai berikut:

$$A_0 = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) dt$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos(2\pi n f_0 t) dt$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin(2\pi n f_0 t) dt$$

Hal ini membentuk gambaran yang disebut sebagai tampilan sinus-kosinus, yakni merupakan bentuk termudah untuk menghitung, namun menghadapi kenyataan bahwa terdapat dua komponen pada setiap frekuensi. Tampilan yang lebih berarti lagi, representasi amplitudo-fase, mengambil bentuk.

$$x(t) = \frac{C_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(2\pi n f_0 t + \theta_n)$$

Hal ini berhubungan dengan tampilan sebelumnya yakni

$$C_0 = A_0$$

$$C_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$$

$$\theta_n = \tan^{-1} \left(\frac{-B_n}{A_n} \right)$$

Contoh-contoh dan rangkaian Fourier untuk sinyal periodik ditunjukkan dalam gambar 3.17

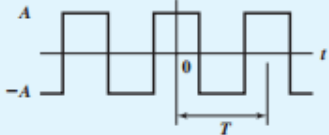
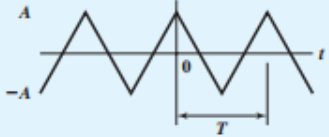
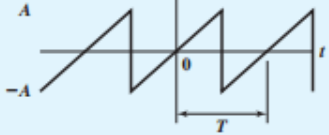
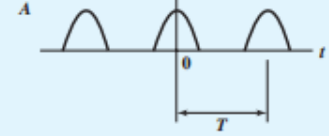
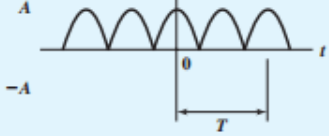
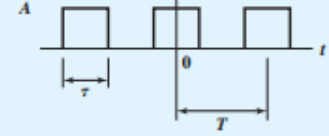
Tampilan Transformasi Fourier untuk Sinyal Tidak Periodik

Untuk suatu sinyal periodik, kita telah melihat bahwa spektrumnya terdiri dari komponen-komponen frekuensi diskrit, pada frekuensi dasarnya serta pada harmoniknya. Untuk suatu sinyal tidak periodik, spektrum terdiri dari rangkaian kesatuan frekuensi. Spektrum ini dapat ditentukan melalui transformasi Fourier. Untuk sebuah sinyal $x(t)$ dengan suatu spektrum $X(f)$, didapatkan hubungan seperti berikut ini:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) e^{j2\pi f t} df$$

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi f t} dt$$

Dimana $j = \sqrt{-1}$ Tampilan sebuah angka imajiner pada persamaan merupakan hal-hal yang berkaitan dengan kepatutan. Komponen imajiner memiliki interpretasi fisik yang harus

Signal	Fourier Series
Square wave 	$\left(\frac{4A}{\pi} \right) \times \left[\cos(2\pi f_1 t) - \frac{1}{3} \cos(2\pi(3f_1)t) + \frac{1}{5} \cos(2\pi(5f_1)t) - \frac{1}{7} \cos(2\pi(7f_1)t) + \dots \right]$
Triangular wave 	$C_0 = 0$ $C_n = 0 \quad \text{for } n \text{ even}$ $C_n = \frac{8A}{(n\pi)^2} \quad \text{for } n \text{ odd}$
Sawtooth wave 	$A_0 = 0$ $A_n = 0 \quad \text{for } n \text{ even}$ $B_n = -(-1)^{n/2} \times (2A/\pi n)$
Half-wave rectified cosine 	$C_0 = 2A/\pi$ $C_n = 0 \text{ for } n \text{ odd}$ $C_n = (2A/\pi) \times (-1)^{(1+n/2)} \times (2/(n^2 - 1)) \text{ for } n \text{ even}$
Full-wave rectified cosine 	$C_0 = 4A/\pi$ $C_n = (4A/\pi) \times (-1)^n \times (1/(4n^2 - 1))$
Pulse train 	$C_n = (2A\tau/T) \times \sin(n\pi\tau/T)/(n\pi\tau/T)$

Gambar 3.17 Beberapa Sinyal Periodik Biasa Dan Rangkaian Fouriernya

dilakukan dengan fase-fase suatu bentuk gelombang, dan pembahasan mengenai topik ini jauh melampaui jangkauan buku ini.

Gambar 3.18 menampilkan beberapa contoh pasangan transformasi Fourier.

Kerapatan Power Spektral dan Bandwidth

Bandwidth mutlak dan sinyal waktu terbatas sangatlah terbatas. Bagaimanapun juga, dalam istilah praktisnya, sebagian besar daya pada suatu sinyal dipusatkan dalam beberapa band yang terbatas, serta bandwidth efektifnya terdiri dari bagian-bagian spektrum tersebut yang memuat sebagian besar daya. Agar konsep ini lebih sesuai, kita perlu menentukan Power Spectral Density (PSD). Pada pokoknya, PSD menggambarkan muatan daya sebuah sinyal sebagai suatu fungsi frekuensi, sehingga bisa menunjukkan berapa banyak daya yang dihasilkan sepanjang band frekuensi yang beragam.

Pertama, kita mengamati daya dalam domain waktu. Fungsi $x(t)$ biasanya menentukan sebuah sinyal baik dalam hal voltase maupun arus. Pada salah satu kasus, daya saat itu dalam sinyal proporsional terhadap $|x(t)|^2$. Kita tentukan daya rata-rata sebuah sinyal yang dibatasi oleh waktu sebagai

$$P = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} |x(t)|^2 dt$$

Untuk suatu sinyal periodik, daya rata-rata dalam satu periode adalah

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)|^2 dt$$

Kita ingin mengetahui penyebaran daya sebagai suatu fungsi frekuensi. Untuk sinyal periodik, hal ini dinyatakan dengan mudah dipandang dari segi koefisien rangkaian Fourier eksponen. Power spektral density $S(f)$ menurut

$$S(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |C_n|^2 \delta(f - nf_0)$$

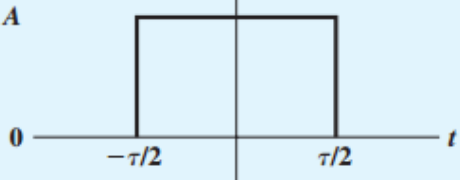
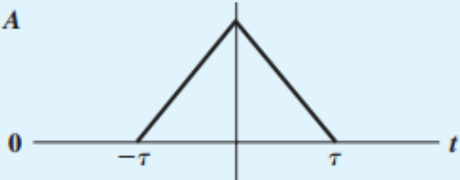
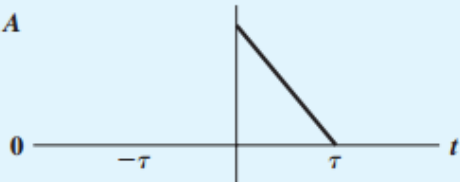
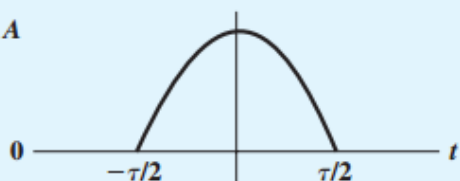
Di mana f_0 adalah kebalikan dari periode sinyal ($f_0 = 1/T$), C adalah koefisien dalam tampilan fase-amplitudo dan suatu rangkaian Fourier, dan $\delta(t)$ adalah satuan impuls, atau delta, fungsi, ditetapkan sebagai

$$\delta(t) = \begin{cases} 0 & \text{if } t \neq 0 \\ \infty & \text{if } t = 0 \end{cases}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1$$

Power spektral density $S(f)$ untuk fungsi-fungsi tidak periodik lebih sulit ditentukan. Pada pokoknya, hal itu diperoleh dengan cara menentukan suatu 'periode' T_0 dan memungkinkan T_0 meningkat tanpa batas.

Untuk suatu fungsi kontinu $S(f)$, daya dimuat dalam suatu band frekuensi, $f_1 < f < f_2$

Signal $x(t)$	Fourier Transform $X(f)$
Rectangular pulse 	$A\tau \frac{\sin(\pi f\tau)}{\pi f\tau}$
Triangular pulse 	$A\tau \left(\frac{\sin(\pi f\tau)}{\pi f\tau} \right)^2$
Sawtooth pulse 	$(jA/2\pi f) \times \{[(\sin \pi f\tau)/\pi f\tau] \exp(-j\pi f\tau) - 1\}$
Cosine pulse 	$\frac{2A\tau}{\pi} \times \frac{\cos(\pi f\tau)}{1 - (2f\tau)^2}$

Gambar 3.18 Beberapa Sinyal Aperiodik Biasa Dan Rangkaian Fouriernya

$$P = 2 \int_{f_1}^{f_2} S(f) df$$

$$P = \frac{1}{4} C_0^2 + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^j C_n^2$$

Untuk suatu bentuk gelombang periodik, daya sepanjang harmonik j pertama adalah

Dengan konsep-konsep ini, sekarang kita dapat menentukan bandwidth half-power, yang mungkin merupakan definisi bandwidth yang paling umum. Bandwidth Half power adalah interval di antara frekuensi-frekuensi di mana $S(f)$ turun separo dan nilai maksimumnya, atau 3 dB di bawah nilai puncak.

LAMPIRAN 3B DESIBEL DAN KEKUATAN SINYAL

Suatu parameter penting dalam suatu sistem transmisi adalah kekuatan sinyal. Saat sebuah sinyal menyebar sepanjang media transmisi, akan ada suatu kerugian, atau atenuasi, pada kekuatan sinyal. Terjadi kerugian tambahan pada tap dan splitter. Untuk mengimbangnya, amplifier diselipkan pada beberapa titik agar mendapat tambahan kekuatan sinyal.

- ❑ Kerugian, kekurangan, dan level relatif biasanya dinyatakan dalam decibel, karena kekuatan sinyal sering merosot secara logaritmik, sehingga kerugian dengan mudah dinyatakan dalam desibel, yang juga merupakan satuan logaritmik.
- ❑ Keuntungan bersih dalam suatu jalur transmisi yang menurik turun dikalkulasikan dengan penambahan dan pengurangan sederhana.

Desibel merupakan suatu ukuran perbandingan diantara dua level sinyal:

$$N_{db} = 10 \log_{10} \frac{p_2}{p_1}$$

Dimana

- NdB = jumlah desibel
- P1 = input power level
- P2 = output power level
- Log₁₀ = logaritma untuk berbasis 10 (mulai sekarang kita akan menyederhanakan penggunaan log ke rerata log₁₀)

Tabel 3.4 menunjukkan keterkaitan antara nilai-nilai desibel dengan daya sebesar 10.

Contoh

Bila sebuah sinyal dengan level tenaga sebesar 10 mW diselipkan ke suatu jalur transmisi dan daya untuk suatu jarak yang terukur adalah sebesar 5 mW, kerugiannya dapat

Tabel 3.4 Nilai Desibel

Power Ratio	dB	Power Ratio	dB
10^1	10	10^{-1}	-10
10^2	20	10^{-2}	-20
10^3	30	10^{-3}	-30
10^4	40	10^{-4}	-40
10^5	50	10^{-5}	-50
10^6	60	10^{-6}	-60

dinyatakan sebagai

$$N_{db} = 10 \log\left(\frac{5}{10}\right) = 10(-0.3) = -3dB$$

Patut dicatat bahwa desibel merupakan suatu ukurari relatif, dan bukannya mutlak, jadi dapat berubah. Kerugian dañ 1000 mW menjadi 500 mW juga berarti kerugian sebesar 3 dB. Karena itu, kerugian 3 dB membagi level tenaga menjadi dua; keuntungan sebesar 3 dB melipatgandakan daya.

Desibel juga dipergunakan untuk mengukur perbedaan voltase, derigan mempertimbangkan bahwa daya cukup proporsional terhadap kuadrat voltase:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Dimana

P = daya yang dihilangkan sepanjang tahanan R

V = voltase sepanjang tahanan R

Jadi,

$$L_{dB} = 10 \log \frac{P_{in}}{P_{out}} = 10 \log \frac{V_{in}^2/R}{V_{out}^2/R} = 20 \log \frac{V_{in}}{V_{out}}$$

Contoh

Desibel bermanfaat dipergunakan untuk menentukan keuntungan dan kerugian terhadap serangkaian elemen-elemen transmisi. Dengan mempertirnbangkan suatu rangkaian di mana input berada pada suatu level tenaga sebesar 4 mW, elemen pertamanya adalah suatu jalar transmisi dengan suatu kerugian sebesar 12 dB (42 dB), elemen keduanya adalah amplifier dengan keuntungan sebesar 35 dB, sedangkan elemen ketiganya adalah jalur transmisi dengan kerugian sebesar 10 dB. Keuntungan dan kerugian bersihnya adalah (-12+35-10) = 13 dB. Untuk mengkalkulasikan output daya P₂,

$$13 = 10 \log\left(\frac{P_2}{4mW}\right)$$

$$P_{out} = 4 \times 10^{1.3} mW = 79,8 mW$$

Nilai-nilai desibel menunjuk pada magnitudo relatif atau perubahan-perubahan dalam magnitudo, tidak untuk level mutlak. Baik sekali karena mampu mengarah pada suatu level tenaga mutlak atau voltase dalam desibel sehingga

keuntungan dan kerugian dengan menunjuk pada sinyal level pertama yang dapat dikalkulasikan dengan mudah. Jadi, beberapa unit yang telah diperoleh sudah umum dipergunakan.

DBW (desibel-watt) dipergunakan secara luas untuk aplikasi-aplikasi gelombang radio sebesar 1 W terpilih sebagai referensi dan ditentukan sebagai 0 dBW. Level tenaga untuk mutlak desibel dalam dBW ditetapkan sebagai

$$\text{Power}_{\text{dBW}} = 10 \log \frac{\text{Power}_W}{1 \text{ W}}$$

Contoh

Suatu daya sebesar 1000W sama dengan 30 dBW dan daya sebesar 1 mW sama dengan -30 dBW.

Suatu unit yang sudah biasa dipergunakan untuk aplikasi-aplikasi televisi kabel dan broadband LAN adalah dBmV (desibel-milivolt). Ini merupakan satuan mutlak dengan 0 dBmV ekuivalen dengan 1 mV. Sehingga

$$\text{Voltage}_{\text{dBmV}} = 20 \log \frac{\text{Voltage}_{\text{mV}}}{1 \text{ mV}}$$

Dalam hal ini, level voltase diasumsikan melintasi sebuah tahanan 75 ohm.

B_{AB} 4

MEDIA TRANSMISI

- 4.1 Media Transmisi Guided**
 - Twisted Pair
 - Coaxial Cable
 - Serat Optik
- 4.2 Transmisi Data Digital dan Analog**
 - Gelombang Mikro Terrestrial
 - Gelombang Mikro Satelit
 - Radio Broadcast
 - Infra Merah
- 4.3 Bacaan yang disarankan Web**
- 4.4 Permasalahan**

NOVI ERFIANI	4103141004
RATNA NUHA GM	4103141017
CATUR PUTRI INDRIYANI	4103141038

Dalam suatu sistem transmisi data, media transmisi merupakan jalur fisik di antara transmitter dan receiver. Media transmisi untuk gelombang elektromagnetik dibedakan menjadi dua yaitu Guided dan Unguided. Pada media guided, gelombang dipandu di sepanjang media yang secara fisik medianya sendiri tampak kasat mata, misalnya twisted pair tembaga, coaxial cable tembaga, dan serat optic. Atmosfer dan ruang angkasa adalah contoh-contoh untuk media unguided, yang berlaku sebagai media untuk mentransmisikan gelombang elektromagnetik namun tidak memandunya sekalian; bentuk transmisi semacam ini tak memerlukan kabel sebagai penghantarnya.

Karakteristik dan mutu suatu transmisi data ditentukan oleh dua hal yaitu karakteristik media dan karakteristik sinyal. Untuk media guided, media itu sendiri menjadi lebih penting dalam penentuan batasan-batasan transmisi.

Untuk media unguided, karakteristik transmisi lebih ditentukan oleh kualitas sinyal yang dihasilkan melalui antenna transmisi dibandingkan oleh medianya sendiri. Satu sifat kunci dari sinyal bertransmisi antenna adalah terarah. Umumnya, sinyal-sinyal pada frekuensi yang lebih rendah berarah ke mana-mana; yakni, dari antenna sinyal-sinyal disebarkan ke segala penjuru. Pada frekuensi yang lebih tinggi, sangatlah mungkin untuk memfokuskan sinyal menjadi suatu berkas langsung (directional beam).

Dengan mempertimbangkan desain sistem transmisi data, perhatian ditekankan pada rate data dan jarak. Semakin besar rate data dan jarak, maka akan semakin baik. Sejumlah factor-faktor perancangan yang berkaitan dengan media transmisi dan sinyal yang menentukan rate data dan jarak adalah :

❑ **Bandwith**

Selama faktor yang lain tetap konstan, maka semakin besar bandwith sebuah sinyal, akan semakin tinggi rate data yang diperoleh

❑ **Gangguan transmisi**

Gangguan, seperti misalnya, antenuasi, membatasi jarak. Untuk media guided, biasanya twisted pair lebih sering mengalami gangguan dibandingkan coaxial cable, demikian pula dengan coaxial cable akan lebih terganggu dibandingkan dengan serat optic

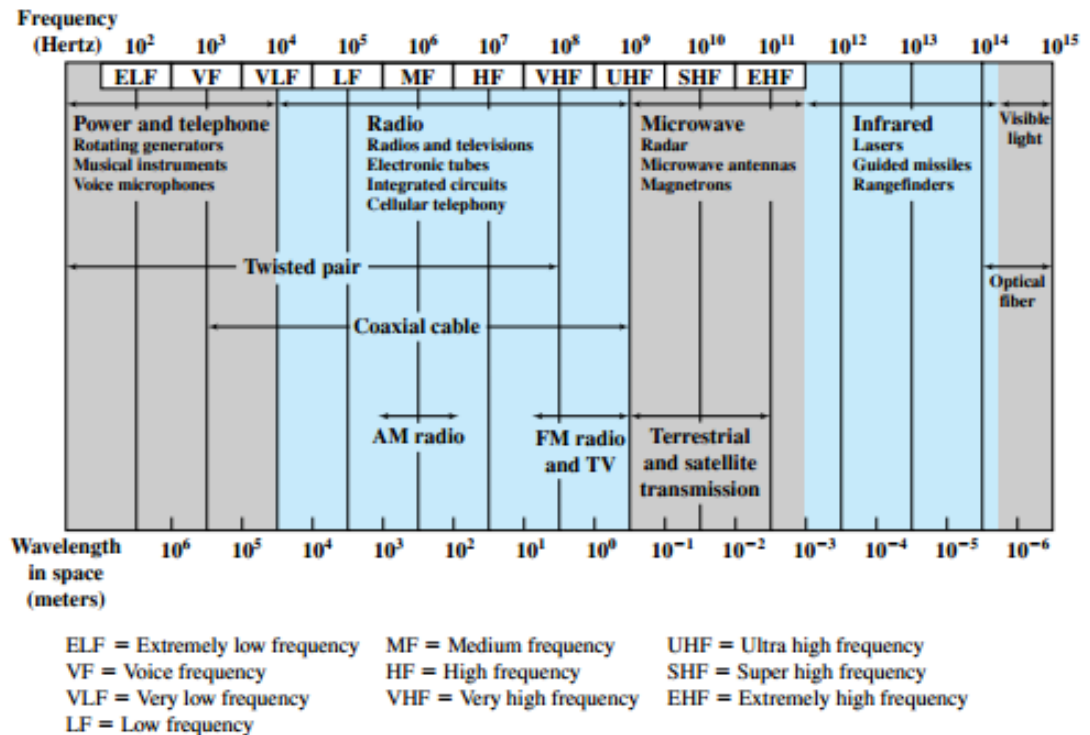
❑ **Interferensi**

Interferensi dari sinyal-sinyal yang berkompetisi dalam band frekuensi yang saling tumpang tindih dapat mengubah atau menghapuskan sinyal. Interferensi menjadi perhatian khusus untuk media unguided, namun bagi media guided interferensi juga menjadi masalah. Untuk media guided, interferensi dapat disebabkan karena emanasi yang keluar dari kabel-kabel yang berdekatan. Sebagai contoh, twisted pair sering membundel menjadi satu dan beberapa pipa yang mengandung kabel multiple. Interferensi juga dapat dialami oleh transmisi unguided. Pelindung yang ada pada suatu media guided bisa meminimalkan problem ini.

❑ **Jumlah receiver**

Sebuah media guided bisa dipergunakan untuk membangun suatu hubungan titik ke titik atau hubungan terbagi pada alat-alat tambahan. Pada kasus berikutnya, masing-masing alat tambahan akan memunculkan beberapa antenuasi dan distorsi dengan segera, serta membatasi jarak dan/atau rate data

Gambar 4.1 menggambarkan spektrum elektromagnetik dan menampilkan frekuensi-frekuensi pada tempat dimana berbagai teknik transmisi dan media



Gambar 4.1 : Spektrum Elektromagnetik untuk telekomunikasi

guided beroperasi. Di bab ini kita menguji alternatif-alternatif guided dan unguided.

Pada semua kasus, kita menggambarkan sistem secara fisik, membahas aplikasi sekilas, dan meringkas karakteristik-karakteristik kunci transmisi.

4.1 MEDIA TRANSMISI GUIDED

Untuk media transmisi guided, kapasitas transmisi, baik dalam hal rate data maupun bandwidth, sangat tergantung pada jarak dan sistem transmisi medianya dari titik ke titik ataukah multititik, seperti misalnya dalam suatu Local Area Network (LAN). Tabel 4.1 menunjukkan karakteristik-karakteristik khusus untuk guided media biasa untuk aplikasi titik ke titik jarak jauh.

Tiga guided media yang umumnya dipergunakan untuk transmisi data adalah Twisted pair, coaxial cable, dan serat optik (gambar 4.2). Kita bahas masing-masing dari ketiganya satu persatu.

1. Twisted Pair

Twisted pair adalah media transmisi guided yang paling hemat dan paling banyak digunakan.

A. Deskripsi Fisik

Sebuah twisted pair terdiri dari kawat yang disekat yang disusun dalam suatu pola spiral beraturan. Sepasang kawat bertindak sebagai satu jalur komunikasi tunggal. Biasanya, beberapa pasangan kawat tersebut dibundek menjadi satu kabel dengan cara dibungkus dalam sebuah sarung pelindung yang keras. Pada jarak yang sangat jauh, kabel berisikan ratusan pasang kawat. Penggulungan cenderung meningkatkan interferensi crosstalk. Pada jalur jarak-jauh, panjang gulungan biasanya bervariasi dari 5 sampai 15 cm. kabel yang slaing berpasangan memiliki tingkat ketebalan mulai dari 0,4 sampai 0,9mm.

B. Aplikasi

Media transmisi yang paling umum untuk sinyal analog dan sinyal digital adalah twisted pair. Yang juga merupakan media yang paling banyak digunakan dalam jaringan telepon serta bertindak sebagai 'penopang' untuk komunikasi didalam suatu bangunan gedung.

Tabel 4.1 Karakteristik Transmisi Titik ke titik dari Guided Media [GLOV 98]

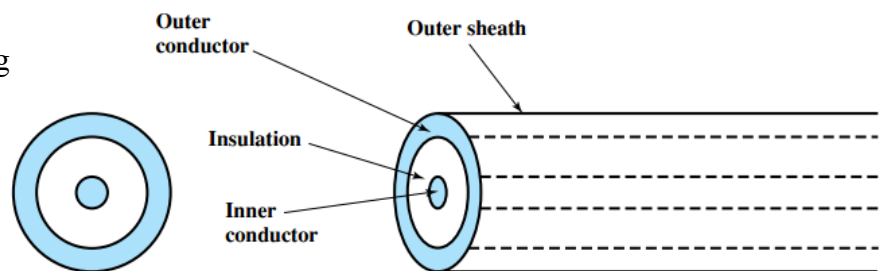
	Rentang Frekuensi	Atenuasi Khusus	Delay Khusus	Jarak Repater
Twisted pair (dengan koding)	0 to 3.5 kHz	0.2 dB/km @ 1 kHz	50 μ s/km	2 km
Twisted pair (kabel multi-pair)	0 to 1 MHz	3 dB/km @ 1 kHz	5 μ s/km	2 km
Coaxial Cable	0 to 500 MHz	7 dB/km @ 10 MHz	4 μ s/km	1 to 9 km
Serat Optik	180 to 370 THz	0.2 dB to 0.5 dB/km	5 μ s/km	40 km



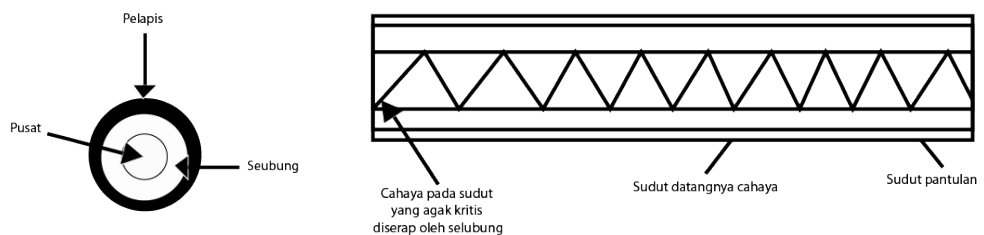
(a) Twisted Pair

- ☐ Disekat secara terpisah
- ☐ Digulung bersama-sama
- ☐ Seringnya membundel didalam kabel
- ☐ Biasanya diapsang didalam gedung yang masih dalam taraf pembangunan

- ☐ Penghantar terluar diberi pelindung
- ☐ Penghantar bagian dalam berupa logam padat
- ☐ Dipisahkan oleh bahan penyekat
- ☐ Ditutupi dengan lapisan



(b) Coaxial Cable



(c) Serat Optik

- ☐ Inti dibuat dari plastic atau kaca
- ☐ Laser atau LED
- ☐ Selubung yang dirancang khusus
- ☐ Bobot dan ukuran kecil

Gambar 4.2 Media Transmisi Guided

Pada sistem telepon, rangkaian telepon rumah pribadi dihubungkan dengan 'Kantor Telekomunikasi' melalui kabel twisted pair. Hal ini menunjuk pada sirkulasi pelanggan. Di dalam suatu bangunan kantor, setiap telepon dihubungkan dengan sebuah twisted pair, yang terkoneksi pada sistem in-house Private Branch Exchange (PBX) atau menuju fasilitas sentral pada kantor

Twisted pair juga merupakan media yang paling umum dipergunakan untuk pensinyalan digital. Untuk koneksi terhadap sebuah digital data switch atau digital PBX didalam gedung, umumnya rate data-nya sebesar 64 kbps. Twisted pair juga paling banyak dipergunakan didalam sebuah gedung untuk Local Area Network yang mendukung computer pribadi. Rate data untuk produk-produk semacam itu biasanya berkisar 10 Mbps. Saat ini sedang dikembangkan jaringan twisted pair dengan rate data sebesar 100 Mbps sampai 1 Gbps, meskipun jumlah erangkat dan jangkauan jaringan secara geografis. Untuk aplikasi jarak-jauh, twisted pair dapat digunakan dengan rate data sebesar 4 Mbps atau lebih.

Twisted pair tidak terlalu memakan biaya bila dibandingkan dengan media transmisi guided lainnya (coaxial cable atau serat optic). Selain itu twisted pair paling mudah dioperasikan, meski lebih terbatas terutama dalam hal rate data dan jarak.

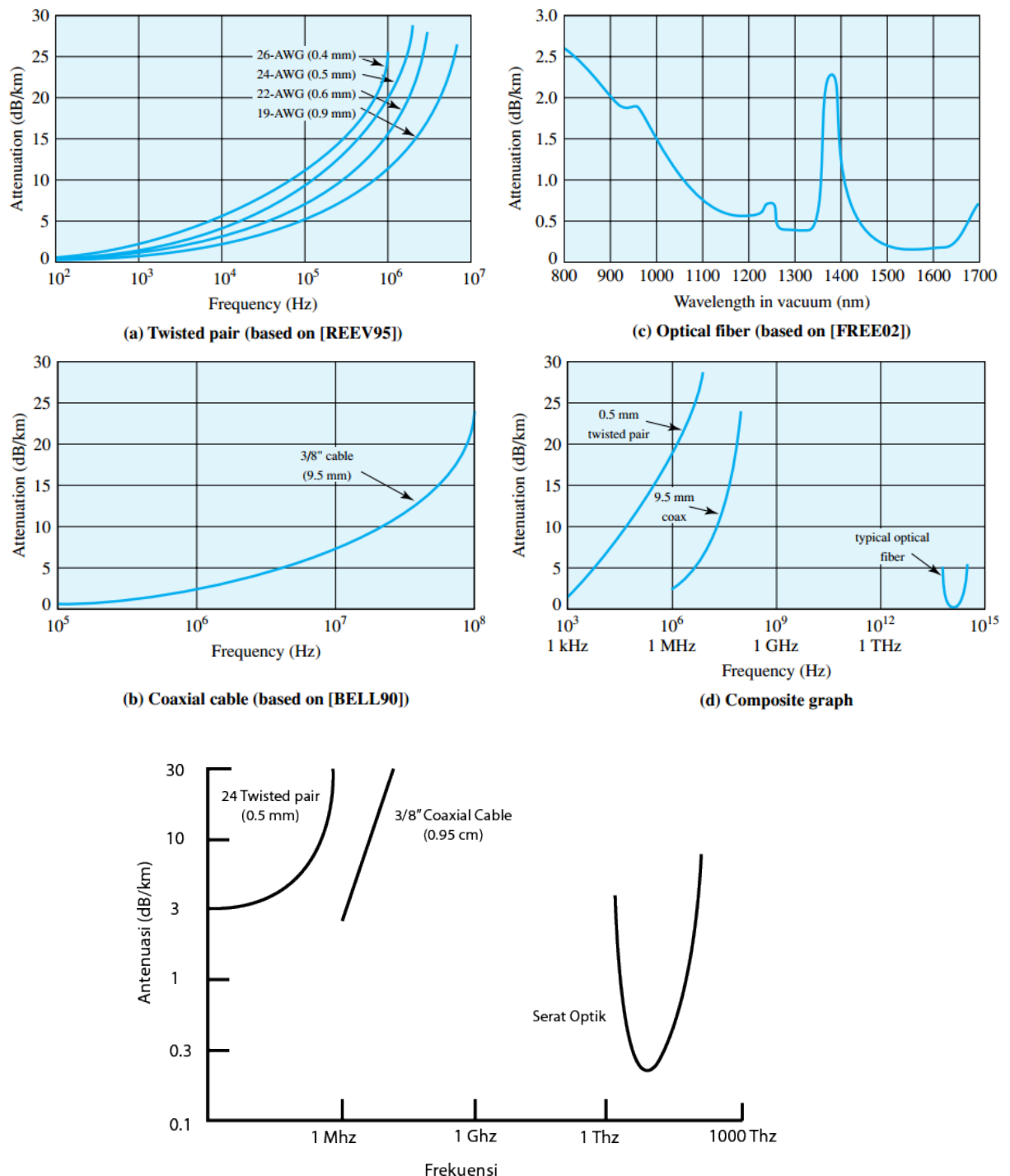
C. Karakteristik-karakteristik Transmisi

Twisted pair dapat dipergunakan untuk mentransmisikan transmisi analog dan digital. Untuk sinyal analog, diperlukan amplifier kira-kira setiap 5 sampai 6 km. Untuk transmisi digital (baik menggunakan sinyal analog maupun sinyal digital), diperlukan sebuah repeater kira-kira setiap 2 atau 3 km.

Dibandingkan dengan media transmisi lain yang juga dapat digunakan (coaxial cable, serat optic), twisted pair terbatas dalam hal jarak, bandwidth, dan rate data. Sebagaimana yang ditampilkan dalam Gambar 4.3, atenuasi untuk twisted pair merupakan fungsi frekuensi yang sangat kuat. Gangguan-gangguan lainnya juga muncul pada twisted pair. Media ini benar-benar rentan terhadap interferensi dan derau, karena sifatnya yang sangat mudah terkontaminasi oleh medan elektromagnetik. Sebagai contoh, sebuah kawat dipasang paralel terhadap suatu ac power line yang akan menangkap energy sebesar 60 Hz. Derau impuls juga dapat masuk dengan mudah ke dalam twisted pair. Untuk mengurangi gangguan diambil beberapa tindakan, misalnya melindungi kabel dengan pelindung metalik atau

dengan jalan dilapisi, agar interferensi berkurang. Pemilihan kabel juga dapat mengurangi interferensi frekuensi rendah sedangkan penggunaan panjang twist tertentu pada pasangan yang saling berdekatan juga bisa mengurangi crosstalk.

Untuk pensinyalan analog titik ke titik, kemungkinann bandwith bisa mencapai 1 MHz. Hal ini menghasilkan sejumlah channel suara. Untuk pensinyalan digital titik-ke-titik jarak-jauh, rate data bisa mencapai beberapa Mbps; sedangkan untuk jarak yang sangat pendek, rate data sebesar 100 Mbps dan 1 Gbps bisa dicapai pada produk-produk yang tersedia secara komersial.



Gambar 4.3 Atenuasi Guided Media Khusus

D. Unshielded dan Shielded Twisted Pair

Twisted pair memiliki dua jenis yaitu unshielded dan shielded. Unshielded twisted pair (UTP) berupa kabel telepon biasa. Pada umumnya di perkantoran menggunakan kabel unshield twisted pair lebih banyak dibandingkan di rumah atau telepon sederhana.

Unshielded twisted pair adalah subyek untuk interferensi elektromagnetik eksternal, meliputi interferensi dari twisted pair yang berdekatan dan dari derau yang muncul dari lingkungan sekitar. Salah satu cara untuk meningkatkan karakteristik media ini adalah dengan melapisi twisted pair dengan suatu pelindung metalik atau dengan melapisinya agar bisa mengurangi interferensi. Shielded twisted pair (STP) memiliki kinerja yang lebih baik pada rate data yang lebih tinggi. Namun shielded twisted pair sedikit lebih mahal dan tidak mudah dioperasikan dibanding unshielded twisted pair.

E. UTP Kategori 3 dan Kategori 5

Sebagian besar bangunan kantor berkabel dengan kabel twisted pair type 100 ohm untuk keperluan suara. Merupakan alternatif yang menarik untuk digunakan sebagai media LAN dengan menginstall twisted pair derajat suara. Sayangnya, rate data dan jarak yang mampu dicapai dengan twisted pair derajat suara sangat terbatas.

Pada tahun 1991, Electronic Industries Association yang menerbitkan standar EIA-568, "Commercial Building Telecommunications Cabling Standard", yang menetapkan penggunaan Unshielded Twisted Pair serta Shielded Twisted Pair untuk aplikasi data dalam gedung. Pada waktu itu, spesifikasinya dirasakan cukup memadai untuk rentang frekuensi dan rate data yang diperlukan dilingkungan kantor. Setelah itu, perhatian utama untuk rancangan LAN berada pada rentang rate data dari 1 Mbps. Berturut-turut, saat user berpindah ke unjuk kerja aplikasi dan workstation yang lebih tinggi, perhatian mulai ditingkatkan pada upaya penyediaan LAN yang dapat beroperasi sampai 100 Mbps dengan kabel yang tidak terlalu mahal. Untuk menjawab kebutuhan ini, EIS-568 A dikeluarkan tahun 1995. Standar yang baru itu memiliki kelebihan dalam hal desain konektor dan kabel serta metode-metode pengujiannya. Dimana standar

yang baru itu melindungi shielded twisted pair 150-ohm dan unshielded twisted pair 100-ohm.

EIA-568-A menetapkan tiga kategori dalam hal pengkabelan UTP :

- ❑ Kategori 3 :
Kabel-kabel UTP dan sejenisnya menghubungkan hardware yang karakteristik transmisinya ditetapkan sampai 16 MHz
- ❑ Kategori 4 :
Kabel-kabel UTP dan sejenisnya menghubungkan hardware yang karakteristik transmisinya ditetapkan sampai 20 MHz
- ❑ Kategori 5 :
Kabel-kabel UTP dan sejenisnya menghubungkan hardware yang karakteristik transmisinya ditetapkan sampai 100 MHz

Dari semuanya itu, kabel kategori 3 dan 5 lah yang paling banyak mendapat perhatian untuk aplikasi LAN. Kategori 3 berhubungan dengan kabel derajat suara sering ditemukan disebagian besar bangunan kantor. Pada jarak yang terbatas, serta dengan desain yang tepat, rate data samapi sebesar 16 Mbos bisa dicapai dengankabel ketgori 3 tersebut. Sedangkan ketgori 5 adalah kabel derajat data yang menjadi umum dipergunakna untuk pra-instalasi suatu bangunan kantor baru. Dengan jarak terbatas dan desain yang tepat, kabel kategori 5 ini mampu mencapai rate data sampai 100 Mbps.

Perbedaan pokok antara kabel kategori 3 dan kategori 5 adlah pada jumlah pesangan pada kabel per satuan jarak. Kategori 5 merupakan jalinan lebih rapat, dengan panjang jalinan khusus sebesar 0,6 dan 0,85 cm, dibandingkan dengan kategori 5 yang panjangnya 7,5 samapi 10 cm. kategori 5 yang jalinannya lebih rapat lebih mahal namun memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan kategori .

Tabel 4.2 Perbandingan antar Shielded dan Unshielded Twisted Pair

Frekuensi (MHz)	Atenuasi (dB per 100 m)			Near-end Crosstalk (dB)		
	Kategori 3 UTP	Kategori 5 UTP	150-ohm STP	Kategori 3 UTP	Kategori 5 UTP	150-OHM STP
1	2,6	2	1,1	41	62	58
4	5,6	4,1	2,2	32	53	58
16	13,1	8,2	4,4	23	44	50,4
25	-	10,4	6,2	-	41	47,5
100	-	22	12,3	-	32	38,5
300	-	-	21,4	-	-	31,3

Tabel 4.2 meringkas untuk kinerja UTP kategori 3 dan 5, serta STP yang ditetapkan dalam EIA 568A. PArparameter pertama yang dipergunakan untuk membandingkan, yaitu antenuasi, benar-benar jelas. Kekuatan sinyal berkurang

tergantung pada jarak media transmisi. Untuk attenuasi media guided, biasanya bersifat logaritmik dan dinyatakan sebagai jumlah konstanta decibel per satuan jarak.

Near end crosstalk yang diterapkan untuk pengkabelan twisted pair adalah pengkopelan satu sinyal dari sepasang konduktor ke pasangan yang lain. Konduktor ini dapat berupa pin metal dalam suatu konektor atau pasangan kawat didalam sebuah kabel. Ujung besar menunjuk pada pengkopelan yang dilakukan saat sinyal transmit memasuki penghubung ganda kembali ke pasangan konduktor penerima pada akhir jalur yang sama. (misalnya, sinyal yang ditransmisikan dibawa oleh pasangan penerima).

Sejak publikasi EIA-568-A, telah ada pekerjaan yang sedang berlangsung di pengembangan standar untuk bangunan kabel, didorong oleh dua hal. Pertama, Spesifikasi Ethernet Gigabit membutuhkan definisi parameter yang tidak ditentukan sepenuhnya dalam standar kabel diterbitkan. Kedua, ada keinginan untuk menentukan kinerja kabel ke tingkat yang lebih tinggi, yaitu Ditingkatkan Kategori 5 (Cat 5E), Kategori 6, dan 7. Kategori Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Kategori dan Golongan Twisted Pair

	Kategori 3 Kelas C	Kategori 5 Kelas D	Kategori 5E	Kategori 6 Kelas E	Kategori 7 Kelas F
Bandwidth	16 MHz	100 MHz	100 MHz	200 MHz	600 MHz
Cable Type	UTP	UTP/FTP	UTP/FTP	UTP/FTP	SSTP
Link Cost (Cat 5 = 1)	0.7	1	1.2	1.5	2.2

UTP = Unshielded Twisted Pair

FTP = Foil Twisted Pair

SSTP = Shielded Screen Twisted Pair

2. Coaxial Cable

A. Deskripsi Fisik

Coaxial cable seperti halnya dengan twisted pair terdiri dari dua konduktor, namun disusun berlainan untuk mengatur pengoperasiannya melalui jangkauan frekuensi yang lebih luas. Terdiri dari konduktor silindris yang mengelilingi suatu kawat konduktor dalam tunggal (gambar 4.2 b). konduktor bagian dalam dibungkus baik dengan konduktor kawat jarring maupun peneyekat dalam. Konduktor terluar dilindungi oleh suatu selubung atau pelindung. Sebuah coaxial cable tunggal memiliki diameter mulai dari 1 sampai 2,5 cm. karena perlindungan ini, dengan konstruksi berbentuk melingkar, coaxial cable menjadi tahan terhadap interferensi dan crosstalk dibandingkan twisted pair. Coaxial cable juga dapat

dipergunakan untuk jarak yang lebih jauh dan mampu mendukung beberapa station dalam sebuah jalur dipakai banyak user dibanding twisted pair.

B. Aplikasi

Coaxial cable mungkin merupakan media transmisi yang paling bermanfaat untuk segala macam keperluan serta dapat dipergunakan untuk berbagai jenis aplikasi. Aplikasi yang terpenting adalah sebagai berikut :

- ☐ Distribusi siaran televisi
- ☐ Transmisi telepon jarak jauh
- ☐ Penghubung sistem computer jangkauan pendek
- ☐ Local area network

Coaxial cable berkembang cepat sebagai alat untuk mendistribusikan sinyal-sinyal TV ke rumah-rumah TV kable. Awalnya masih sederhana sekali sebagai Community Antenna Television (CATV), dan dirancang untuk daerah-daerah yang luas, sehingga TV berkable mampu menjangkau rumah-rumah dan gedung-gedung sama seperti jangkauan telepon. Sebuah sistem TV berkabel mampu memuat lusinan bahkan ratusan channel TV samapai jarak puluhan kilometer.

Coaxial cable merupakan bagian penting dalam jaringan telepon jarak jauh. Saat ini, coaxial cable mulai disaingi oleh serat optik, gelombang mikro terestrial, dan satelit. Dengan menggunakan Frequency-Division Multiplexing (FDM, lihat Bab 8), sebuah coaxial cable mampu memuat 10.000 channel suara secara serentak.

Coaxial cable sering dipergunakan untuk koneksi jarak dekat di antara peralatan-peralatan. Dengan menggunakan persinyalan digital, coaxial cable dipergunakan untuk menyediakan channel I/O berkecepatan tinggi pada sistem computer

C. Karakteristik-Karakteristik Transmisi

Coaxial cable dipergunakan untuk mentransmisikan baik sinyal analog maupun digital. Sebagaimana yang bisa kita lihat di Gambar 4.3, coaxial cable memiliki karakteristik frekuensi yang jauh lebih baik dibanding karakteristik twisted pair karenanya mampu digunakan dengan efektif pada rate data dan frekuensi yang lebih tinggi. Karena berpelindung dan memiliki konstruksi melingkar, coaxial cable tahan terhadap interferensi dan crosstalk dibanding twisted pair. Gangguan-gangguan utama terhadap kinerja coaxial cable biasanya berupa atenuasi, derau suhu, dan derau intermodulasi. Derau intermodulasi hanya muncul bila beberapa channel (FDM) atau frekuensi band digunakan pada kabel itu.

Untuk transmisi sinyal analog jarak jauh, diperlukan amplifier setiap beberapa kilometer, diperlukan jarak yang lebih dekat lagi bila menggunakan

frekuensi yang lebih tinggi. Penggunaan spektrum untuk sinyal analog berkisar kira-kira sampai 500 MHz. Untuk sinyal digital diperlukan repeater setiap beberapa kilometer dan seterusnya, dengan jarak yang lebih dekat untuk rate data yang lebih tinggi.

3. Serat Optik

A. Deskripsi Fisik

Serat optik sangat tipis sekali, namun memiliki kemampuan tinggi memandu sebuah sinar optik. Serat optik terbuat dari berbagai jenis kaca dan plastik. Kerugian terendah dapat diperoleh dengan menggunakan serat yang terbuat dari ultra pure fused silica. Namun serat ultrapure ini sulit diproduksi. Ada juga jenis lain yaitu: serat kaca higher-loss multicomponent yang lebih ekonomis namun masih memberikan kinerja yang baik. Sedangkan serat plastik sedikit lebih mahal dan bisa dipergunakan untuk koneksi jarak, dimana tingkat kerugiannya masih dapat diterima

Sebuah kabel serat optik memiliki bentuk silindris dan terdiri dari tiga bagian konsentris, yaitu: inti, cladding, dan selubung (gambar 4.2c). Inti merupakan bagian terdalam dan terdiri dari satu atau lebih untai, atau serat, baik yang terbuat dari kaca maupun plastik, dan bentuknya pun tipis sekali. Inti memiliki diameter yang berkisar antara 8 sampai 100 μm . Masing-masing serat dikelilingi oleh cladding, yaitu berupa plastik atau kaca yang melapisi dan memiliki sifat-sifat yang berbeda dengan plastik atau kaca yang berada pada inti. Interface diantara inti dan cladding bertindak sebagai pemantul untuk menahan cahaya yang akan lepas inti. Lapisan terluar, yang mengelilingi satu atau beberapa serat bundelan selubung, disebut jaket (pelapis). Pelapis tersusun dari bahan plastik dan lapisan-lapisan bahan lainnya untuk melindungi terhadap kelembaban, goresan, jepitan, dan bahaya-bahaya lingkungan lainnya.

B. Aplikasi

Salah satu terobosan terbesar dalam transmisi data adalah pengembangan sistem komunikasi serat optik praktis. Serat optik dianggap andal digunakan dalam telekomunikasi jarak jauh, dan mulai dimanfaatkan untuk keperluan militer. Peningkatan kinerja dan penurunan dalam hal harga, serta manfaatnya

yang besar, membuat serat optik mulai dianggap menarik untuk Local Area Network. Berikut ini karakteristik-karakteristik yang membedakan serat optik dari twisted pair ataupun coaxial cable.

❑ **Kapasitas yang lebih besar:**

Potensial bandwidth, maupun rate data, dari serat optik sangat besar sekali karena mampu menampilkan rate data sebesar ratusan Gbps sepanjang puluhan kilometer. Bandingkan dengan coaxial cable yang hanya mampu menampilkan rate data maksimum sebesar ratusan Mbps sepanjang kurang lebih 1 km dan twisted pair dengan rate data sebesar 100 Mbps sampai 1 Gbps sepanjang beberapa puluh kilometer saja.

❑ **Ukuran yang lebih kecil dan bobot lebih ringan:**

Serat optik benar-benar lebih tipis dibandingkan coaxial cable atau bundelan kabel twisted pair. Setidaknya derajat ketipisan magnitudo dibandingkan kapasitas transmisi informasi. Untuk celah-celah di gedung-gedung dan ruang bawah tanah dan sepanjang jalan raya, ukurannya yang lebih kecil dianggap menguntungkan. Sedangkan pengurangan dalam hal bobot memenuhi persyaratan sebagai pendukung struktural.

❑ **Atenuasi yang lebih rendah:**

Tingkat atenuasi untuk serat optik lebih rendah dibanding coaxial cable dan twisted pair (Gambar 4.3) dan tetap konstan pada rentang yang lebih luas.

❑ **Isolasi elektromagnetik:**

Sistem serat optik tidak dipengaruhi oleh medan elektromagnetik eksternal. Jadi sistem ini tidak mudah diserang interferensi, derau impuls, maupun crosstalk. Lagipula, serat optik tidak memancarkan energi, sehingga pengamanan yang tinggi dari eavesdropping (kemungkinan didengarkan dengan diam-diam). Dengan demikian serat optik terlalu sulit untuk disadap.

❑ **Jarak repeater yang lebih besar:**

Lebih sedikit repeater berarti biaya yang lebih murah dan lebih sedikit sumber kesalahan. Kinerja sistem serat optik dari sudut pandang ini meningkat pesat. Jarak repeater puluhan kilometer untuk serat optik sudah dianggap biasa. Dan kini mulai ditampilkan jarak repeater sampai ratusan kilometer untuk setiap beberapa kilometer.

Lima kategori dasar aplikasi yang menjadi sangat penting untuk serat optik:

- ☐ Long haul trunk
- ☐ Metropolitan trunk
- ☐ Rural exchange trunk
- ☐ Subscriber loop
- ☐ Local area network

Transmisi serat long haul sudah terlalu umum untuk jaringan telepon. Jalur long haul panjangnya rata-rata 1500 km serta menawarkan kapasitas yang tinggi (biasanya 20.000 sampai 60.000 channel suara). Sistem ini mampu bersaing dari segi ekonomis dengan gelombang mikro dan begitu juga dengan coaxial cable yang dihargai murah di beberapa negara-negara berkembang. Bahkan di beberapa negara tersebut coaxial cable mulai digantikan secara bertahap untuk jaringan telepon. Kabel-kabel serat optik bawah laut juga mulai banyak dipergunakan.

Rangkaian jaringan metropolitan trunk memiliki panjang rata-rata 12 km dan memiliki kurang lebih 100.000 channel suara dalam satu kelompok trunk. Sebagian besar fasilitas yang dipasang disalurkan bawah tanah serta tidak membutuhkan repeater ini, bersama-sama dengan sentral telepon di wilayah perkantoran atau metropolitan. Yang termasuk dalam kategori ini adalah jalur yang menghubungkan fasilitas-fasilitas gelombang mikro yang berakhir di batas pinggiran kota menuju gedung sentral telepon utama di pusat kota.

Rural exchange trunk memiliki panjang sirkuit yang berkisar antara 40 sampai 160 km dan menghubungkan perkotaan dan pedesaan. Di Amerika Serikat, mereka sering berlangganan pada perusahaan telepon yang berbeda-beda. Sebagian besar sistem ini memiliki channel suara kurang dari 5.000. Teknologi yang digunakan dalam aplikasi-aplikasi ini bersaing dengan teknologi dalam fasilitas-fasilitas gelombang mikro.

Subscriber loop circuits adalah serat-serat yang menuju langsung dari sentral ke suatu pelanggan. Fasilitas-fasilitas ini mulai menggantikan saluran coaxial cable dan twisted pair ketika jaringan telepon mulai berkembang menjadi jaringan berkemampuan penuh yang tidak hanya mampu menangani suara dan data tetapi juga gambar (image) dan video. Penetrasi serat optik dalam aplikasi ini awalnya dimaksudkan untuk pelanggan bisnis, namun transmisi serat untuk perumahan akan segera mulai muncul.

Aplikasi serat optik terakhir yang sangat penting adalah untuk local area network. Standar-standar mulai dikembangkan dan produk-produk dimunculkan untuk jaringan serat optik yang memiliki kapasitas total sebesar 100 Mbps sampai 1 Gbps serta mampu mendukung ratusan bahkan ribuan stasiun di sejumlah besar bangunan kantor atau kompleks gedung-gedung.

Keuntungan serat optik dibandingkan dengan twisted pair dan coaxial cable tampak lebih menjadi kelihatan seiring dengan semakin meningkatnya permintaan untuk transmisi segala jenis informasi (baik suara, data, gambar, maupun video).

C. Karakteristik-Karakteristik Transmisi

Serat optik mentransmisikan berkas sinar cahaya yang ditandu dengan sebuah sinyal dengan memakai total internal reflection. Total internal reflection terjadi pada berbagai media transparan yang memiliki indeks refraksi yang lebih

tinggi dibanding media disekelilingnya. Dampaknya, saat optik bertindak sebagai wave guide untuk frekuensi dalam rentang sekita 10^{14} sampai 10^{15} hertz; hal ini menutupi bagian inframerah dalam cahaya tampak.

Gambar 4.4 menunjukkan prinsip transmisi serat optik. Cahaya dari suatu sumber memasuki inti plastik atau kaca yang berbentuk melingkar. Sinar pada sudut tumpul dipantulkan dan disebarkan sepanjang serat; sinar-sinar yang lain diserap oleh bahan-bahan yang mengelilingi. Bentuk penyebaran ini disebut **step-index multimode**, menunjuk pada berbagai sudut yang akan memantulkan. Dengan transmisi multimode, muncul jalur propagasi multipel, masing-masing dengan panjang jalur dan waktu untuk melintasi serat, yang berbeda untuk melintasi serat. Karena itu mengakibatkan data yang diterima kurang akurat karena rate datanya dibatasi. Hal ini bisa terjadi karena elemen-elemen sinyal (pulsa cahaya) menyebar pada saat bersamaan. Dengan mengambil cara lain, kebutuhan untuk meninggalkan jarak antar pulsa akan membatasi rate data. Serat sejenis ini sangat sesuai untuk transmisi untuk jarak yang sangat pendek. Bila radius inti serat dikurangi, lebih sedikit sudut-sudut yang akan memantul. Dengan mengurangi radius inti pada orde panjang gelombang, hanya akan ada satu sudut tunggal atau mode yang dapat sinar mendatar. Penyebaran mode tunggal ini memberikan kinerja yang baik sekali untuk beberapa alasan berikut ini. Karena terdapat jalur transmisi dengan transmisi mode tunggal, tidak terjadi distorsi yang biasanya ditentukan di multimode. Mode tunggal biasanya dipergunakan untuk aplikasi jarak jauh, termasuk telepon dan televisi berkabel. Terakhir, melalui beragam indeks inti, tipe transmisi ketiga, disebut sebagai **graded-index multimode**, menjadi mungkin. Tipe ini merupakan perantara diantara dua tipe diatas dalam hal karakteristik. Indeks bias yang lebih tinggi pada pusat membuat sinar merambat lebih pelan pada sumbu mendatar dibanding dengan yang ada di dekat cladding. Dibanding dari teknik zigzag off pada cladding, cahaya didalam inti menyudut secara heliks (berputar) karena indeks graded, mengurangi jarak perjalanannya. Jalur yang lebih pendek dan kecepatan yang tinggi memungkinkan cahaya pada batas luar tiba di receiver kira-kira pada waktu bersamaan. Dengan saat sinar lurus pada sumbu inti. Serat indeks-graded seringnya dipergunakan untuk local area network.

Terdapat dua jenis sumber cahaya yang berbeda digunakan dalam sistem serat optik, yakni: Light-Emitting Diode (LED) dan Injection Laser Diode (ILD). Keduanya merupakan perangkat semikonduktor dan mampu memancarkan sinar cahaya saat dihubungkan dengan sebuah voltase. LED tidak terlalu memakan biaya, dan beroperasi dengan prinsip laser akan lebih efisien dan dapat menghasilkan rate data yang lebih besar.

Ada hubungan antara panjang gelombang yang digunakan, jenis transmisi, dan data rate dicapai. Kedua single mode dan multimode dapat mendukung beberapa berbeda panjang gelombang cahaya dan dapat menggunakan laser atau sumber cahaya LED. Dalam serat optik, berdasarkan karakteristik redaman medium dan sifat-sifat cahaya sumber dan penerima, empat jendela transmisi sesuai, ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Frekuensi Pemanfaatan untuk Aplikasi Fiber

Panjang gelombang (dalam ruang hampa) Range (nm)	Range Frekuensi (THz)	Band Label	Tipe Fiber	Aplikasi
820 - 900	366 - 333		Multimode	LAN
1280 - 1350	234 - 222	S	Single mode	Bermacam
1528 - 1561	196 - 192	C	Single mode	WDM
1561 - 1620	192 - 185	L	Single mode	WDM

Perhatikan bandwidth besar yang tersedia. Selama empat jendela, masing-masing bandwidth yang 33 THz, 12 THz, 4 THz, dan 7 THz. Ini adalah beberapa perintah besarnya lebih besar dari bandwidth yang tersedia di spektrum frekuensi radio.

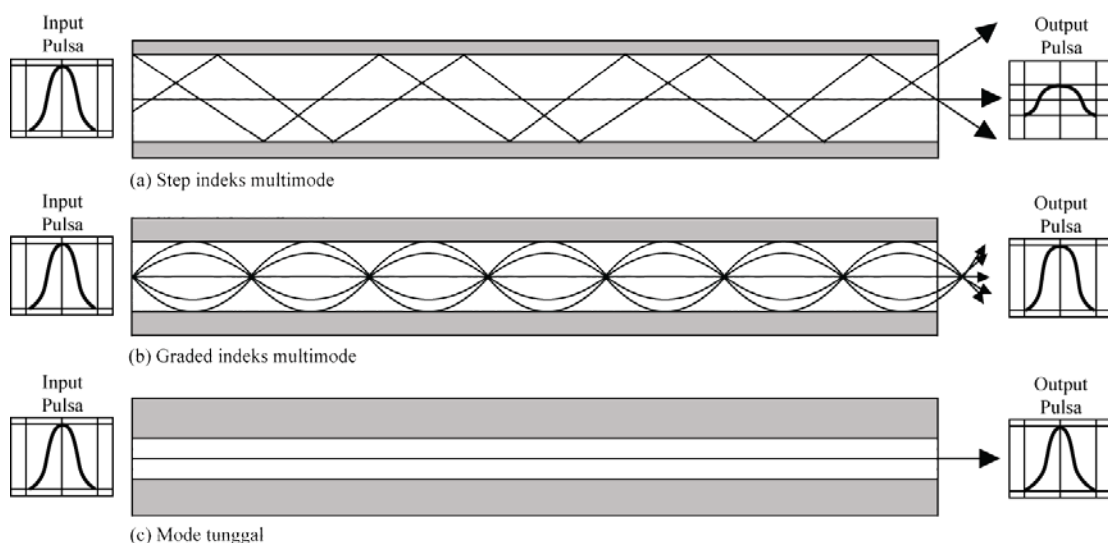
Salah satu aspek yang membingungkan dari angka pelemahan dilaporkan untuk transmisi serat optik adalah bahwa, selalu, kinerja serat optik ditentukan dalam hal panjang gelombang daripada frekuensi. Panjang gelombang yang muncul dalam grafik dan tabel adalah panjang gelombang yang sesuai dengan transmisi dalam ruang hampa. Namun, pada serat, yang kecepatan propagasi kurang dari kecepatan cahaya dalam ruang hampa (c); hasilnya adalah bahwa meskipun frekuensi sinyal tidak berubah, panjang gelombang berubah.

Keempat jendela transmisi berada di bagian inframerah dari spektrum frekuensi, bawah bagian cahaya tampak, yang 400-700 nm. The kerugian lebih rendah pada tinggi panjang gelombang, yang memungkinkan kecepatan data yang lebih besar jarak yang lebih jauh. Banyak aplikasi lokal saat ini menggunakan

850-nm sumber cahaya LED. Meskipun kombinasi ini relatif murah, umumnya terbatas pada kecepatan data di bawah 100 Mbps dan jarak beberapa kilometer. Untuk mencapai kecepatan data yang lebih tinggi dan jarak yang lebih jauh, atau sumber laser 1300-nm LED adalah diperlukan. Studi kecepatan data tertinggi dan jarak terpanjang membutuhkan sumber laser 1500-nm.

Gambar 4.3c menunjukkan pelemahan terhadap panjang gelombang untuk fiber. The optik khas bentuk yang tidak biasa dari kurva ini disebabkan oleh kombinasi berbagai faktor yang berkontribusi untuk atenuasi. Dua yang paling penting dari ini adalah penyerapan dan hamburan. Dalam konteks ini, hamburan merujuk perubahan arah sinar cahaya setelah mereka menyerang partikel kecil atau kotoran dalam medium.

Terdapat keterkaitan antara panjang gelombang yang digunakan, tipe transmisi, dan rate data yang dapat diperoleh. Mode tunggal dan multimode mampu mendukung beberapa panjang gelombang cahaya yang berlainan serta dapat menggunakan sumber cahaya LED atau laser. Pada serta optik cahaya disebarkan dengan baik melalui tiga panjang gelombang yang berlainan, dipusatkan pada 850, 1300, dan 1550 nanometer (nm). Ketiganya menempati bagian infra merah pada spektrum frekuensi, dibawah bagian cahaya tampak, yaitu pada 400-700 nm. Pada panjang gelombang yang lebih tinggi, kerugiannya lebih sedikit, dan mampu menghasilkan rate data yang lebih besar pada jarak yang lebih panjang. Saat ini sebagian aplikasi lokal menggunakan sumber cahaya LED 850 nm. Meskipun kombinasinya relatif tidak mahal, namun umumnya terbatas untuk rate data dibawah 100 Mbps dan untuk beberapa jarak kilometer. Untuk mencapai rate data yang lebih tinggi dan jarak yang lebih panjang, diperlukan sumber laser atau LED 1300 nm rate data tertinggi dan jaarak terpanjang memerlukan sumber laser 1500 nm.



Gambar 4.4 Mode Transmisi Serat Optik

D. Wavelength-Division Multiplexing

Kemampuan serat optik benar-benar dieksploitasi saat sinar cahaya multipel pada frekuensi yang berlainan ditransmisikan melalui serat yang sama. Ini merupakan bentuk dari Frequency-Division Multiplexing, namun lebih sering disebut sebagai Wavelength-Division Multiplexing (WDM). Dengan WDM, cahaya mengalir melalui serat yang terdiri dari berbagai macam warna, atau panjang gelombang, masing-masing membawa channel data yang terpisah. Pada tahun 1997, ada peristiwa penting saat Bell Laboratories mampu mendemonstrasikan sebuah sistem WDM dengan 100 sinar yang masing-masing beroperasi pada 10 Gbps, untuk total rate data sebesar 1 trilyun bit per detik (juga ditunjukkan sebagai 1 terabit perdetik atau 1 Tbps). Saat ini juga tersedia sistem komersial dengan 80 channel dari 10 Gbps.

4.2 TRANSMISI WIRELESS

Untuk unguided media, transmisi dan penangkapan diperoleh melalui sebuah alat yang disebut dengan antena. Untuk transmisi, antena menyebarkan energi elektromagnetik ke dalam media (biasanya udara), sedangkan untuk penerimaan sinyal, antena menangkap gelombang elektromagnetik dari media. Pada dasarnya terdapat dua jenis konfigurasi untuk transmisi wireless, yaitu searah dan segala arah. Untuk konfigurasi searah, antena pentransmisi mengeluarkan sinyal elektromagnetik yang terpusat; antena pentransmisi dan antena penerima harus disejajarkan dengan hati-hati. Umumnya, semakin tinggi frekuensi sinyal, semakin mungkin memfokuskannya kedalam sinar searah. Untuk konfigurasi segala arah, sinyal yang ditransmisikan menyebar luas ke segala penjuru dan diterima oleh banyak antena.

Tiga jangkauan frekuensi umum menjadi titik perhatian kita dalam pembahasan mengenai transmisi wireless. Frekuensi dengan jangkauan sebesar 2Ghz (Gigahertz = 10^9 hertz) sampai 40 Ghz ditunjukkan sebagai gelombang mikro. Pada frekuensi ini, memungkinkan dihasilkan sinar searah yang sangat tinggi, serta gelombang mikro benar-benar sesuai untuk transmisi titik ke titik. Gelombang mikro juga dipergunakan untuk komunikasi satelit. Frekuensi dengan jangkauan sebesar 30 Mhz sampai 1 Ghz sesuai untuk alokasi segala arah. Kita akan menyebutnya jangkauan ini sebagai jangkauan siaran radio. Tabel 4.3 menampilkan ringkasan karakteristik-karakteristik transmisi unguided pada berbagai band frekuensi. Gelombang mikro mencakup sebagian band UHF dan semua band SHF, sedangkan siaran radio mampu mencakup band VHF dan sebagian band UHF.

Jangkauan frekuensi terpenting lainnya, untuk lokal aplikasi, adalah bagian inframerah dari spektrum. Yang meliputi, secara kasar, dari 3×10^{11} sampai 2×10^{14} Hz. Inframerah berguna untuk aplikasi multi titik dan titik ke titik lokal di dalam daerah yang terbatas, misalnya ruangan tunggal.

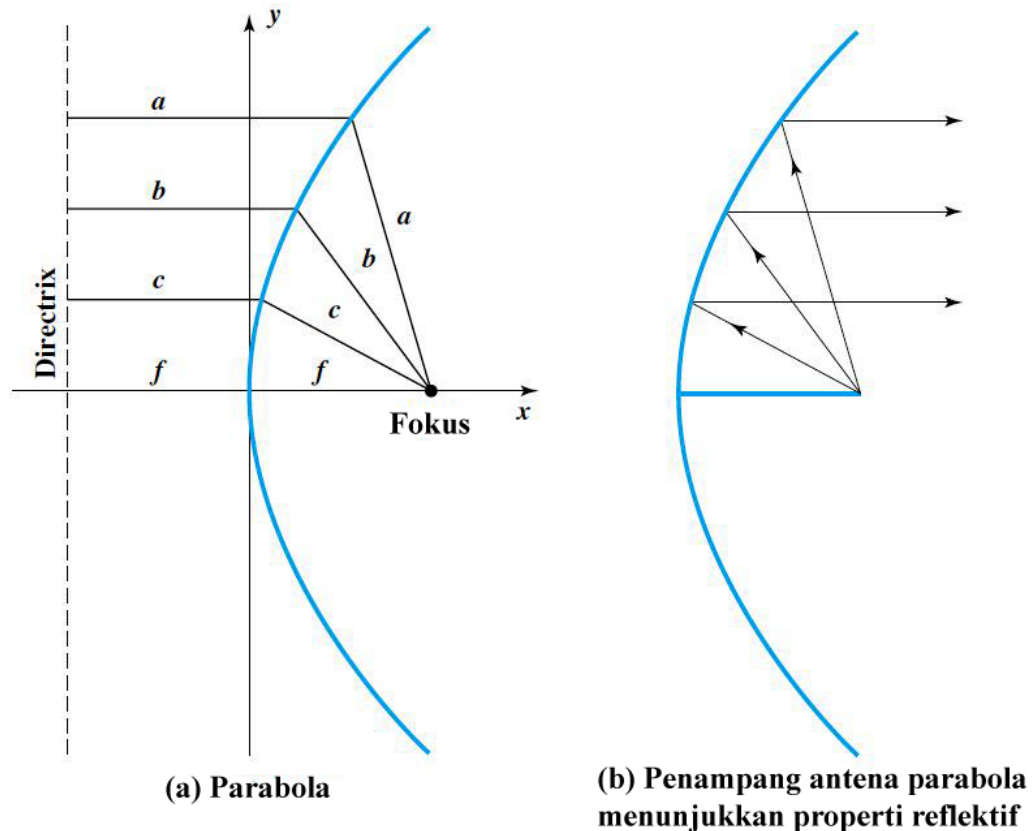
1. Antena

Antena dapat didefinisikan sebagai konduktor listrik atau sistem konduktor digunakan baik untuk memancarkan energi elektromagnetik atau mengumpulkan energi elektromagnetik. Untuk transmisi dari energi listrik sinyal, frekuensi radio dari pemancar diubah menjadi energi elektromagnetik oleh antena dan diradiasikan ke sekitarnya lingkungan (suasana, ruang, air). Untuk penerimaan sinyal, elektromagnetik energi menimpa antena diubah menjadi frekuensi radio energi listrik dan makan ke penerima. Dalam komunikasi dua arah, antena yang sama dapat dan sering digunakan untuk

Kedua transmisi dan penerimaan. Hal ini dimungkinkan karena setiap transfer antena. Energi dari lingkungan sekitar untuk terminal penerima input dengan efisiensi yang sama bahwa transfer energi dari terminal output pemancar ke lingkungan sekitarnya, dengan asumsi bahwa frekuensi yang sama digunakan dalam kedua arah. Dengan kata lain, karakteristik antena pada dasarnya sama apakah antena sedang mengirim atau menerima energi elektromagnetik.

Antena akan memancarkan daya ke segala arah tetapi, biasanya, tidak melakukan sama dengan baik di segala arah. Sebuah cara yang umum untuk menggambarkan kinerja suatu antena pola radiasi, yang merupakan representasi grafis dari radiasi sifat antena sebagai fungsi dari koordinat ruang. Pola yang paling sederhana adalah diproduksi oleh antena ideal yang dikenal sebagai antena isotropik. Sebuah isotropik antena adalah titik dalam ruang yang terpancar daya ke segala arah sama. Aktualnya pola radiasi untuk antena isotropik adalah bola dengan antena di pusat.

Antena Parabola Reflektif Sebuah jenis parabola penting adalah yang antena reflektif, yang digunakan dalam microwave dan satelit aplikasi terestrial. Sebuah parabola adalah lokus dari semua titik berjarak sama dari telepon tetap dan titik tetap tidak di telepon. Intinya tetap disebut fokus dan garis tetap disebut directrix (Gambar 4.5a).



Gambar 4.5 Antena Parabola Reflektif

Jika parabola yang berputar pada porosnya, permukaan yang dihasilkan disebut paraboloid. Sebuah penampang melalui paralel paraboloid ke porosnya membentuk parabola dan penampang tegak lurus terhadap sumbu membentuk lingkaran. Permukaan seperti yang digunakan dalam lampu, teleskop optik dan radio, dan antena microwave karena properti berikut: Jika sumber energi elektromagnetik (atau suara) ditempatkan pada fokus paraboloid, dan jika paraboloid adalah mencerminkan permukaan, maka gelombang akan bangkit kembali garis sejajar dengan sumbu paraboloid tersebut; Gambar 4.5b menunjukkan efek ini secara cross section. Dalam teori, efek ini menciptakan paralel balok tanpa dispersi. Dalam prakteknya, akan ada beberapa dispersi, karena sumber energi harus menempati lebih dari satu titik. Semakin besar diameter antena, directional lebih erat adalah balok. Pada penerimaan, jika gelombang masuk sejajar dengan sumbu paraboloid mencerminkan, sinyal yang dihasilkan akan terkonsentrasi di fokus.

2. Antenna Gain

Antenna gain adalah ukuran dari directionality dari antena. Antenna gain didefinisikan sebagai output daya, dalam arah tertentu, dibandingkan dengan yang diproduksi di segala arah dengan antena omnidirectional yang sempurna (isotropik antena). Sebagai contoh, jika antena memiliki gain 3 dB, antena yang meningkatkan atas antena isotropik ke arah itu dengan 3 dB, atau faktor 2. peningkatan daya terpancar dalam arah tertentu adalah dengan mengorbankan

arah lain. Akibatnya meningkat daya terpancar dalam satu arah dengan mengurangi kekuatan terpancar di lain arah. Penting untuk dicatat bahwa gain antenna tidak mengacu memperoleh lebih daya output dari daya input melainkan untuk directionality.

Sebuah konsep yang terkait dengan gain antenna adalah luas efektif antenna. Daerah efektif antenna adalah terkait dengan ukuran fisik antenna dan Hubungan shape. Hubungan antara antenna dan daerah yang efektif adalah

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} = \frac{4\pi f^2 A_e}{c^2}$$

Dimana :

G = gain antenna

A_e = area efektif

f = frekuensi carrier

c = kecepatan cahaya ($\approx 3 \times 10^8$ m/s)

λ = panjang gelombang carrier

3. Gelombang Mikro Terresial

A. Deskripsi Fisik

Tipe antenna gelombang mikro yang paling umum adalah parabola 'dish'.

Ukuran

Tabel 4.4 Karakteristik-karakteristik Band Komunikasi Unguided

Band Frekuensi	Nama	Data Analog		Data Digital		Aplikasi-Aplikasi Utama
		Modulasi	Bandwidth	Modulasi	Bandwidth	
30-300 kHz	LF (low frequency)	Biasanya tidak dipraktekkan		ASK, FSK, MSK	0,1 to 100 bps	Navigasi
300-3000 kHz	MF (mid frequency)	AM	to 4 kHz	ASK, FSK, MSK	10 to 1000 bps	Radio AM komersil
3-30 MHz	HF (high frequency)	AM, SSB	to 4 kHz	ASK, FSK, MSK	10 to 3000 bps	Radio gelombang pendek
30-300 MHz	VHF (very high frequency)	AM, SSB, FM	5 kHz to 5 MHz	FSK, PSK	to 100 bps	Televisi VHF, radio FM
300-3000 MHz	UHF (ultra high frequency)	FM, SSB	to 20 MHz	PSK	to 10 Mbps	Televisi UHF, gelombang mikro terestrial
3-30 GHz	SHF (super high frequency)	FM	to 500 MHz	PSK	to 100 Mbps	Gelombang mikro terestrial, gelombang mikro satelit
30-300 GHz	EHF (extremely high frequency)	FM	to 1 GHz	PSK	to 750 Mbps	Percobaan jangkauan pendek

4. Gelombang Mikro Satelit

A. Deskripsi Fisik

Satelit komunikasi adalah sebuah station relay gelombang mikro. Dipergunakan untuk menghubungkan dua atau lebih transmitter/receiver gelombang mikro pada bumi, yang dikenal sebagai station bumi atau ground station. Satelit menerima transmisi diatas satu band frekuensi (uplink), amplifies dan mengulang sinyal-sinyal, lalu mentransmisikannya ke frekuensi yang lain (downlink). Sebuah satelit pengorbit tunggal akan beroperasi pada beberapa band frekuensi, yang disebut sebagai transponder channel, atau singkatnya transponder.

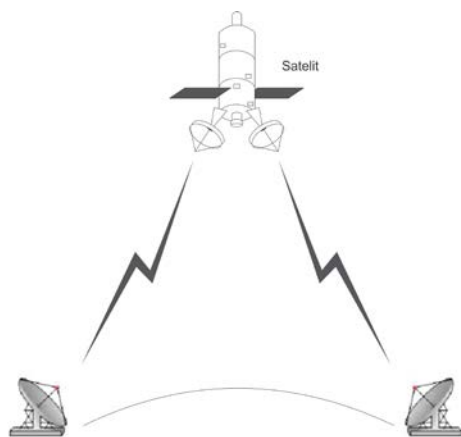
Tabel 4.5 Unjuk Kerja Gelombang Mikro Digital Khusus

Band (GHz)	Bandwidth (MHz)	Date Rate (Mbps)
2	7	12
6	30	90
11	40	135
18	220	274

Gambar 4.6 menampilkan dua konfigurasi umum untuk komunikasi satelit yang populer. Yang pertama, satelit digunakan untuk menyediakan jalur titik-ke-titik di antara dua antena dari station-bumi. Yang kedua, satelit menyediakan komunikasi antara satu transmitter dari station bumi dan sejumlah receiver station bumi.

Agar satelit komunikasi bisa berfungsi efektif, biasanya diperlukan orbit stasioner dengan memperhatikan posisinya di atas bumi. Sebaliknya, station bumi tidak harus saling berada di garis pandang sepanjang waktu. Untuk menjadi stasioner, satelit harus memiliki periode rotasi yang sama dengan periode rotasi bumi. Kesesuaian ini terjadi pada ketinggian 35.784 km.

Dua satelit yang menggunakan band frekuensi yang sama, bila keduanya cukup dekat akan saling mengganggu. Untuk menghindari hal ini, standar-standar terbaru memerlukan 4° ruang. (penempatan angular saat diukur dari bumi) dalam band 4/6 GHz dan 3° ruang pada 12/14 GHz. Jadi jumlah satelit yang bisa beroperasi benar-benar terbatas.



(a) Jalur titik-ke-titik melalui gelombang mikro satelit

(b) Jalur broadcast melalui gelombang mikro satelit

Gambar 4.6 Konfigurasi Komunikasi Satelit

B. Aplikasi

Satelit komunikasi merupakan suatu revolusi dalam teknologi komunikasi dan sama pentingnya dengan serat optik. Aplikasi-aplikasi terpenting untuk satelit lainnya diantaranya adalah:

- ☐ Distribusi siaran televisi
- ☐ Transmisi telepon jarak-jauh
- ☐ Jaringan bisnis swasta

Karena sifat siarannya, satelit sangat sesuai untuk distribusi siaran televisi dan dipergunakan secara luas di Amerika Serikat dan di seluruh dunia. Menurut penggunaan cara lama, sebuah jaringan menyediakan pemrograman dari suatu lokasi pusat. Program-program ditransmisikan ke satelit dan kemudian disiarkan ke sejumlah station, dimana kemudian program tersebut didistribusikan ke pemirsa. Satu jaringan, Public Broadcasting Service (PBS) mendistribusikan program televisinya secara eksklusif dengan menggunakan canal satelit, yang kemudian diikuti oleh jaringan komersial lainnya, serta sistem televisi berkabel yang menerima porsi besar dari program-program mereka dari satelit. Aplikasi teknologi satelit terbaru untuk distribusi televisi adalah Direct Broadcast Satellite (DBS), dimana pada aplikasi tersebut sinyal-sinyal video satelit ditransmisikan secara langsung kerumah-rumah pemirsa. Karena mengurangi biaya dan ukuran antena penerima, maka DBS dianggap sangat visible, dan sejumlah canal mulai disiapkan atau dalam taraf perencanaan.

Transmisi satelit juga dipergunakan untuk titik-ke-titik trunk antara sentral telepon pada jaringan telepon umum. Juga merupakan media yang optimum untuk kegunaan luas dalam sambungan langsung internasional dan mampu bersaing dengan sistem terrestrial untuk penghubung internasional jarak jauh.

Terakhir, terdapat sejumlah aplikasi data bisnis untuk satelit. Provider satelit membagi kapasitas total menjadi beberapa channel dan menyewakan canal itu kepada user bisnis individu. Satu user dilengkapi dengan antena pada sejumlah situs yang dapat menggunakan canal satelit untuk jaringan swasta. Biasanya, aplikasi-aplikasi semacam itu benar-benar mahal dan terbatas untuk organisasi-organisasi yang lebih besar dengan peralatan canggih. Sebuah hasil pengembangan baru dalam hal ini adalah sistem Very Small Aperture Terminal (VSAT), yang menyediakan alternatif biaya murah. Gambar 4.6 menampilkan suatu konfigurasi VSAT khusus. Sejumlah station pelanggan dilengkapi dengan antena-antena VSAT berbiaya murah. Dengan mengacu pada beberapa aturan, station-station ini membagi kapasitas transmisi satelit dari suatu station pusat. Station pusat dapat saling mengirimkan pesan dengan setiap pelanggannya serta dapat merelay pesan-pesan tersebut diantara pelanggan.

C. Karakteristik-Karakteristik Transmisi

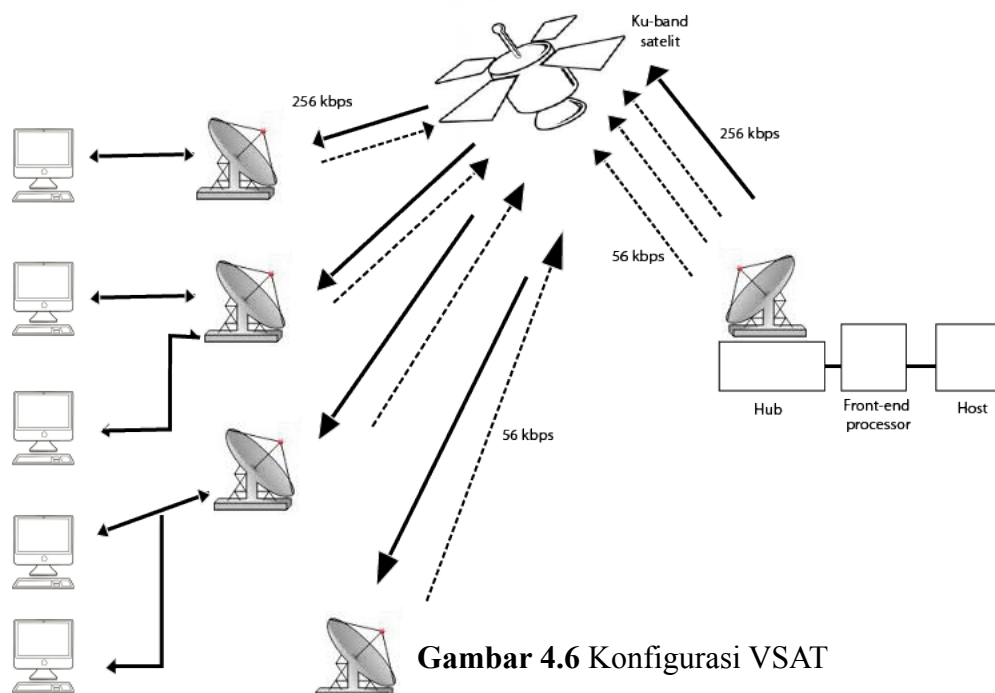
Jangkauan frekuensi optimum untuk transmisi satelit adalah berkisar pada 1 sampai 10 GHz. Dibawah 1 GHz, terdapat derau yang berpengaruh dari alam, meliputi derau dari galaksi, matahari, dan atmosfer, serta interferensi buatan manusia, dari berbagai perangkat elektronik. Diatas 10 GHz, sinyal-sinyal akan mengalami atenuasi yang parah akibat penyerapan dan pengendapan di atmosfer.

Saat ini sebagian besar satelit menyediakan layanan titik-ke-titik dengan

menggunakan bandwidth frekuensi berkisar antara 5,925 sampai 6,425 GHz untuk transmisi dari bumi ke satelit (uplink) dan bandwidth frekuensi 4,7 sampai 4,2 GHz untuk transmisi dari satelit ke bumi (downlink). Kombinasi ini ditunjukkan sebagai band 4/6 GHz. Patut dicatat bahwa frekuensi uplink dan downlink berbeda. Sebuah satelit tidak dapat menerima dan mentransmisi dengan frekuensi yang sama pada kondisi operasi terus-menerus tanpa interferensi. Jadi, sinyal-sinyal yang diterima dari suatu station bumi pada satu frekuensi harus ditransmisikan kembali dengan frekuensi yang lain.

Band 4/6 GHz berada dalam zona optimum 1 sampai 10 GHz, namun menjadi penuh. Frekuensi-frekuensi lain pada rentang tersebut tidak tersedia karena sumber interferensi juga beroperasi pada frekuensi-frekuensi itu, biasanya gelombang mikro terrestrial. Karenanya, band 12/14 GHz lebih dikembangkan lagi (uplink: 14 sampai 14,5 GHz; downlink: 11,7 sampai 14,2 GHz). Pada band frekuensi ini, problem-problem atenuasi mulai datang. Untuk itu, digunakan station bumi penerima yang lebih kecil sekaligus lebih murah. Ini untuk mengantisipasi band ini juga menjadi penuh, dan penggunaannya dirancang untuk band 19/29 GHz. (uplink: 27,5 sampai 31,0 GHz; downlink: 17,7 sampai 21,2 GHz). Band ini mengalami problem-problem atenuasi yang lebih besar namun akan memungkinkan band yang lebih lebar (2500 MHz sampai 500 MHz) dan bahkan receiver yang lebih murah dan lebih kecil.

Beberapa peralatan komunikasi satelit dapat diuraikan sebagai berikut: Pertama, akibat jarak yang panjang terdapat penundaan penyebaran (propagation delay) sebesar kira-kira seperempat detik dari transmisi dari satu station bumi untuk ditangkap oleh station bumi lainnya. Penundaan ini jelas terlihat dalam percakapan telepon biasa. Di samping itu muncul pula problem-problem yang berkaitan dengan control error dan flow control, yang kita bahas di bab terdahulu. Kedua, gelombang mikro merupakan sebuah fasilitas penyiaran, dan ini sudah menjadi sifatnya. Beberapa station dapat mentransmisi ke satelit, dan transmisi dari satelit dapat diterima oleh beberapa station.



Gambar 4.6 Konfigurasi VSAT

5. Radio Broadcast

A. Deskripsi Fisik

Perbedaan-perbedaan utama di antara siaran radio dan gelombang mikro yaitu, dimana siaran radio bersifat segala arah sedangkan gelombang mikro searah. Karena itu, siaran radio tidak memerlukan antena parabola, dan antena tidak perlu mengarah ke arah persis sumber siaran.

B. Aplikasi

Radio merupakan istilah yang biasa digunakan untuk menangkap frekuensi dalam rentang antara 3 kHz sampai 300 GHz. Kita menggunakan istilah yang tidak formal siaran radio untuk band VHF dan sebagian dari band UHF: 30 MHz sampai 1 GHz. Rentang ini mencakup radio FM dan televisi UHF dan VHF. Rentang ini juga digunakan untuk sejumlah aplikasi jaringan data.

C. Karakteristik-Karakteristik Transmisi

Rentang 30 MHz sampai 1 GHz merupakan rentang yang efektif untuk komunikasi broadcast. Tidak seperti kasus untuk gelombang elektromagnetik berfrekuensi rendah, ionosfer cukup transparan untuk gelombang radio diatas 30 MHz. Jadi transmisi terbatas pada garis pandang, dan jarak transmitter tidak akan mengganggu satu sama lain dalam arti tidak ada pemantulan dari atmosfer. Tidak seperti frekuensi yang lebih tinggi dari zona gelombang mikro, gelombang siaran radio sedikit sensitif terhadap atenuasi saat hujan turun.

Sebagai teknik penyebaran pada garis pandang, gelombang radio mengacu pada Persamaan (4.1); yakni, jarak maksimum antara transmitter dan receiver lebih sedikit dibanding garis pandang optika, $7.14 \sqrt{Kh}$. Sama halnya dengan gelombang mikro, jumlah atenuasi berkaitan dengan jarak mengacu pada Persamaan (4.2), yaitu $10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$. Karena gelombangnya yang panjang maka, gelombang radio relatif lebih sedikit mengalami atenuasi.

Sumber gangguan utama untuk siaran radio adalah interferense multi-jalur. Pantulan dari bumi, air, dan alam atau obyek-obyek buatan manusia dapat menyebabkan terjadinya multi-jalur antar antena. Efek ini nampak jelas saat penerima TV menampilkan gambar ganda saat pesawat terbang melintas.

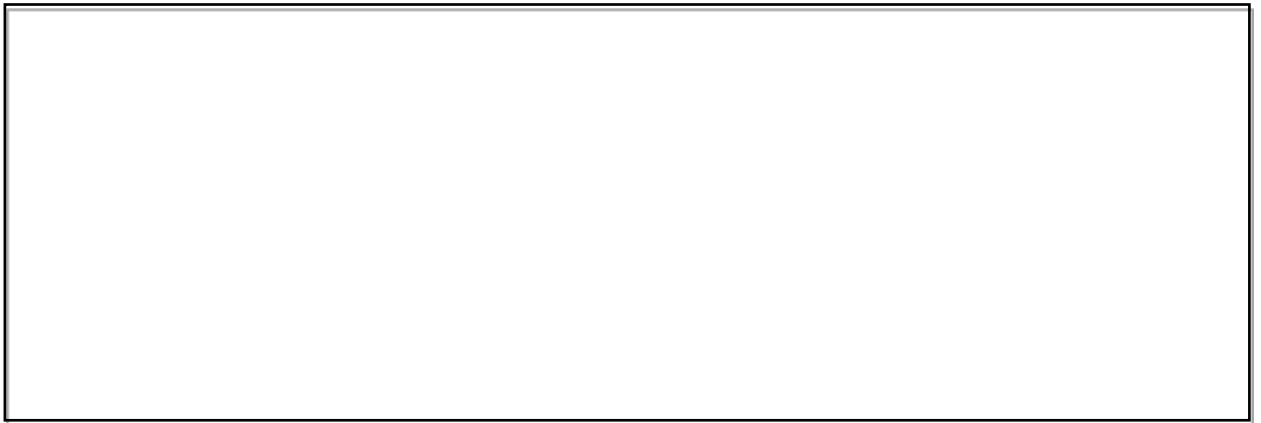
6. Infra Merah

Komunikasi infra merah dicapai dengan menggunakan transmitter/receiver (transceiver) yang memodulasi cahaya infra merah yang koheren. Transceiver harus berada di dalam jalur pandang maupun melalui pantulan dari permukaan berwarna terang misalnya langit-langit rumah.

Satu perbedaan penting antara transmisi infra merah dan gelombang mikro adalah transmisi infra merah tidak melakukan penetrasi terhadap dinding, sehingga problem-problem pengaman dan interferensi yang ditemui dalam gelombang mikro tidak terjadi. Selanjutnya, tidak ada hal-hal yang berkaitan dengan pengalokasian frekuensi dengan infra merah, karena tidak diperlukan lisensi untuk itu.

4.3 BACAAN YANG DISARANKAN DAN SITUS WEB

Penjelasan lebih mendalam tentang karakteristik-karakteristik transmisi dari media transmisi yang dibahas di bab ini dapat ditemukan di [FREE98]. [REEF95] yang menyajikan informasi memuaskan tentang twisted pair dan serat optik. [BORE97] merupakan informasi yang benar-benar cermat mengenai komponen-komponen transmisi serat optik. Karya tulis terbaik lainnya adalah [WILL97]. Sedangkan [STAL97] membahas karakteristik-karakteristik media transmisi untuk LAN secara lebih terperinci.



Situs yang Disarankan

Mobile and Wireless Computing Index: Sumber informasi tentang teknologi, produk, konferensi, dan publikasi wireless.

BICSI (Building Industry Consulting Services International) Resource Library: Meliputi buku pegangan tentang dasar-dasar spesifikasi pemasangan kawat, pengkabelan Kategori 5, dan topik-topik yang relevan.

4.4. PERMASALAHAN

- 4.1. Andaikata data disimpan pada floppy disk 1.4-Mbyte dengan berat 30 g. Kemudian sebuah pesawat terbang membawa beberapa floppy disk tersebut hingga jumlahnya mencapai 10^4 kg, dengan kecepatan 1000 km/jam, melintas pada jarak 5000 km. Berapa rate transmisi data dalam bit per detik dari sistem ini?
- 4.2. Sebuah jalur telepon diketahui memiliki kerugian sebesar 2dB. Daya sinyal input diukur sebesar 0,5 watt, level derau output diukur 4,5 μ watt. Dengan menggunakan informasi ini, hitunglah perbandingan sinyal-terhadap-derau dalam dB.
- 4.3. Pada sumber daya tertentu sebesar 100 watt, berapa panjang maksimum yang diperbolehkan untuk media transmisi berikut ini bila sinyal yang diterima sebesar 1 watt ?

Twisted pair ukuran-24 yang beroperasi pada 300 kHz.
 Twisted pair ukuran-24 yang beroperasi pada 1 MHz.
 Coaxial cable 0,375 inchi yang beroperasi pada 1 MHz.
 Coaxial cable 0,375 inchi yang beroperasi pada 25 MHz.
 Serat optik yang beroperasi pada frekuensi optimalnya.

- 4.4. Coaxial cable merupakan sistem transmisi dua-kabel. Apa keuntungan dari hubungan konduktor terluar terhadap ground ? Tunjukkan bahwa dengan menggandakan frekuensi transmisi atau menggabungkan jarak antara antenna pemancar dengan antenna penerima akan mengganggu daya yang diterima dengan 6 dB.
- 4.5. Di kedalaman di laut sinyal-sinyal elektromagnetik dapat dideteksi melalui panjang gelombangnya. Oleh karena itu, pihak militer mendapat ide menggunakan panjang gelombang yang sangat panjang yang sesuai sebesar 30 Hz untuk berkomunikasi dengan pihak angkatan laut di seluruh dunia. Diharapkan dimiliki sebuah antenna yang panjangnya separuh dari panjang gelombang. Berapa kira-kira panjang yang dimaksud ?
- 4.6. Kekuatan audio suara manusia terpusat sebesar 300 Hz. Antena dengan ukuran yang sesuai untuk frekuensi ini adalah besarnya tak terkira, sehingga untuk mengirim suara melalui radio, sinyal suara harus digunakan untuk memodulasi frekuensi (pembawa) yang lebih tinggi agar ukuran antenna alami lebih kecil. Berapa panjang antenna satu setengah panjang gelombang untuk mengirim radio pada frekuensi sebesar 300 Hz ?
- 4.7. Alternatifnya adalah dengan menggunakan skema modulasi, seperti yang digambarkan di bab 5, untuk mentransmisikan sinyal suara dengan cara memodulasi frekuensi pembawa, sehingga bandwidth sinyal berupa band sempit yang dipusatkan pada frekuensi pembawa. Anggap saja kita menyukai antenna setengah gelombang agar dapat memiliki panjang 1 m. Berapa frekuensi pembawa yang ingin kita gunakan ?
- 4.8. Ada cerita tentang orang yang dapat menerima sinyal-sinyal radio dengan tambalan giginya. Anggap saja Anda memiliki satu tambalan gigi sepanjang 2,5mm (0,0025 m) yang bertindak sebagai antenna radio. Yaitu, setara panjangnya dengan panjang gelombang satu setengah. Berapa frekuensi

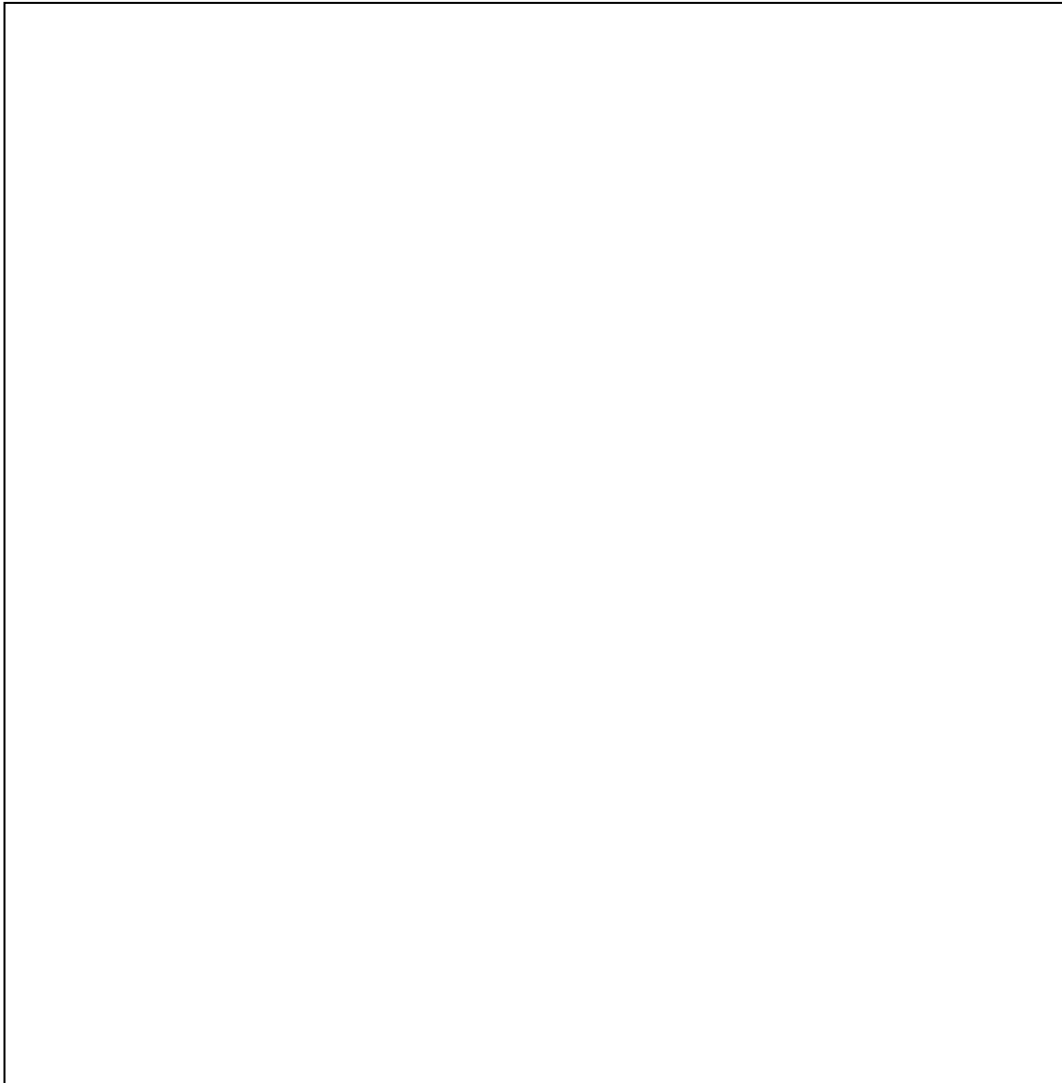
BAB 5

PENGKODEAN DATA

- 5.1. Data Digital, Sinyal-sinyal Digital**
 - NonReturn to Zero (NRZ)
 - Multilevel Biner
 - Bifase
 - Rate Modulasi
 - Teknik-teknik Scrambling
- 5.2. Data Digital, Sinyal-sinyal Analog**
 - Teknik-teknik Pengkodean
 - Kinerja
- 5.3. Data Analog, Sinyal-sinyal Digital**
 - Modulasi Kode Pulsa (Pulse Code Modulation)
 - Delta Modulation (DM)
 - Kinerja
- 5.4. Data Analog, Sinyal-sinyal Analog**
 - Amplitudo Modulation
 - Sudut Modulasi
 - Quadrature Amplitudo Modulation
- 5.5. Spektrum Penyebaran**
 - Lompatan Frekuensi
 - Deretan Langsung
- 5.6. Bacaan yang Disarankan**
- 5.7. Permasalahan**

Lampiran 5A Pembuktian Teori Sampling

RACHMANIAH	4103141008
M. ADITYA WILDAN AKBAR	4103141028
ALFIRA RIZKY AYUPUTRI	4103141039



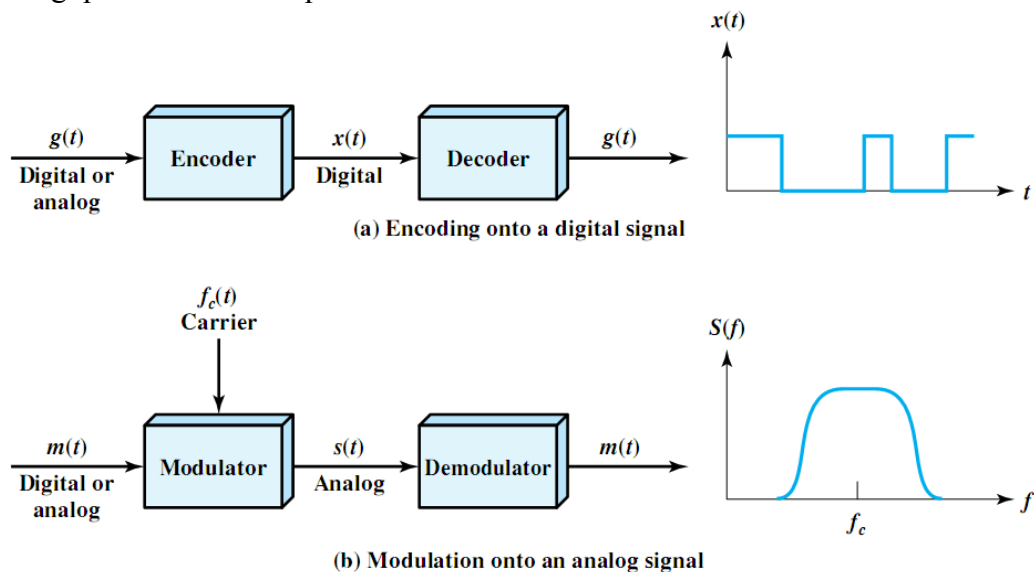
Di Bab 3 sebuah perbedaan yang jelas dibuat di antara data analog dan data digital, serta sinyal analog dan sinyal digital. Gambar 3.11 memberi petunjuk bahwa salah satu bentuk data dapat diberi kode ke dalam salah satu bentuk sinyal.

Gambar 5.1 adalah gambaran lain yang menegaskan proses yang terlibat. Untuk pensinyalan digital, suatu sumber data $g(t)$ yang dapat berupa digital maupun analog, diberi kode menjadi suatu sinyal digital $x(t)$. Bentuk aktual dari $x(t)$ tergantung pada teknik pengkodean serta pilihan untuk mengoptimalkan media transmisi yang digunakan. Sebagai contoh, pengkodean dapat dipilih apakah untuk melindungi bandwidth atau untuk mengurangi kesalahan.

Dasar pensinyalan analog adalah sinyal frekuensi-konstan kontinu yang disebut sebagai pembawa sinyal. Frekuensi dan sinyal pembawa dipilih agar sesuai dengan media transmisi yang sedang digunakan. Data ditransmisikan dengan menggunakan sinyal pembawa melalui modulasi. Modulasi adalah proses pengkodean data sumber menjadi sinyal pembawa dengan frekuensi. Semua teknik modulasi melibatkan operasi pada satu atau lebih parameter Frequency-Domain yang mendasar, yaitu: amplitudo, frekuensi, dan fase.

Sinyal input $m(t)$ bisa berupa analog ataupun digital dan disebut sinyal pemodulasi atau sinyal baseband. Hasil dari memodulasi sinyal pembawa disebut

sinyal termulasi $s(t)$. Sebagaimana yang ditunjukkan dalam gambar 5.1b, $s(t)$ adalah sinyal bandlimited (bandpass). Lokasi bandwidth pada spektrum berkaitan dengan f_c dan biasanya berpusat pada f_c . Jadi, bentuk aktual pengkodean dipilih untuk mengoptimalkan beberapa karakteristik transmisi.



Gambar 5.1 Teknik Encoding dan Modulasi

Masing-masing dari keempat kombinasi yang ditunjukkan dalam gambar 5.1 telah dipergunakan secara luas. Alasan pemilihan suatu kombinasi tertentu untuk beberapa tugas komunikasi amatlah beragam. Kita tampilkan disini beberapa alasan yang pantas:

- ❑ **Data digital, sinyal digital:** Umumnya, peralatan untuk merubah kode data digital menjadi sebuah sinyal digital tidak terlalu kompleks dan tidak terlalu mahal dibanding peralatan modulasi digital-ke-analog.
- ❑ **Data analog, sinyal digital:** Perubahan data analog ke bentuk digital memungkinkan penggunaan peralatan transmisi digital dan peralatan switching modern. Keuntungan pendekatan digital akan dibahas garis besarnya di Bagian 3.2.
- ❑ **Data digital, sinyal analog:** Beberapa media transmisi, seperti serat optik dan media unguided, hanya akan menyebarkan sinyal-sinyal analog.
- ❑ **Data analog, sinyal analog:** data analog dalam bentuk elektrik dapat ditransmisikan sebagai sinyal baseband dengan mudah dan murah. Hal ini dilakukan dengan transmisi suara melalui jalur derajat-suara. Satu penggunaan modulasi yang umum dilakukan adalah dengan mengalihkan bandwidth sinyal baseband ke bagian lain dari spektrum. Dengan cara ini, sinyal multipel, dimana masing-masing berada pada posisi yang berlainan pada spektrum, dapat membagi media transmisi yang sama. Ini disebut sebagai Frequency-Division Multiplexing.

Sekarang kita mengamati teknik-teknik yang terlibat dalam setiap kombinasi ini lalu beralih ke spektrum penyebaran yang dibagikan kedalam beberapa kategori.

5.1 DATA DIGITAL, SINYAL-SINYAL DIGITAL

Suatu sinyal digital merupakan deretan pulsa voltase terputus-putus yang berlainan dan masing-masing memiliki cirri-ciri tersendiri. Setiap pulsa merupakan sebuah elemen sinyal. Data biner ditransmisikan melalui pengkodean setiap bit data kedalam elemen-elemen sinyal. Gambar 3.13 menampilkan sebuah contoh, dimana biner 0 ditunjukkan melalui level voltase yang lebih rendah dan biner 1 melalui level voltase yang lebih tinggi. Dalam bab ini kita tunjukkan pula penggunaan berbagai skema-skema pengkodean yang lain.

Pertama, kita menentukan beberapa hal. Bila semua elemen-elemen sinyal memiliki tanda yang sama (yaitu, semua positif atau negatif), kemudian sinyal ini disebut unipolar. Dalam pensinyalan polar, satu pernyataan logika ditampilkan melalui level voltase positif, dan yang lainnya melalui level voltase negatif. Rate pensinyalan data suatu sinyal, (atau disebut rate data), adalah rate data dimana data ditransmisikan, ditunjukkan dalam bit per detik. Durasi atau panjang bit adalah jumlah waktu yang diambil transmitter untuk memancarkan bit; untuk rate data R , durasi bit adalah $1/R$. Sebaliknya, rate modulasi adalah rate dimana level sinyal berubah. Hal ini tergantung pada sifat pengkodean digital, seperti yang akan dijelaskan nanti. Rate modulasi dinyatakan dalam baud, yang berarti elemen-elemen sinyal per detik. Terakhir, istilah mark and space, karena alasan historis, menunjuk pada digit biner 1 dan 0. Table 5.1 menampilkan ringkasan istilah-istilah kunci; yang nantinya akan semakin jelas bila kita melihat pada contoh-contoh berikutnya di bagian ini.

Tugas-tugas yang dilibatkan dalam mengartikan sinyal-sinyal digital pada receiver dapat diringkas lagi dengan menunjuk pada gambar 3.13. Pertama, receiver harus mengetahui perwaktuan setiap bit. Maksudnya, receiver harus mengetahui dengan tepat saat suatu bit berawal dan berakhir. Kedua, receiver harus menentukan apakah level sinyal untuk masing-masing posisi bit itu tinggi (1) atau rendah (0). Pada gambar 3.13, tugas ini ditampilkan melalui pengambilan sampel masing-masing posisi bit ditengah-tengah interval dan membandingkan nilai tersebut dengan permulaan. Kemungkinan akan muncul error yang akan disebabkan karena derau dan gangguan-gangguan yang lain, seperti yang telah ditunjukkan.

Tabel 5.1 Istilah-istilah Kunci Komunikasi Data

Istilah	Unit-unit	Definisi
Elemen data	Bit-bit	Biner tunggal satu atau nol
Rate data	Bit per detik	Rate dimana elemen-elemen data ditransmisikan
Elemen sinyal	Digital: sebuah pulsa voltase amplitudony konstan Analog: sebuah pulsa frekuensi, fase dan amplitudo konstan	Bagian dari sinyal yang menempati interval kode
Rate pensinyalan atau rate modulasi	Elemen sinyal per detik (baud)	Rate dimana elemen-elemen sinyal ditransmisikan

Tabel 5.2 Definisi Format Pengkodean Sinyal Digital

--

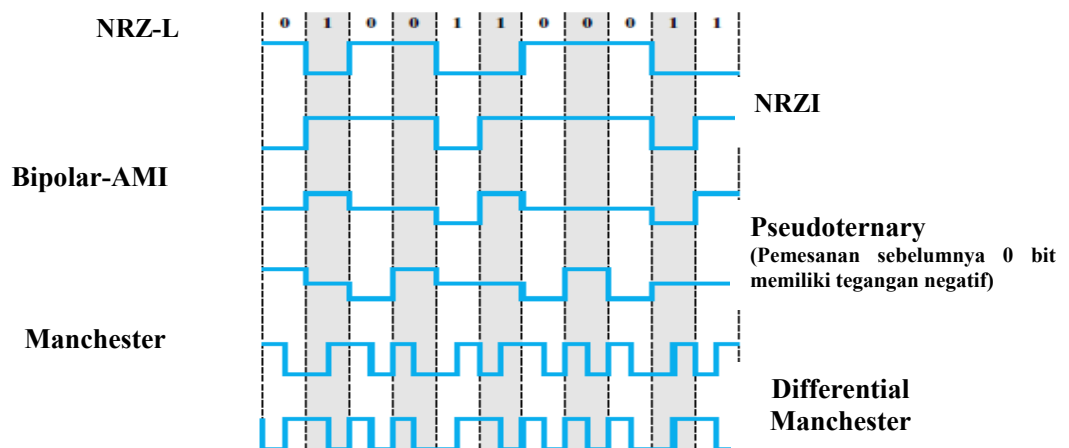
Apa faktor-faktor yang menentukan kesuksesan receiver dalam mengartikan sinyal yang datang? Kita lihat di Bab 3, di mana terdapat tiga faktor terpenting, yaitu: perbandingan sinyal terhadap derau (atau, iebih baik E_b/N_0), rate data, dan

bandwidth. Dengan factor-faktor lain yang tetap konstan, pernyataan-pernyataan berikut ini ada benarnya:

Terdapat faktor lain yang dapat dipergunakan untuk meningkatkan kinerja, yakni skema pengkodean. Skema pengkodean adalah pemetaan sederhana mulai dari bit-bit data sampai menjadi elemen-elemen sinyal. Berbagai pendekatan sudah diupayakan. Berikut ini, kita menggambarkan beberapa dari pendekatan-pendekatan yang paling umum; yakni yang ditetapkan dalam Tabel 5.2 dan ditunjukkan dalam Gambar 5.2.

Sebelum menggambarkan teknik-teknik ini, mari kita beranjak pada cara-cara mengevaluasi atau membandingkan berbagai teknik tersebut:

- ❑ **Spektrum sinyal:** Beberapa aspek spektrum sinyal sangatlah penting. Berkurangnya komponen-komponen berfrekuensi tinggi berarti kurangnya bandwidth yang diperlukan untuk transmisi. Selain itu, berkurangnya komponen arus searah (dc) juga diharapkan. Dengan komponen dc terhadap sinyal, harus ada perangkat fisik langsung untuk komponen-komponen transmisi. Tanpa dc componen, dimungkinkan pengkopelan ac melalui transformer; yang menyediakan isolasi elektrik yang sangat baik serta mampu mengurangi interferensi. Terakhir, magnitudo dampak dari distorsi sinyal dan interferensi tergantung dari sifat-sifat spektrum sinyal-sinyal yang ditransmisikan. Pada prakteknya, yang biasanya terjadi adalah fungsi transfer suatu kanal terganggu di pinggir band. Karenanya, desain sinyal yang baik harus mengkonsentrasikan daya yang ditransmisi di tengah-tengah bandwidth transmisi. Pada kasus semacam itu, bisa terjadi distorsi kecil pada sinyal yang diterima. Agar memenuhi tujuan ini, kode-kode dirancang dengan tujuan pembentukan spektrum sinyal yang ditransmisikan.



Gambar 5.2 Format-format Pengkodean Sinyal Digital

- ❑ **Clocking:** Kita menyebutkan perlunya menentukan permulaan dan akhir posisi setiap bit. Ini bukan tugas yang mudah. Pendekatan yang agak mahal adalah dengan menyediakan clock (detak) terpisah yang membawa pada sinkronisasi antara transmitter dan receiver. Alternatif lain adalah dengan menyediakan beberapa mekanisme sinkronisasi yang

didasarkan atas sinyal yang ditransmisikan. Hal ini dapat dicapai dengan pengkodean yang sesuai.

- ❑ **Pendeteksian error/kesalahan:** Kita akan membahas berbagai teknik pendeteksian kesalahan di Bab 7 dan menunjukkan bahwa ini merupakan tanggung jawab Lapisan Logik di atas level pensinyalan yang disebut sebagai Data Link Control. Bagaimanapun juga, sangatlah berguna memiliki kemampuan pendeteksian kesalahan yang dimasukkan didalam skema pengkodean pensinyalan secara fisik. Hal ini memungkinkan error/kesalahan bisa dideteksi dengan lebih cepat.
- ❑ **Kekebalan terhadap derau dan interferensi sinyal:** Beberapa kode tertentu menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam mengatasi derau. Biasanya dinyatakan dalam istilah-istilah BER.
- ❑ **Biaya dan kelengkapan:** Meskipun logika digital terus menurun harganya, faktor ini sering diabaikan. Biasanya, semakin tinggi rate pensinyalan dalam mendapatkan rate data tertentu biayanya semakin mahal. Kita akan melihat bahwa beberapa kode yang memerlukan rate pensinyalan, ternyata lebih besar dibanding rate data aktual.

Sekarang kita kembali membahas beberapa teknik.

Nonreturn to Zero (NRZ)

Yang paling umum dan paling mudah dalam mentransmisikan sinyal-sinyal digital adalah dengan menggunakan dua tingkat voltase yang berlainan untuk dua digit biner. Kode-kode yang mengikuti cara ini membagi sifat-sifat Tingkat Voltase tetap konstan sepanjang interval bit ; dalam hal ini tidak terdapat transisi (tidak kembali ke level voltase nol). Sebagai contoh, ketiadaan voltase dapat digunakan untuk menampilkan biner 0, dan voltase positif konstan untuk menampilkan biner 1. Yang lebih umum lagi, voltase negatif digunakan untuk menampilkan nilai biner 1 dan voltase positif untuk menampilkan yang lain. Kode ini disebut sebagai Nonreturn to Zero-Level (NRZ-L), yang diilustrasikan ³⁾di Gambar 5.2. NRZ-L adalah kode-kode yang sering dipergunakan untuk membangkitkan atau mengartikan data digital melalui terminal atau perangkat-perangkat lain. Bila sebuah kode yang berlainan diperlukan untuk transmisi, biasanya dia dibangkitkan melalui metode NRZ-L oleh sistem transmisi [menurut Gambar 5.1, NRZ-L dinyatakan dalam $g(t)$ dan sinyal yang diberi kode dalam $x(t)$].

Sebuah variasi lain dari NRZ, yaitu NRZI (Nonreturn to Zero, invert on ones). Sama halnya dengan NRZ-L, NRZI mempertahankan pulsa voltase konstan untuk durasi waktu bit. Data-data itu sendiri ditandai saat kehadiran atau ketidakhadiran transisi sinyal pada permulaan waktu bit. Adanya transisi (rendah ke tinggi atau tinggi ke rendah) pada permulaan waktu bit menunjukkan biner 1 untuk bit waktu tersebut; tanpa transisi menunjukkan biner 0.

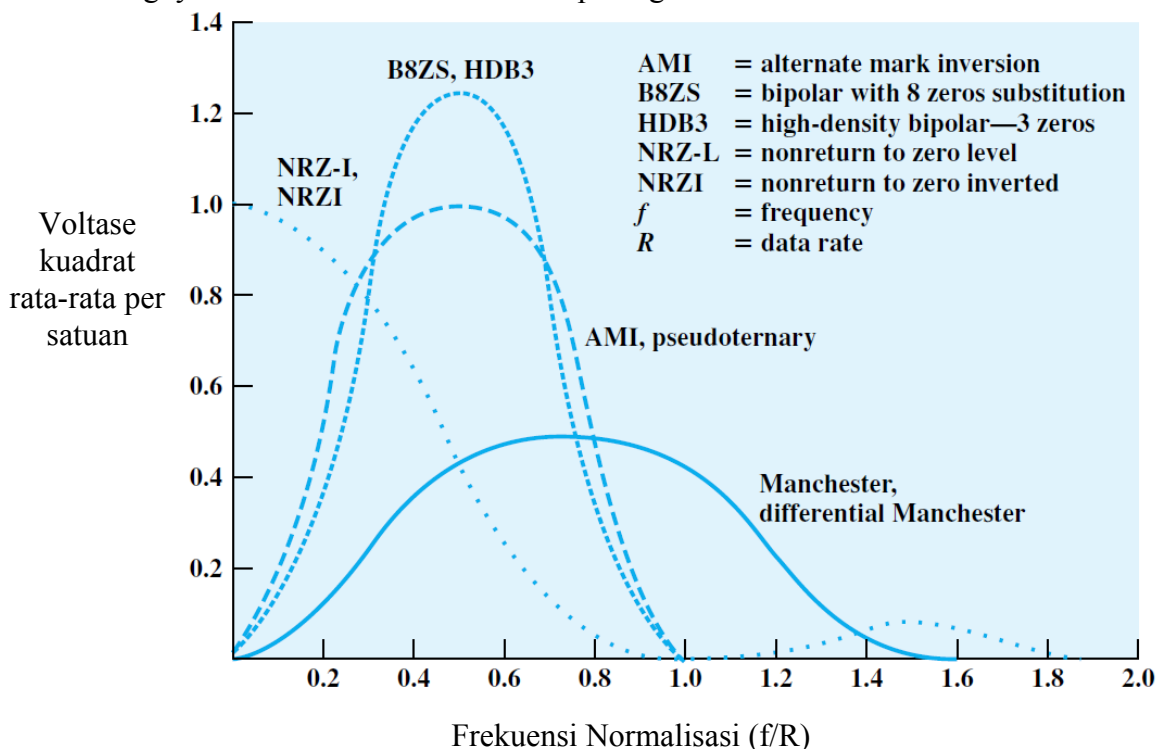
NRZI adalah contoh dari pengkodean diferensial. Pada pengkodean diferensial, informasi yang ditransmisikan lebih ditujukan pada pengertian susunan simbol-simbol data yang berurutan dibandingkan dengan elemen-elemen sinyal itu sendiri. Umumnya, Pengkodean bit yang datang ditetapkan sebagai

berikut : Bila bit yang datang berupa biner 0, berarti penandaan bit sama dengan sinyal pada bit sebelumnya, tetapi bila bit yang datang berupa biner 1, maka bit tersebut ditandai dengan sinyal yang berbeda dari bit sebelumnya.

Satu keuntungan dengan pemberian kode yang berbeda adalah kemudahan atau keandalan mendeteksi transisi derau yang ada daripada dengan membandingkan nilai tersebut dengan threshold. Keuntungan lainnya adalah dalam rancangan transmisi yang rumit, semakin mudah kita untuk melepaskan sifat polaritas sinyal. Sebagai contoh, pada jalur twisted pair multi drop, bila leads pada perangkat yang dipasang di twisted pair kebetulan terbalik, maka keseluruhan 1s dan 0s untuk NRZ-L akan terbalik pula. Hal ini tidak akan terjadi dengan pemberian kode yang berbeda.

Kode-kode NRZ merupakan cara termudah dalam mengefisienkan penggunaan band- width. Sifat yang berikutnya diilustrasikan pada Gambar berbeda-beda 5.3, yang membandingkan kerapatan spectrum dari berbagai skema pengkodean yang berbeda-beda. Pada gambar tersebut, frekuensi dinormalisasi terhadap rate data. Sebagaimana yang bisa dilihat, sebagian besar energi didalam sinyal-sinyal NRZ dan NRZI berada diantara dc dan dan pertengahan rate bit. Sebagai contoh, bila sebuah kode NRZ digunakan untuk menggerakkan sinyal dengan rate data sebesar 9600 bps, sebagian besar energi didalam sinyal dipusatkan di antara dc dan 4800 Hz.

Kelemahan utama untuk sinyal-sinyal NRZ adalah keberadaan dc componen dan kurangnya kemampuan sinkronisasi. Untuk menggambarkan problem itu, perhatikan bahwa dengan sebuah string panjang sebesar 1s atau 0s untuk NRZ-L atau sebuah string panjang sebesar 0s untuk NRZI, menghasilkan output voltase tetap selama beberapa perioda waktu. Dalam keadaan seperti ini, apapun penyimpangan pada pewaktuan antara transmitter dan receiver akan menyebabkan hilangnya sinkronisasi di antara kedua perangkat tersebut.



Gambar 5.3 Kerapatan Spektrum Berbagai Skema Pengkodean Sinyal

Karena kesederhanaan serta karakteristik respons frekuensi-rendahnya, kode-kode NRZ umumnya digunakan untuk perekaman magnetic digital. Bagaimanapun juga, keterbatasan-keterbatasan mereka membuat kode-kode ini menjadi tidak menarik untuk diterapkan pada aplikasi-aplikasi transmisi sinyal

Multilevel Biner

Golongan teknik-teknik pengkodean yang disebut sebagai multilevel biner diarahkan untuk mengatasi ketidakefisienan kode-kode NRZ. Kode-kode ini menggunakan lebih dari dua level sinyal. Dua contoh untuk skema ini diilustrasikan pada Gambar 5.2, yakni, bipolar AMI

(alternate mark inversion) dan pseudoternary.⁴⁾

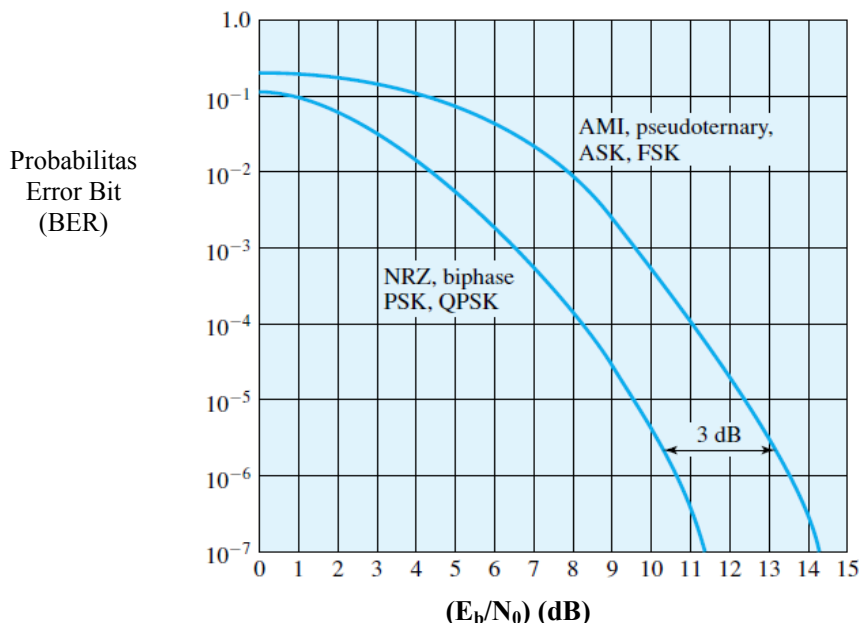
Dalam kasus skema bipolar ITU-T, biner 0 ditampilkan melalui Nonsinyal Pada Jalur (no line signal) sedangkan biner 1 ditampilkan melalui pulsa positif atau negatif. Pulsa biner 1 harus berganti-ganti polaritasnya. Terdapat beberapa keuntungan untuk pendekatan ini. Pertama, kehilangan sinkronisasi tidak akan terjadi bila muncul string panjang 1s. Masing-masing biner 1 menghasilkan sebuah transisi, dan receiver dapat melakukan sinkronisasi kembali pada transmisi tersebut. String panjang sebesar biner 0 masih akan menjadi suatu masalah. Kedua, karena sinyal-sinyal biner 1 berganti voltase dari positif ke negatif maka, tidak ada dc komponen murni. Selain itu, bandwidth dari sinyal-sinyal yang dihasilkan sangat tipis dibandingkan bandwidth untuk NRZ (Gambar 5.3). Terakhir, sifat pulsa yang berganti-ganti memungkinkan hanya diperlukan suatu alat sederhana untuk mendeteksi kesalahan. Apapun error yang terisolasi, apakah error yang menghapus pulsa ataukah yang menambah pulsa, menyebabkan penyimpangan dari sifat-sifat ini.

Ulasan dari paragraf sebelumnya juga dapat diterapkan untuk pseudoternari. Dalam hal ini, biner 1 lah yang sesuai untuk melalui ketiadaan sinyal pada jalur, dan biner 0 melalui pulsa yang berganti-ganti negatif dan positif. Tidak ada kelebihan khusus teknik yang satu terhadap teknik yang lain, dan masing-masing menjadi dasar untuk diterapkan pada aplikasi yang sesuai.

Meskipun derajat sinkronisasi dilengkapi dengan kode-kode ini, string panjang biner 0 dalam kasus AMI atau biner 1 dalam kasus pseudoternari masih menampilkan masalah. Beberapa teknik yang dipergunakan untuk mengatasi ketidakefisienan ini. Satu pemecahannya adalah dengan menyelipkan bit-bit tambahan yang menciptakan transisi. Teknik ini digunakan pada ISDN untuk transmisi rate data rendah secara relatif. Tentu saja, pada rate data yang tinggi, skema ini dianggap mahal, karena harus terjadi pada rate transmisi sinyal yang tinggi. Untuk mengatasi masalah ini pada rate data yang tinggi, teknik yang melibatkan pemilihan data dipergunakan. Kita menguji dua contoh dari teknik ini nanti di bagian ini.

Jadi, dengan modifikasi yang sesuai, skema biner multilevel mampu mengatasi problem-problem kode NRZ. Tentu saja, saat keputusan rancangan disusun, saat itu juga terjadi pemilihan kemungkinan-kemungkinan. Dengan pengkodean biner multilevel, sinyal jalur menerima satu dari tiga level, namun masing-masing elemen sinyal, yang dapat menampilkan $\log_2 3 = 1,58$ bit informasi, hanya memuat satu bit informasi. Jadi, biner multilevel tidak seefisien pengkodean NRZ. Cara lain untuk menyatakan ini adalah bahwa receiver sinyal-sinyal biner multilevel harus membedakan diantara ketiga level (+A, -A, 0) daripada hanya dua level dalam format pensinyalan yang sebelumnya sudah

dibahas. Karena hal ini, sinyalbiner multilevel memerlukan daya sinyal kira-kira 3 dB lebih dibanding sebuah sinyal bernilai dua untuk probabilitas yang sama dalam kesalahan bit. Hal ini diilustrasikan dalam gambar 5.4. Dengan mengambil cara lain, rate error bit untuk kode-kode NRZ secara signifikan lebih rendah dibanding untuk biner multilevel., pada rasio sinyal-terhadap-derau tertentu.



Gambar 5.4 Rate error Bit Secara Teoritis Untuk Berbagai Skema Pengkodean

Bifase

Terdapat serangkaian teknik pengkodean yang lain, dikelompokkan ke dalam istilah *bifase*, yang mengatasi keterbatasan kode-kode NRZ. Dua dari teknik-teknik ini Manchester dan Differential Manchester, sudah dipergunakan secara luas.

Pada kode **Manchester**, terdapat transisi ditengah-tengah setiap perioda bit. Transisi pertengahan bit bermanfaat sebagai mekanisme detak dan sekaligus sebagai data transisi rendah-ke-tinggi menggambarkan 1, sedangkan transisi tinggi-ke-rendah menggambarkan 0. Pada **Diferensial Manchester**, transisi pertengahan bit hanya digunakan untuk menyediakan detak. Pengkodean 0 digambarkan melalui keberadaan transisi pada permulaan perioda bit. Diferensial Manchester memiliki keuntungan tambahan dengan menggunakan pengkodean diferensial.

Semua teknik Bifase memerlukan paling sedikit satu transisi per bit waktu dan mungkin mempunyai dua transisi. Jadi, dua kalinya yang diperlukan NRZ; ini berarti bahwa bandwidth yang diperlukan tentunya lebih besar. Dengan kata lain, skema biphase memiliki beberapa keuntungan antara lain:

- ❑ **Sinkronisasi:** Karena terdapat transisi yang dapat diprediksikan sebelumnya sepanjang setiap satuan waktu bit waktu, receiver menjadi

sinkron pada transisi tersebut. Untuk alasan ini, kode-kode bifase dikenal sebagai kode-kode swadetak.

- ❑ **Tanpa komponen dc:** Kode-kode bifase tidak memiliki komponen dc, yang manfaatnya sudah dijelaskan pada bagian awal buku ini.
- ❑ **Pendeteksian kesalahan:** Tidak adanya transisi yang diharapkan dapat digunakan untuk mendeteksi error. Derau pada jalur tidak akan membalikkan sinyal baik sebelum maupun sesudah transisi yang diharapkan menimbulkan error yang tak terdeteksi.

Sebagaimana yang telah kita lihat dan Gambar 53, bandwidth untuk kode-kode bifase agak sempit dan tidak memiliki dc componen. Akan tetapi bagaimanapun juga, bandwidth untuk kode-kode bifase Jebih lebar dibanding bandwidth untuk kode-kode biner multilevel.

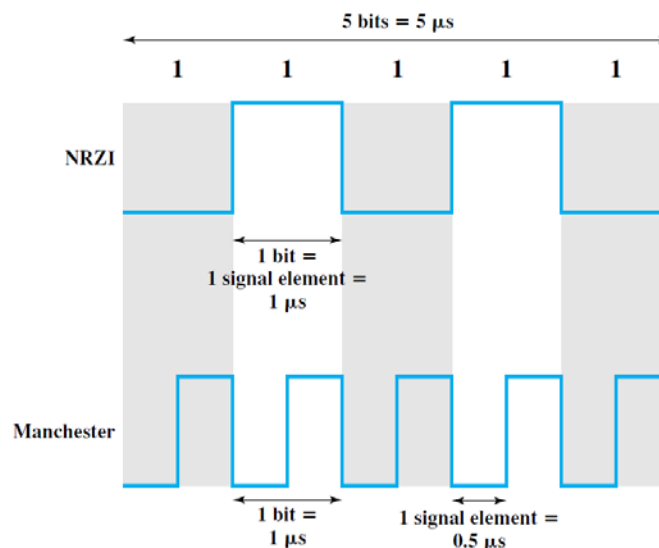
Kode-kode bifase merupakan teknik yang populer untuk transmisi data. Kode Manchester yang lebih umum sudah ditetapkan untuk standar IEEE 802,3 untuk baseband kabel koaksial dan twisted pair CSMA/CD bus LAN. Differential Manchester sudah ditetapkan untuk token ring IEEE 802.5 LAN, menggunakan shielded twisted pair..

Rate Modulasi

Saat teknik-teknik pengkodean sinyal digunakan, perlu dibuat suatu perbedaan jelas antara rate data (dinyatakan dalam bit per detik) dan rate modulasi (dinyatakan dalam baud). Rate data, atau rate bit, adalah $1/t_b$ dimana t_b durasi bit. Rate modulasi adalah rate tempat elemen-elemen sinyal dimunculkan. Untuk contoh, diambil pengkodean Manchester. Elemen sinyal berukuran minimum adalah sebuah pulsa satu setengah durasi dari sebuah interval bit. Untuk sebuah string semua binary nol atau semua binari satu, aliran kontinu dari pulsa semacam itu dibangkitkan. Karenanya, rate modulasi maksimum untuk Manchester adalah $2/t_b$. Keadaan ini diilustrasikan di gambar 5.5, yang menunjukkan transmisi suatu aliran biner 1 dengan rate data sebesar 1Mbps menggunakan NRZI dan Manchester.

$$D = \frac{R}{b}$$

Dimana: D = rate modulasi, baud R = rate data, bps
b = jumlah bit per elemen sinyal



Gambar 5.5 Sebuah Aliran Biner Pada 1 Mbps

Salah satu cara menentukan karakteristik rate modulasi adalah dengan menentukan rata-rata jumlah transisi yang terjadi per waktu bit, dan hal ini tergantung pada runtunan tetap bit yang ditransmisikan. Tabel 5.3 adalah perbandingan dari rate transisi untuk berbagai macam teknik. Di sini digambarkan rate transisi sinyal pada suatu aliran data berayun dari 1 dan 0, serta untuk arus data yang menghasilkan rate modulasi maksimum dan minimum.

Teknik-Teknik Scrambling

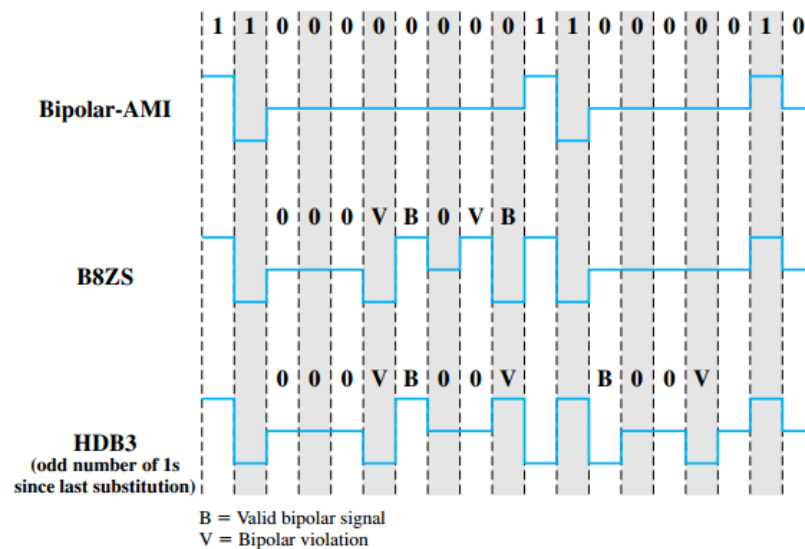
Meskipun teknik bifase sudah digunakan secara luas untuk aplikasi-aplikasi Lokal Area Network pada rate data yang relatif tinggi (mencapai 10 Mbps), namun tidak terlalu dimanfaatkan untuk aplikasi-aplikasi jarak jauh. Alasan utamanya karena teknik bifase memerlukan rate data dengan pensinyalan lebih tinggi. Sehingga lebih memakan biaya untuk aplikasi jarak jauh.

Pendekatan lain adalah dengan menggunakan beberapa skema scrambling. Gagasan dibalik skema ini sederhana sekali yaitu menghasilkan level voltase konstan dijaluranya dan digantikan oleh Runtunan Pengisi (yang akan menyediakan transisi yang cukup untuk detak-receiver dalam memelihara sinkronisasi). Runtunan Pengisi harus dikenal receiver dan akan digantikan dengan runtunan yang asli. Runtunan pengisi ini sama panjangnya dengan Runtunan yang asli, sehingga tidak ada peningkatan rate data. Tujuan desain untuk pendekatan ini dapat diringkas sebagai berikut:

Tabel 5.3 Rate Transisi Sinyal Ternormalisasi Dari Berbagai Rate Pengkodean Sinyal

	Minimum	101010...	Maksimum
NRZ – L	0 (Semua 0 atau 1)	1.0	1.0
NRZI	0 (semua 0)	0.5	1.0 (semua 1)
Bipolar-AMI	0 (semua 0)	1.0	1.0
Pseudoternary	0 (semua 1)	1.0	1.0
Manchester	1.0 (1010...)	1.0	2.0 (semua 0 atau 1)
Differential Manchester	1.0 (semua 1)	1.5	2.0 (semua 0)

Bipolar AMI



Gambar 5.6 Aturan-aturan pengkodean untuk B8ZS dan HDB3

- ☐ Tanpa dc componen
- ☐ Tanpa runtunan panjang dari sinyal jalur level-nol
- ☐ Tanpa pengurangan rate data
- ☐ Kemampuan mendeteksi kesalahan

Ada dua teknik yang umum digunakan dalam layanan transmisi jarak jauh, dan keduanya diilustrasikan di Gambar 5.6.

Skema pengkodean yang biasanya digunakan di Amerika Utara dikenal sebagai Bipolar Dengan 8 Nol Tertukar (B8ZS). Skema pengkodean ini didasarkan atas bipolar-AMI. Kita sudah melihat bahwa kekurangan kode AMI adalah string panjang nol bisa menyebabkan hilangnya sinkronisasi. Untuk mengatasi masalah ini pengkodean diubah dengan beberapa aturan berikut ini:

- ☐ Bila suatu oktap dari semua nol muncul dan pulsa voltase terakhir dari oktap sebelumnya adalah positif, maka dihasilkan delapan nol oktap yang ditandai dengan kode 000+-0-+
- ☐ Bila suatu oktap dari semua nol muncul an pulsa voltase terakhir dari oktap sebelumnya adalah negatif, maka dihasilkan delapan nol oktap yang ditandai dengan kode 000-+0+-

Tabel 5.4

HDB3 Substitution Rules

Polarity of Preceding Pulse	Number of Bipolar Pulses (Ones) since Last Substitution	
	Odd	Even
-	000-	+00+
+	000+	-00-

Teknik ini memaksa dua kode penyimpanan pada kode AMI (pola-pola sinyal yang tidak diperbolehkan di AMI), hal ini tidak mungkin disebabkan oleh derau atau gangguan transmisi yang lain. Receiver mengenali pola dan mengartikan oktap berisi semua nol.

Skema pengkodean yang biasa digunakan di Eropa dan Jepang disebut sebagai kode Kerapatan Tinggi Bipolar-3 nol (HDB3) (Tabel 5.4). Sama seperti sebelumnya, kode ini juga didasarkan atas pengkodean AMI. Dalam hal ini, skema menggantikan string dari empat nol dengan runtunan yang berisikan satu atau dua pulsa. Pada masing-masing kasus, empat nol digantikan dengan sebuah kode penyimpanan. Selain itu, diperlakukan suatu aturan untuk memastikan bahwa penyimpanan yang terjadi berturut-turut berasal dari pergantian polaritas sehingga tidak akan ada dc komponen yang muncul. Jadi, bila penyimpanan terakhir positif, maka penyimpanan ini harus menjadi negatif dan begitu seterusnya. Tabel 5.4 menunjukkan kondisi ini diuji dengan cara menentukan (1) apakah jumlah pulsa sejak pelanggaran terakhir genap atau ganjil, dan (2) polaritas pulsa terakhir sebelum kemunculan empat nol.

Gambar 5.3 menunjukkan sifat-sifat spektrum kedua kode ini. Sebagaimana yang bisa dilihat, tidak satupun dari keduanya memiliki dc komponen. Sebagian besar energi dipusatkan pada spektrum tajam relatif yang terjadi disekitar frekuensi yang sama dengan satu setengah rate data. Jadi, kode-kode ini sangat sesuai untuk transmisi rate data yang tinggi.

5.2 DATA DIGITAL, SINYAL-SINYAL ANALOG

Sekarang kita kembali ke kasus pentransmisian data digital menggunakan sinyal-sinyal analog. Yang paling sering dilakukan adalah dengan mentransmisikan data digital melalui jaringan telepon umum. Jaringan telepon dirancang untuk menerima, mengalihkan, dan mentransmisikan sinyal-sinyal analog dengan rentang frekuensi suara berkisar 300 sampai 3400 Hz. Ini sangat sesuai untuk menangani sinyal-sinyal digital dari lokasi pelanggan (meskipun hal ini mulai berubah). Jadi perangkat-perangkat digital yang dipasang ke jaringan melalui sebuah modem (modulator-demodulator), dapat mengubah data digital ke sinyal-sinyal analog.

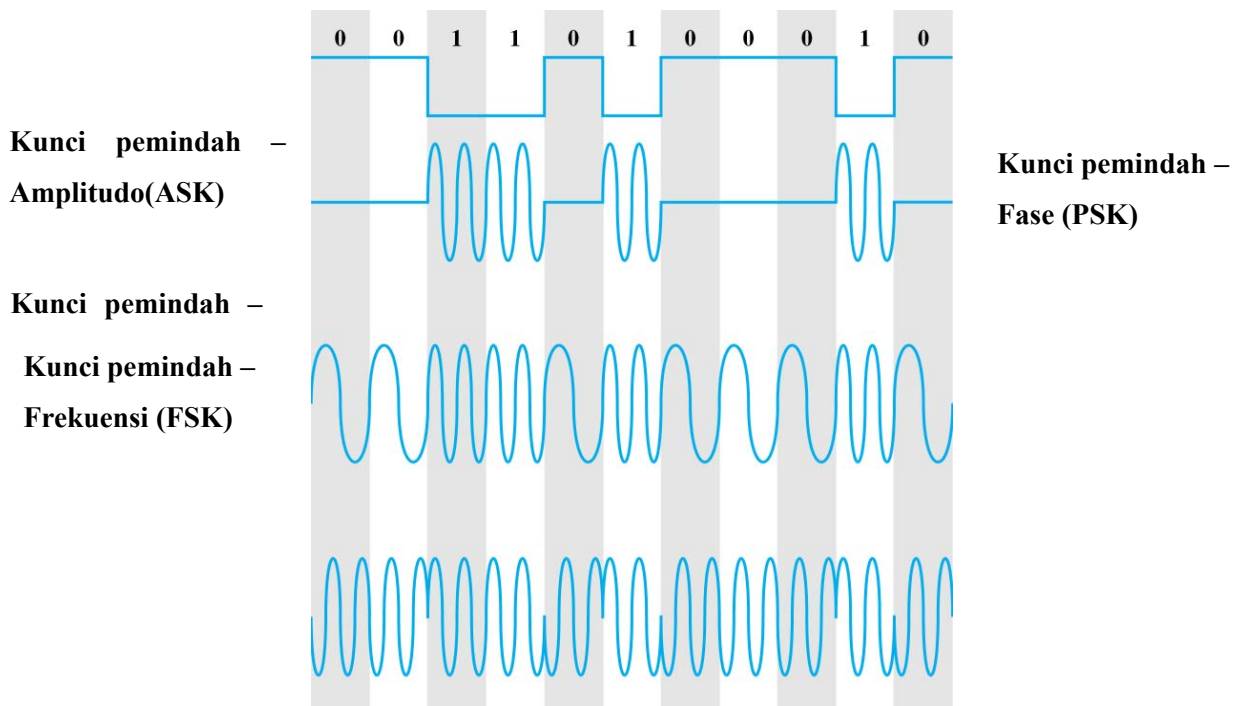
Untuk jaringan telepon, digunakan modem-modem yang menghasilkan sinyal-sinyal dalam rentang frekuensi suara. Teknik-teknik dasar yang sama digunakan untuk modem yang menghasilkan sinyal-sinyal pada frekuensi yang lebih tinggi (misalnya, gelombang mikro). Bagian ini memperkenalkan teknik-teknik ini dan menyajikan pembahasan singkat mengenai karakteristik-karakteristik kinerja pendekatan-pendekatan alternative.

Teknik-Teknik Pengkodean

Kita sebutkan bahwa modulasi dipengaruhi oleh satu atau lebih dari tiga karakteristik sinyal pembawa, yaitu: amplitudo, frekuensi, dan fase. Jadi, terdapat tiga dasar pengkodean atau teknik modulasi untuk mentransformasikan data digital menjadi sinyal-sinyal analog, seperti yang diilustrasikan di Gambar 5.7.

- Amplitudo-shift keying (ASK)
- Frequency-shift keying (FSK)
- Phase-shift keying (PSK)

Untuk ketiga kasus ini, sinyal yang dihasilkan menempati bandwidth di tengah-tengah frekuensi pembawa.



Gambar 5.7 Modulasi Sinyal Analog untuk Data Digital

Amplitudo Shift Keying

Pada ASK, dua nilai biner dilambangkan dua amplitude berbeda dari frekuensi sinyal pembawa. Umumnya, salah satu dari amplitude adalah nol; yaitu, satu digit biner yang ditunjukkan melalui keberadaan sinyal pada amplitudo yang konstan dari suatu sinyal pembawa, sedangkan yang lain melalui ketidakadaan sinyal pembawa. Sinyal yang di hasilkan adalah

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & \text{binary 1} \\ 0 & \text{binary 0} \end{cases}$$

ASK

Dimana sinyal pembawa adalah $A \cos(2\pi f_c t)$. ASK rentan terhadap perubahan bati (gain) yang terjadi tiba-tiba serta merupakan teknik modulasi yang tidak terlalu efisien. Pada jalur derajat-suara, biasanya hanya digunakan sampai 1200bps.

Teknis ASK digunakan untuk mentransmisikan data digital sepanjang serat optic. Untuk transmitter LED, persamaan sebelumnya cukup valid. Yakni, satu elemen sinyal ditunjukkan melalui sebuah pulsa cahaya sementara elemen sinyal yang lain ditunjukkan melalui ketidakberdayaan cahaya. Transmitter laser pada umumnya memiliki arus 'bias' tertentu yang menyebabkan perangkat menyebarkan level cahaya yang rendah. Level yang rendah ini menunjukkan satu elemen sinyal, disisi lain pada gelombang cahaya amplitude yang lebih tinggi menunjukkan elemen sinyal yang lain.

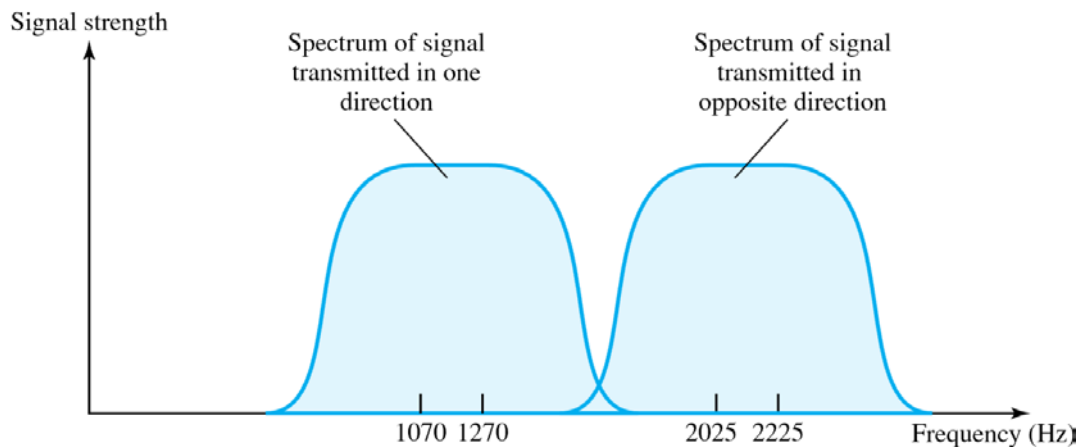
Frequency Shift Keying

Pada FSK, dua nilai biner yang ditunjukkan oleh dua frekuensi yang berbeda di dekat frekuensi pembawa. Sinyal yang dihasilkan adalah.

$$\text{FSK} \quad s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_1 t) & \text{binary 1} \\ A \cos(2\pi f_2 t) & \text{binary 0} \end{cases}$$

Dimana f_1 dan f_2 penyeimbang khusus dari frekuensi pembawa F_c oleh persamaan namun dengan jumlah yang berlawanan.

Gambar 5.8 menunjukkan sebuah contoh dari penggunaan FSK untuk operasi full-duplex sepanjang jalur derajat-suara. Gambar tersebut merupakan spesifikasi untuk modem seri Bell System 108. Ingat bahwa jalur derajat-suara akan melewati frekuensi pada kisaran rentang 300 sampai 3400 Hz, sedangkan full duplex berarti sinyal-sinyal ditransmisikan dua arah pada saat yang bersamaan. Untuk mencapai transmisi full duplex, bandwidth terbagi. Pada salah satu arah (mentransmisi atau menerima) frekuensi-frekuensi digunakan untuk menampilkan 1 dan 0 dipusatkan pada 1170 Hz, dengan perubahan sebesar 100 Hz pada sisi yang lain. Dampak dari pergantian antara dua frekuensi tersebut adalah menghasilkan suatu sinyal yang spektrumnya diindikasikan sebagai daerah berbayang-bayang di sebelah kiri dalam gambar 5.8. hampir sama dengan itu, untuk arah yang lain (menerima atau mentransmisi) modem menggunakan frekuensi-frekuensi yang diubah 100 Hz untuk setiap sisi frekuensi tengah dari 2125 Hz. Sinyal ini ditunjukkan daerah berbayang-bayang pada sisi sebelah kanan pada Gambar 5.8. patut dicatat bahwa hanya terdapat sedikit tumpang tindih dan sedikit interferensi.



Gambar 5.8 Transmisi FSK full Duplex pada Jalur Derajat Suara

Pada FSK, fase sinyal pembawa diubah untuk menampilkan data. Bagian bawah dari Gambar 5.7 merupakan contoh dari sistem dua-fase. Pada sistem ini, biner 1 ditunjukkan dengan cara mengirimkan hentakan signal dari fase yang sama seperti hentakan sinyal yang dikirim sebelumnya. Ini disebut diferensial PSK, karena perubahan fase lebih berkaitan dengan bit yang ditransmisikan sebelumnya, daripada dengan sinyal patokan secara konstan. Sinyal yang dihasilkan adalah

$$\text{PSK} \quad s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) \\ A \cos(2\pi f_c t + \pi) \end{cases} = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & \text{binary 1} \\ -A \cos(2\pi f_c t) & \text{binary 0} \end{cases}$$

Dengan fase diukur relative terhadap internal bit sebelumnya.

Penggunaan bandwidth yang lebih efisien lagi bisa dicapai bila setiap elemen pensinyalan menunjukkan lebih dari satu bit. Sebagai contoh, sebagai pengganti dari perubahan fasa sebesar 180° , sebagaimana yang diperbolehkan dalam PSK, teknik pemberian kode yang umum, disebut sebagai Kunci Perubahan Fase Quadrature (KPFQ), menggunakan multiple perubahan fase sebesar $\pi/2(90^\circ)$

$$\text{QPSK} \quad s(t) = \begin{cases} A \cos \left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4} \right) & 11 \\ A \cos \left(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{4} \right) & 10 \\ A \cos \left(2\pi f_c t + \frac{5\pi}{4} \right) & 00 \\ A \cos \left(2\pi f_c t + \frac{7\pi}{4} \right) & 01 \end{cases}$$

Jadi setiap elemen sinyal menghasilkan dua bit daripada satu bit.

Skema ini masih dapat diperluas. Dapat mentransmisikan bit-bit, tiga pada saat yang bersamaan dengan menggunakan delapan sudut fase yang berbeda. Selanjutnya, masing-masing sudut dapat memiliki lebih dari satu amplitudo. Sebagai contoh, sebuah modem standar 9600 bps menggunakan 12 sudut fase, empat di antaranya memiliki dua nilai amplitudo.

Contoh berikutnya ini memberi penjelasan yang sangat baik mengenai perbedaan antara rate data R (dalam bps) dan rate modulasi D (dalam baud) dari suatu sinyal. Sekarang kita sumpahkan bahwa skema ini dipergunakan dengan input digital NRZ-L. maka rate datanya adalah $R = 1/t_B$, di mana t_B adalah lebar setiap bit NRZ-L. bagaimanapun juga, sinyal yang diberi kode berisikan $b=4$ bit dalam setiap elemen sinyal menggunakan $L=16$ kombinasi amplitudo dan fase yang berlainan. Rate modulation bisa dilihat sebagai $R/4$ karena setiap perubahan elemen sinyal mengkomunikasikan 4 bit. Jadi, kecepatan pensinyalan jalur adalah sebesar 2400 baud, namun rate datanya sebesar 9600 bps. Ini adalah alasan dimana rate bit yang lebih tinggi bisa diperoleh sepanjang jalur derajat-suara dengan cara menggunakan skema-skema modulasi yang lebih kompleks.

Rumusan umumnya adalah:

$$D = \frac{R}{b} = \frac{R}{\log_2 L}$$

Dimana

D = Rate modulasi, baud

R = Rate data, bps

L = Jumlah elemen-elemen sinyal yang berlainan

b = Jumlah bit per elemen sinyal

Pada pembahasan sebelumnya itu memang nampak rumit bila teknik pengkodeannya ternyata lain dibanding NRZ yang digunakan. Sebagai contoh, kita lihat bahwa modulation rate maksimum untuk sinyal-sinyal bifase adalah $2/t_B$. Sehingga D untuk bifase lebih besar dibanding D untuk NRZ. Hal ini untuk beberapa pecahan menambah laju pengurangan dalam D yang terjadi menggunakan teknik-teknik modulasi sinyal multilevel.

Phase Shift Keying

Pada PSK, fase pada sinyal carrier adalah perubahan untuk mewakili data.

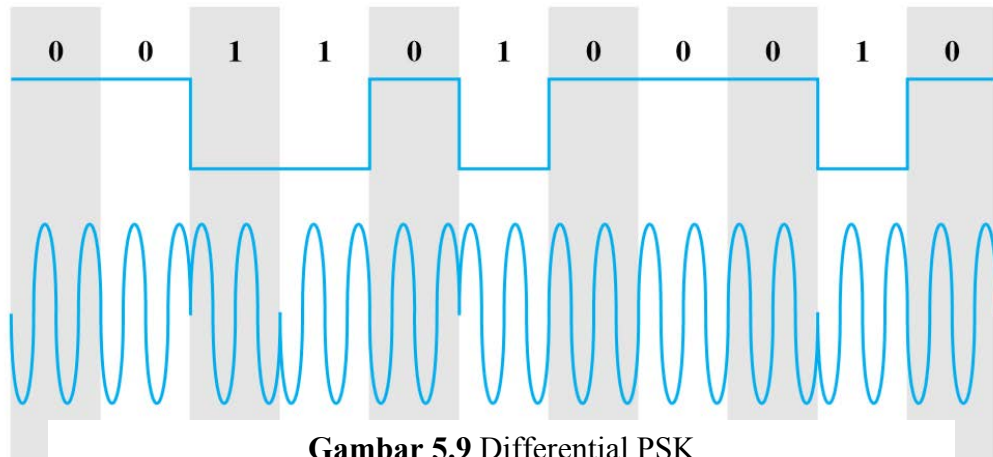
Binary PSK. yang paling sederhana dengan menggunakan dua fase di

wakili dua digit biner. Hasil yang di transmisikan sinyal untuk satu bit adalah

$$\text{BPSK} \quad s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) \\ A \cos(2\pi f_c t + \pi) \end{cases} = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & \text{binary 1} \\ -A \cos(2\pi f_c t) & \text{binary 0} \end{cases}$$

Differential PSK

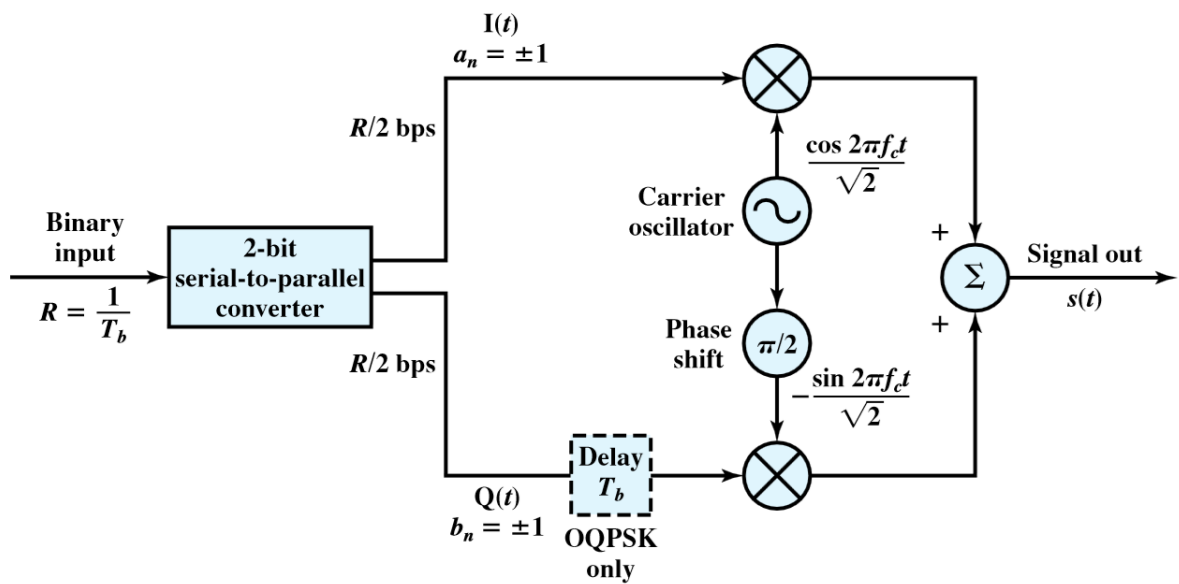
Perubahan fase relative untuk transmisi sebelumnya lebih dari beberapa sinyal referensi



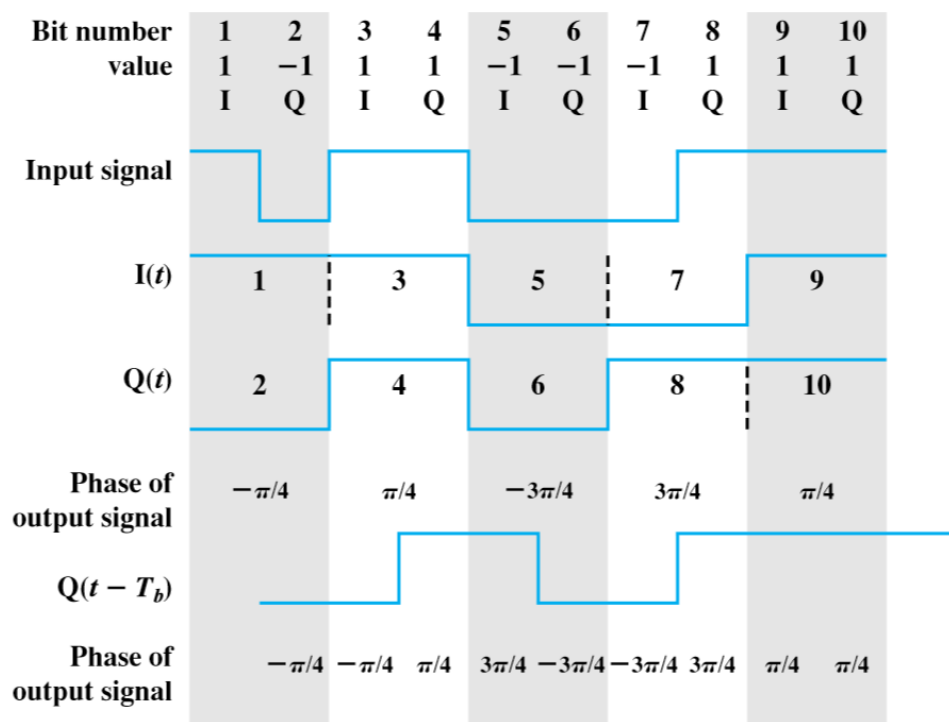
Gambar 5.9 Differential PSK

Quadrature PSK

- ☐ Penggunaan lebih efisien oleh tiap elemen sinyal diwakili lebih dari satu bit
- ☐ Misalnya perubahan pada $\pi/2$ (90°)
- ☐ Tiap elemen diwakili dua bit
- ☐ Dapat digunakan 8 sudut fase dan memiliki lebih dari satu amplitude
- ☐ 9600 bps modem menggunakan sudut 12, empat pada tiap dua amplitude
- ☐ Offset QPSK (Orthogonal QPSK)
- ☐ Delay dalam aliran Q



Gambar 5.10 Modulator QPSK dan OQPSK



Gambar 5.11 Contoh pada gelombang QPSF dan OQPSK

Kinerja

Dengan melihat pada kinerja beberapa skema modulasi digital-ke-analog, parameter pertama perhatian kita adalah pada bandwidth sinyal yang dimodulasikan. Ini tergantung pada berbagai factor, termasuk pada definisi bandwidth yang digunakan dan teknik penggunaan filter yang dimanfaatkan untuk menciptakan sinyal bandpass. Kita akan menggunakan beberapa hasil yang jelas dari [COUC97].

Bandwidth transmisi B_T untuk ASK dalam bentuk

$$B_T = (1 + r)R$$

Di mana R adalah rate bit dan r berkaitan dengan teknik menyaring sinyal untuk menetapkan bandwidth transmisi; biasanya $0 < r < 1$. Jadi bandwidth berhubungan langsung dengan rate bit. Rumus yang sebelumnya juga berlaku untuk FSK.

Untuk PSK, bandwidth dinyatakan dengan

$$B_T = 2\Delta F + (1 + r)R$$

Di mana $\Delta F = f_2 - f_c = f_c - f_1$ adalah penyeimbang frekuensi yang dimodulasi dari frekuensi pembawa. Bila menggunakan frekuensi yang sangat tinggi, dipakai symbol ΔF . Sebagai contoh, salah satu standar untuk pensinyalan FSK untuk jaringan local coaxial cable multipoint menggunakan $\Delta F = 1,25$ MHz, $f_c = 5$ MHz, dan $R = 1$ Mbps; dalam hal ini, istilah $2\Delta F = 2,5$ MHz dipakai. Pada contoh di bagian sebelumnya mengenai modem Bell 108, $\Delta F = 100$ Hz, $f_c = 1170$ Hz (dalam satu arah), dan $R = 300$ bps; dalam hal ini di pakai istilah $(1+r)R$.

Dengan pensinyalan multilevel, terdapat peningkatan yang cukup berarti dalam hal bandwidth. Umumnya :

Tabel 5.5 Rate Data Untuk Perbandingan Bandwidth Transmisi untuk Berbagai Skema Pengkodean Digital ke Analog

		$r = 0$	$r = 0,5$	$r = 1$
ASK		1,0	0,67	0,5
FSK				
Band Lebar	$(\Delta F \gg R)$	~ 0	~ 0	~ 0
Band Sempit	$(\Delta F = f_c)$	1,0	0,67	0,5
PSK		1,0	0,67	0,5
Pensinyalan multilevel				
$L = 4, b = 2$		2,00	1,33	1,00
$L = 8, b = 3$		3,00	2,00	1,50
$L = 16, b = 4$		4,00	2,67	2,00
$L = 32, b = 5$		5,00	3,33	2,50

$$B_T = \left(\frac{1+r}{L} \right) R = \left(\frac{1+r}{\log_2 M} \right) R$$

Di mana L adalah jumlah bit yang diberi kode per elemen sinyal dan M adalah jumlah elemen-elemen sinyal yang berlainan.

Table 5.5 menunjukkan perbandingan rate data R , terhadap bandwidth transmisi untuk berbagai skema. Rasio ini juga disebut sebagai efisiensi bandwidth. Sesuai dengan nama yang diperlihatkan, parameter ini mengukur efisien dengan bandwidth yang dapat digunakan untuk mentransmisikan data.

Dengan demikian, keuntungan metode-metode pensinyalan multilevel menjadi lebih jelas.

Tentunya, pembahasan sebelumnya menunjuk pada spectrum sinyal input pada suatu jalur komunikasi. Belum ada yang dikatakan mengenai kinerja keberadaan derau. Gambar 5.4 menunjukkan ringkasan beberapa hasil berdasarkan asumsi yang beralasan berkaitan dengan system transmisi [COUC97]. Di sini, rate bit error ditunjukkan sebagai suatu fungsi rasio E_b/N_0 yang di tetapkan di Bab 3. Tentunya, bila rasio itu meningkat, maka rate bit error menurun. Selanjutnya, PSK dan QPSK 3 dB lebih baik dibanding ASK dan FSK.

Informasi ini sekarang dapat dikaitkan dengan efisiensi bandwidth. Ingat bahwa

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N_0 R}$$

Parameter N_0 adalah kerapatan daya derau dalam watt/hertz. Maka derau dalam suatu sinyal dengan bandwidth B_T adalah $N = N_0 B_T$, penggantianya, diperoleh

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S B_T}{N R}$$

Untuk skema pensinyalan tertentu, rate bit error dapat dikurangi dengan cara meningkatkan E_b/N_0 yang dapat diperoleh dengan meningkatkan bandwidth atau dengan mengurangi rate data: dengan kata lain, dengan mengurangi efisiensi bandwidth.

Seperti yang ditunjukkan contoh sebelumnya, ASK dan FSK menampilkan efisiensi bandwidth yang sama, sedangkan PSK lebih baik (bahkan diperoleh peningkatan yang lebih besar untuk pensinyalan multilevel).

Sangatlah bermanfaat membandingkan persyaratan bandwidth ini dengan yang digunakan untuk pensinyalan digital. Perkiraan terbaiknya adalah

$$B_T = 0.5(1 + r)D$$

Di mana D adalah rate modulasi. Untuk NRZ, $D=R$, dan kita dapat

$$\frac{R}{B_T} = \frac{2}{1 + r}$$

Jadi, pensinyalan digital berada dalam rentang yang sama, berkaitan dengan efisiensi, seperti ASK, FSK, dan PSK. Terlihat keuntungan yang signifikan untuk pensinyalan analog dengan teknik-teknik multilevel.

5.3 ANALOG DATA, DIGITAL SIGNALS

Digitalisasi adalah proses mengkonversi data analog menjadi data digital. Apabila data analog telah dikonversikan menjadi data digital, ada beberapa hal yang dapat terjadi.

Yang paling umum terjadi yaitu:

1. Data digital dapat di transmisikan menggunakan sinyal NRZ-L. Dalam hal ini, data analog langsung menjadi sinyal digital.
2. Data digital dapat di encode sebagai sinyal digital menggunakan sebuah kode lain selain NRZ-L. Sehingga diperlukan satu langkah tambahan.
3. Data digital dapat di konversikan menjadi sinyal analog, menggunakan salah satu teknik modulasi yang dibahas pada Section 5.2

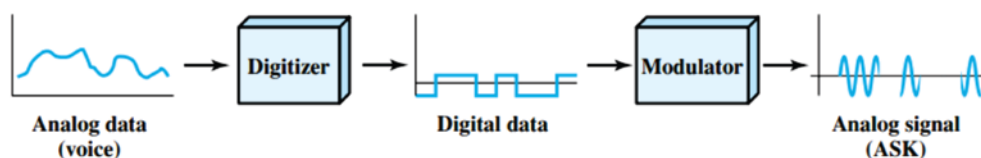
Meski terlihat aneh, prosedur yang di ilustrasikan pada Figure 5.15, dimana menunjukkan voice data dalam bentuk digital dan kemudian di konversikan menjadi sinyal analog ASK. Karena voice data sudah di digitalkan, dapat di anggap sebagai data digital bukan lagi data analog, meskipun media transmisi (e.g, menggunakan gelombang micro) menyatakan bahwa yang digunakan adalah sinyal analog.

Perangkat yang digunakan untuk konversi data analog menjadi bentuk digital untuk transmisi dan melindungi data asli analog dari kondisi digital, disebut Codec (Coder-Decoder). Pada section ini kita mengamati dua teknik utama yang digunakan dalam Codec, modulasi kode pulsa, dan modulasi delta. Dan ditutup dengan pembahasan mengenai perbandingan kerja.

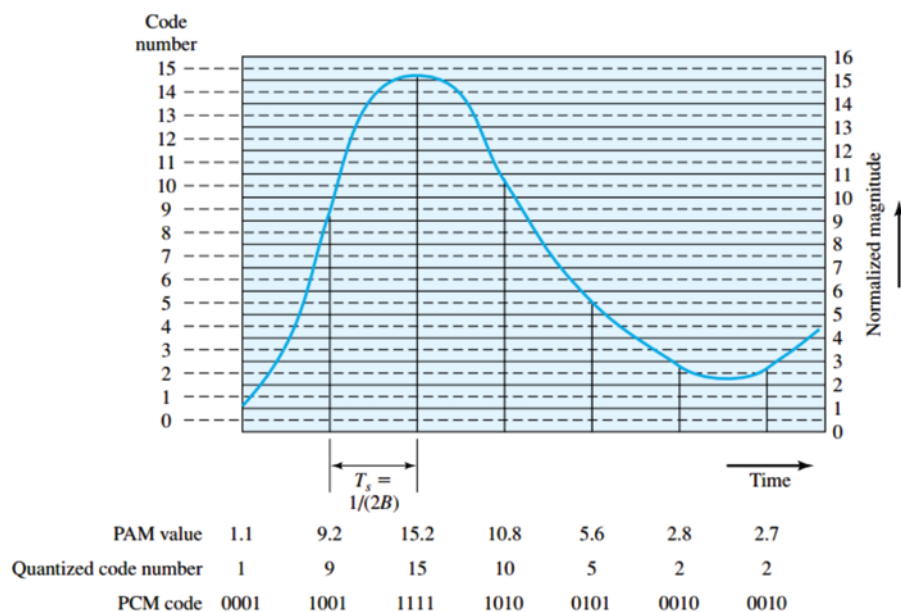
Modulasi Kode Pulsa (Pulse Code Modulation)

Pulse Code Modulation (PCM) didasarkan atas teori sampling:

SAMPLING THEOREM: Bila suatu sinyal $f(t)$ disampel pada waktu interval yang teratur dan pada rate yang lebih tinggi dua kali dari frekuensi sinyal tertinggi, maka sampel tersebut memuat segala informasi dari sinyal yang asli. Fungsi $f(t)$ bias di rekonstruksi dari sampel-sampel ini dengan penggunaan Low-pass filter.



Gambar 5.12 Digitizing Analog Data

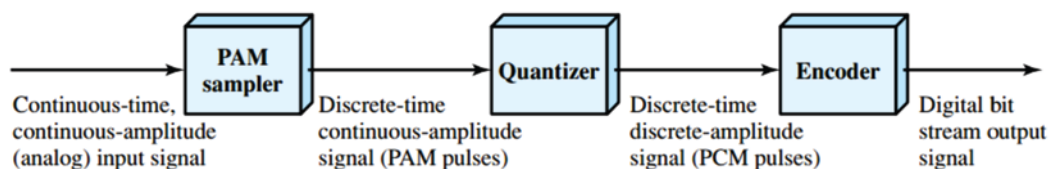


Gambar 5.13 Contoh Pulse Code Modulation (PCM)

Sebuah bukti telah dipaparkan oleh Appendix F. bahwa voice data dibatasi frekuensi dibawah 4000 Hz, 8000 sampel perdetik cukup untuk mengidentifikasi karakter voice data secara lengkap. Catatan, bahwa ini merupakan sampel-sampel analog yang disebut sampel **Pulse Amplitude Modulation (PAM)**. Untuk mengkonversi menjadi digital, setiap sampel analog ini harus ditandai dengan sebuah kode biner.

Gambar 5.16 menunjukkan sebuah contoh dimana sinyal original/asal diasumsikan telah dibatasi dengan bandwidth B . Sampel PAM diambil pada rate $2B$, atau sekali setiap $T_s = 1/2B$ detik. Setiap sampel PAM diperkirakan telah *terkuantisasi* (*quantized*) menjadi salah satu dari 16 level yang berbeda. Setiap sampel dapat di representasikan dengan 4 bits. Tetapi karena nilai kuantisasi hanya sebuah perkiraan, mustahil untuk memunculkan sinyal original dengan tepat dan eksak. Dengan menggunakan sampel 8-bit, dimana menggunakan 256 level kuantisasi, kualitas sinyal voice yang di munculkan dapat dikomparasikan dengan yang telah ditransmisikan via transmisi analog. Catatan bahwa ini berarti sebuah data rate dari 8000 sampel perdetik X 8 bits per sampel = 64 kbps dibutuhkan untuk sebuah sinyal voice/sinyal suara.

Jadi, PCM dimulai dengan continuous-time, continuous-amplitude (analog), dimana sebuah sinyal digital diproduksi (Figure 5.17). Sinyal digital mengandung block n bits, dimana setiap nomor n -bits adalah amplitud dari pulsa PCM. Saat penerimaan, proses dibalik untuk memproduksi sinyal analog. Perlu diperhatikan, bahwa proses ini melanggar dari teori Sampling Theorem. Dengan kuantisasi dari pulsa PAM, sinyal asal hanya dapat diperkirakan dan tidak dapat di munculkan nilai eksaknya. Efek ini dikenal dengan **Quantizing Error** atau **Quantizing**.



Gambar 5.14 Blok Diagram PCM

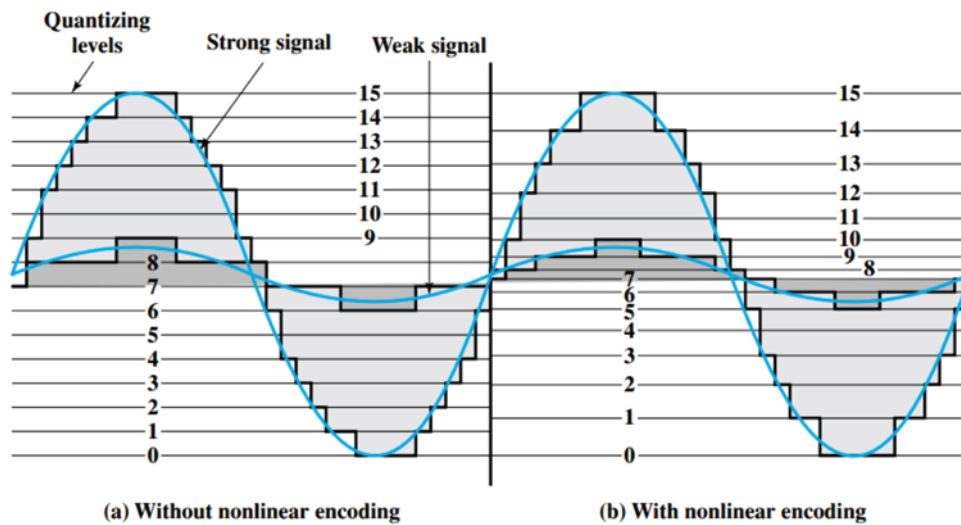
Derau/noise. Rasio signal-to-noise untuk kuantisasi derau dapat di ekspresikan sebagai [GIBS93]

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 20 \log 2^n + 1.76 \text{ dB} = 6.02n + 1.76 \text{ dB}$$

Jadi setiap penambahan bit yang digunakan untuk kuantisasi/quantizing meningkat SNR sekitar 6 dB, dimana faktor dari 4.

Tipikalnya, skema PCM di perhalus menggunakan teknik yang di kenal dengan *nonlinear encoding*. Yang artinya, bahwa level-level kuantisasi tidak di perlakukan sama. Problem yang didapat bila sinyal di perlakukan sama adalah munculnya error absolut untuk sampel yang sama, tanpa memperduli dilevel sinyal manapun. Oleh karena itu, nilai amplitud yang lebih rendah relatif lebih terdistorsi. Dengan memperbesar jumlah langkah-langkah kuantisasi untuk sinyal-

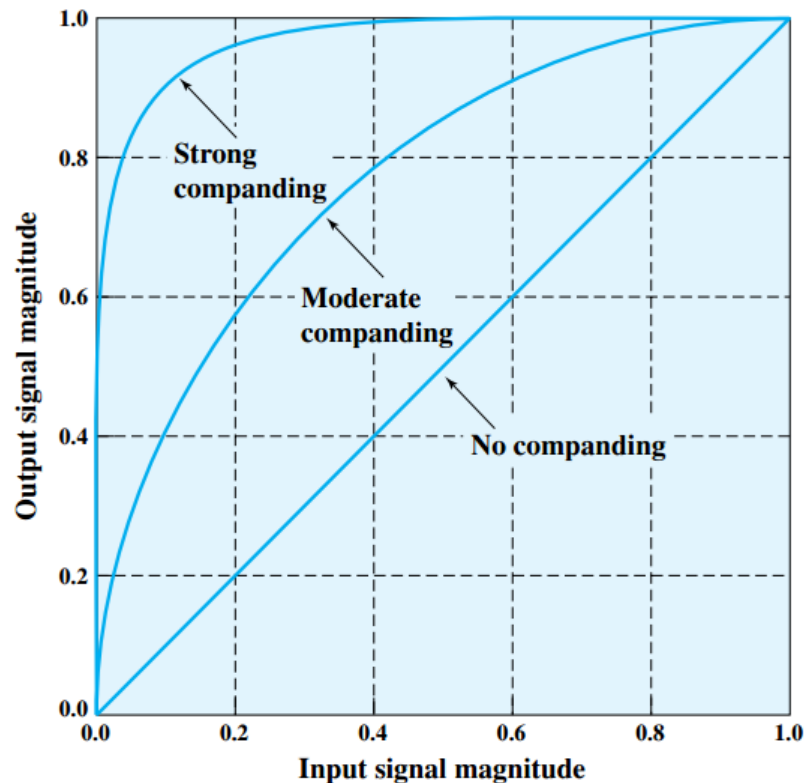
sinyal beramplitudo rendah, serta memperkecil jumlah langkah-langkah kuantisasi untuk sinyal beramplitudo besar, dapat menghasilkan reduksi pada semua sinyal distorsi (e.g, lihat Figure 5.18)



Gambar 5.15 Efek dari Nonlinear Coding

Efek yang sama dapat diperoleh dengan menggunakan kuantisasi yang seragam tetapi juga melakukan *Companding* (Compression-Expanding) dari input sinyal analog. *Companding* adalah proses mempersingkat/compressing rentang intensitas sebuah sinyal dengan menambahkan lebih banyak gain untuk sinyal yang lemah dibanding terhadap sinyal yang kuat pada input. Pada output dilakukan pengembalian/reverse operation. Figure 5.19 menunjukkan contoh fungsi *Companding*. Catatan, bahwa efek pada input adalah untuk mengompres sampel jadi semakin tinggi nilai yang direduksi menuju nilai yang rendah. Jadi, dengan nilai level kuantisasi yang tetap, lebih banyak level/tingkatan yang tersedia untuk sinyal dengan level yang lebih rendah. Dan pada output, compander memperluas sampel jadi nilai yang telah diperkecil kembali ke nilai asal.

Pengkodean nonlinear secara signifikan meningkatkan rasio PCM SNR. Untuk sinyal-sinyal suara mendapatkan peningkatan sebesar 24-30 dB.

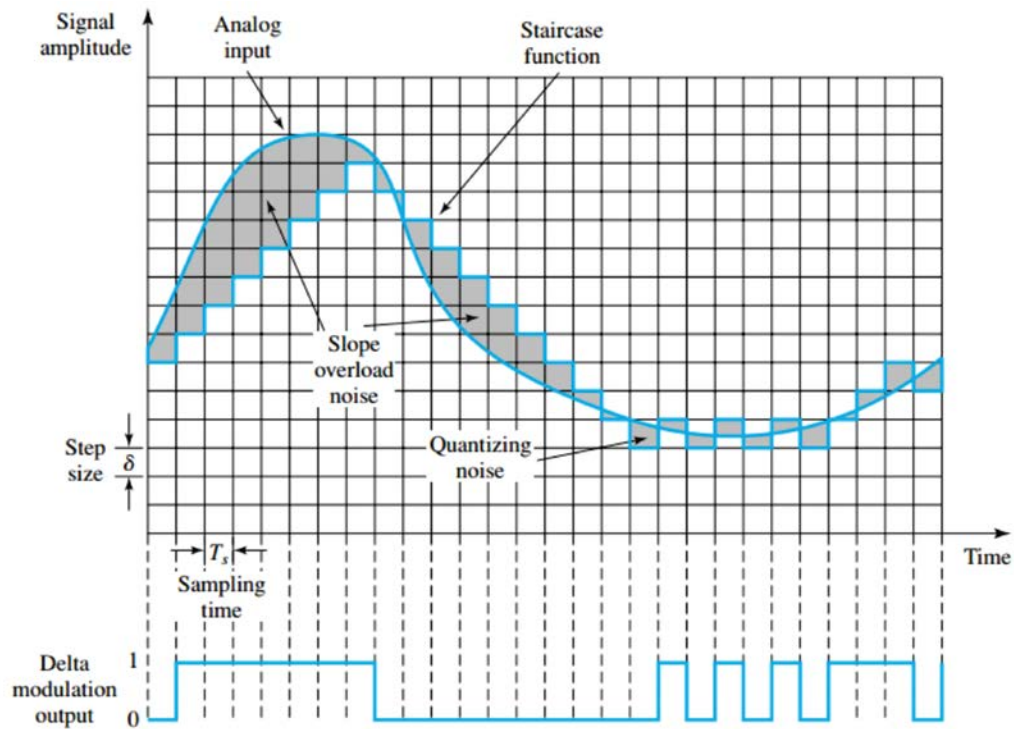


Gambar 5.16 Tipikal Fungsi dari Companding

Delta Modulation (DM)

Berbagai jenis teknik telah digunakan untuk meningkatkan kinerja PCM atau mengurangi kerumitannya. Alternatif selain PCM adalah Delta Modulation (DM).

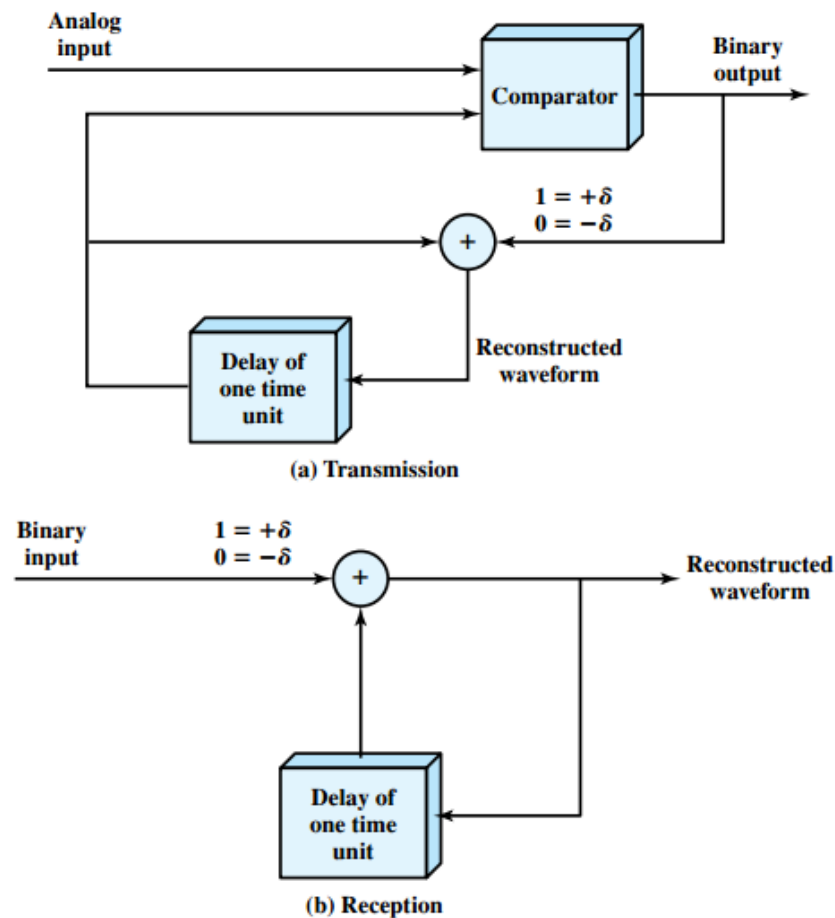
Dengan DM/Delta Modulation, suatu input analog didekati dengan sebuah fungsi tangga yang bergerak naik dan turun dengan satu level kuantisasi (δ/delta) pada setiap interval sampling (T_s). Contoh ada pada Figure 5.20, dimana fungsi tangga melapisi pada gelombang analog yang asli. Inti karakteristik dari tangga ini adalah jalanya yang mirip biner. Pada setiap waktu sampling, fungsi bergerak naik turun sebesar δ sehingga, output dari proses modulasi delta dapat ditampilkan sebagai suatu digit biner tunggal untuk setiap sampel. Pada dasarnya, sebuah aliran bit lebih dihasilkan oleh pendekatan derivative dari sinyal analog daripada amplitudanya sendiri: A1 dibangkitkan bila fungsi tangga naik saat interval berikutnya: A0 dibangkitkan dengan cara sebaliknya.



Gambar 5.17 Contoh Delta Modulation (DM)

Transisi (naik atau turun) yang terjadi disetiap interval pengambilan sampel dipilih sedemikian hingga fungsi tangga melintasi sedekat mungkin kepada gelombang analog yang asli. Ilustrasi pada Gambar 17, δ harus dipilih untuk menghasilkan balance antara 2 tipe error ataupun noise. Ketika gelombang analog berubah sangat lambat, aka nada noise quantisasi. Noise ini meningkat sejalan dengan meningkatnya δ . Di sisi lain, ketika gelombang analog berubah lebih cepat dari tangga yang mengikutinya, akan ada noise *overload slope*. Noise ini meningkat saat δ berkurang.

Harus lebih jelas bahwa tingkat keakuratan skema ini dapat ditingkatkan dengan cara meningkatkan rate sampel. Bagaimanapun juga, ini akan meningkatkan rate data sinyal output.



Gambar 5.18 Delta Modulation

Keuntungan utama DM melebihi PCM adalah kesederhanaan dalam implementasinya. Umumnya, PCM melampirkan karakteristik SNR yang lebih baik pada rate data yang sama.

Performance/Kinerja

Reproduksi suara yang baik bias diperoleh dengan 128 level kuantisasi, atau dengan 7-bit pengkodean ($2^7 = 128$). Sebuah sinyal suara, biasanya, menempati bandwidth sebesar 4 kHz. Jadi, menurut teori sampling, sampel-sampel harus diambil pada rate sebesar 8000 sampel per detik. Hal ini menyatakan secara tidak langsung rate data sebesar $8000 \times 7 = 56$ kbps untuk data digital PCM.

Pikirkan apa artinya ini dari sudut pandang syarat-syarat bandwidth. Suatu sinyal suara analog menempati 4 kHz. Dengan menggunakan PCM sinyal analog 4 kHz ini dapat diubah menjadi sinyal digital 56 kbps. Namun dengan menggunakan kriteria Nyquist dari Bab 3, sinyal digital ini memerlukan orde 28 kHz bandwidth. Perbedaan yang lebih besar dapat dilihat pada sinyal-sinyal bandwidth yang lebih tinggi. Sebagai contoh, yang memerlukan 92 Mbps untuk sebuah sinyal bandwidth 5,6 MHz. Walaupun dari jumlah ini, teknik-teknik digital mulai populer dipergunakan untuk mentransmisikan data analog. Alasan utamanya adalah:

- ❑ Karena repeater yang digunakan sebagai pengganti amplifier, tidak terdapat derau tambahan.
- ❑ Sebagaimana yang kita ketahui, *time-division multiplexing* (TDM) dipergunakan untuk sinyal-sinyal digital sebagai pengganti *frequency-division multiplexing* (FDM) yang dipergunakan untuk sinyal-sinyal analog. Dengan TDM, tidak terdapat derau intermodulasi, seperti yang sering dihadapi bila menggunakan FDM.
- ❑ Konversi ke pesinyalan digital memungkinkan penggunaan teknik-teknik switching digital yang lebih efisien.

Lebih jauh, beberapa teknik telah dikembangkan untuk menyediakan kode-kode yang lebih efisien lagi. Dalam hal suara, tujuan yang ingin dicapai ada di sekitar 4 kbps. Untuk video, keuntungan dapat dicapai dari kenyataan bahwa, dari frame ke frame, sebagian elemen gambar tidak akan berubah. Teknik pengkodean antar frame (interframe) memungkinkan persyaratan video dikurangi sampai kira-kira 15 Mbps, dan untuk adegan-adegan yang berubah dengan lambat, misalnya seperti yang ditemui dalam suatu telekonferensi video, turun sampai 64 kbps atau kurang dari itu.

Sebagai titik final, kita sebutkan bahwa dalam beberapa pengaruh, penggunaan system telekomunikasi akan berhasil dalam pemrosesan dari digital-ke-analog dan dari analog-ke-digital. Kebanyakan ujung dari jaringan komunikasi local adalah analog, tetapi jaringan itu sendiri menggunakan campuran teknik-teknik analog dan digital. Jadi data digital pada terminal user dapat diubah ke analog dengan menggunakan sebuah modem, berturut-turut dibuat menjadi digital melalui sebuah kodek, dan mungkin akan mengalami konversi yang berulang-ulang sebelum mencapai tempat tujuannya.

Jadi, fasilitas-fasilitas telekomunikasi menangani sinyal-sinyal analog yang bersumber baik dari suara maupun data digital, dimana karakteristik dari bentuk gelombang benar-benar berbeda. Untuk sinyal-sinyal suara cenderung miring ke bagian bandwidth yang lebih rendah (Figure 3.9) sedangkan pengkodean analog yang berasal dari sinyal-sinyal digital memiliki spectrum yang lebih seragam sepanjang bandwidth dan karenanya berisikan komponen-komponen berfrekuensi tinggi. Studi-studi yang dilakukan menunjukkan hal tersebut, karena keberadaan frekuensi-frekuensi yang lebih tinggi, teknik-teknik yang berkaitan dengan PCM lebih banyak digunakan dibanding teknik-teknik yang berkaitan dengan DM untuk pembentukan sinyal-sinyal analog menjadi digital yang menampilkan data digital.

5.4 ANALOG DATA, ANALOG SIGNALS

Modulasi didefinisikan sebagai proses menggabungkan suatu sinyal input $m(t)$ dengan sinyal pembawa pada frekuensi f_c agar menghasilkan sebuah sinyal $s(t)$ yang bandwidth-nya dipusatkan ditengah-tengah f_c . Untuk data digital, keperluan modulasi harus jelas. Bila hanya tersedia fasilitas transmisi analog, modulasi diperlukan untuk mengubah data digital menjadi bentuk analog. Tujuan penggunaan modulasi tersebut menjadi kurang jelas bila data-nya sudah berbentuk analog. Setelah itu, barulah sinyal-sinyal suara ditransmisikan melalui saluran

telepon di spectrum aslinya (menunjukkan pada transmisi baseband). Terdapat dua alasan utama untuk modulasi analog dari sinyal-sinyal analog, yakni:

- ❑ Diperlukan frekuensi yang lebih tinggi agar transmisi yang dilakukan lebih efektif. Untuk transmisi unguided, kelihatan tidaklah mungkin untuk mentransmisikan sinyal-sinyal baseband; karena diperlukan antenna-antena yang memiliki diameter beberapa kilometer.
- ❑ Modulasi membolehkan *frequency-division multiplexing* teknik yang sangat penting yang akan dibahas secara terperinci di Bab 8.

Dibagian ini, kita lihat teknik-teknik utama untuk memodulasi menggunakan data analog yaitu amplitude modulation (AM), frequency modulation (FM), serta phase modulation (PM). Sama seperti sebelumnya, ketiga karakteristik dasar suatu sinyal ini dipergunakan untuk modulasi.

Amplitudo Modulation

Amplitudo Modulation (AM) adalah bentuk modulasi yang paling sederhana, dan digambarkan pada Figure 5.22. Secara matematis, prosesnya dinyatakan sebagai:

$$\mathbf{AM} \quad s(t) = [1 + n_a x(t)] \cos 2\pi f_c t$$

Dimana $\cos 2\pi f_c t$ adalah pembawa/carrier sedangkan $x(t)$ adalah sinyal input (data bawaan), keduanya dinormalkan dalam satuan amplitudo. Parameter n_a disebut sebagai indeks modulation, yaitu perbandingan amplitudo sinyal input terhadap pembawa. Berkaitan dengan pernyataan kita sebelumnya, sinyal inputnya adalah $m(t) = n_a x(t)$. “1” dalam persamaan sebelumnya adalah komponen dc yang mencegah hilangnya informasi, seperti yang telah dijelaskan. Skema ini juga disebut sebagai *double sideband transmitted carrier* (DSBTC).

Contoh: Dapatkan pernyataan untuk $s(t)$ bila $x(t)$ adalah sinyal pemodulasi amplitudo $2\pi f_m t$

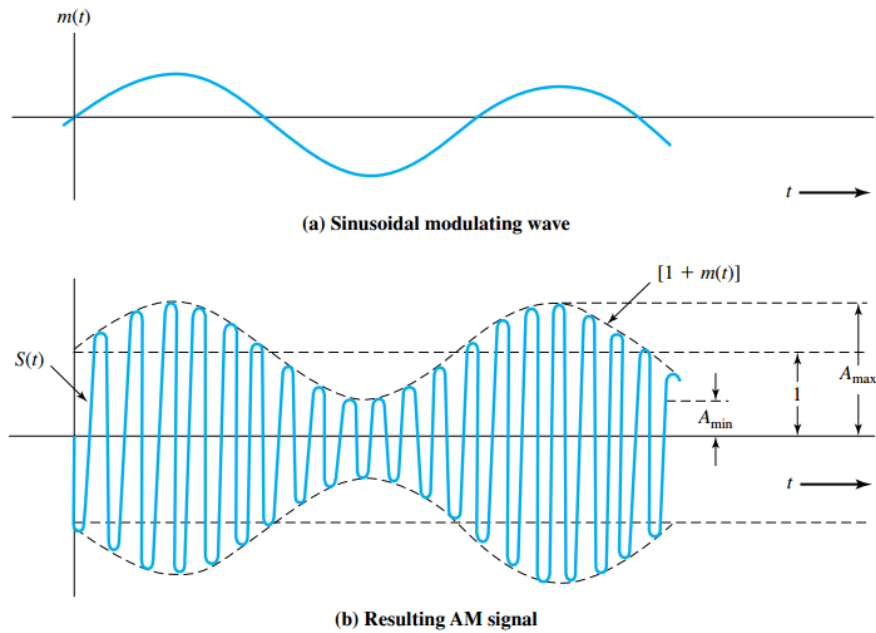
Kita peroleh

$$s(t) = [1 + n_a \cos 2\pi f_m t] \cos 2\pi f_c t$$

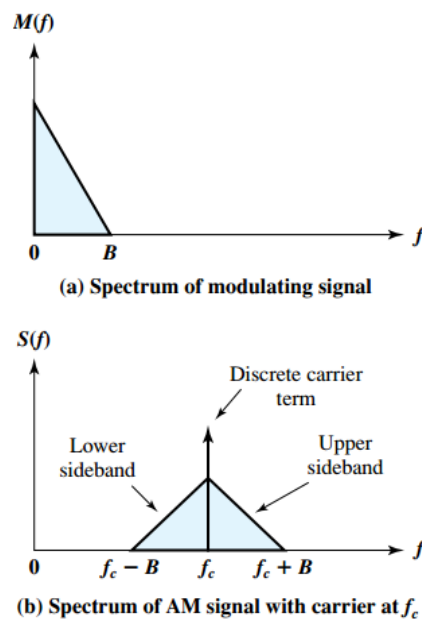
Dengan aturan trigonometric, bisa dipecahkan menjadi

$$s(t) = \cos 2\pi f_c t + \frac{n_a}{2} \cos 2\pi (f_c + f_m) t + \frac{n_a}{2} \cos 2\pi (f_c - f_m) t$$

Sinyal yang dihasilkan memiliki sebuah komponen pada frekuensi pembawa asli ditambah sepasang komponen masing-masing berjarak f_m hertz dari pembawa.



Gambar 5.19 Amplitude Modulation (AM)



Gambar 5.19 Spektrum dari Sinyal AM

Dari persamaan sebelumnya dan gambar 5.15, terlihat bahwa AM, mencakup perkalian sinyal input oleh pembawa. Selubung sinyal yang dihasilkan adalah $[1 + n_a x(t)]$ dan sepanjang $n_a < 1$, selubung merupakan reproduksi yang sebenarnya dari sinyal asli. Bila $n_a > 1$, selubung akan melintasi sumbu axis dan informasi akan hilang.

Lihat spectrum sinyal AM. Sebuah contoh ditunjukkan di Figure 5.23. Spektrum tersebut memuat pembawa yang asli ditambah spectrum sinyal input terjemahan untuk f_c bagian dari spektrum untuk $|f| > |f_c|$ adalah sisi band (pita) lebih rendah (*lower sideband*). Baik *upper sideband* maupun *lower sideband* merupakan replica dari spektrum yang asli $M(f)$, dengan lower sideband frekuensi yang dibalik. Seperti pada contoh, anggap saja sebuah sinyal suara dengan

bandwidth yang membentang dari 300 sampai 3000 Hz dimodulasikan pada carrier 60-kHz. Sinyal yang dihasilkan memuat *upper sideband* sebesar 60,3 sampai 63 kHz, *lower sideband* sebesar 57 sampai 59,7 kHz.

$$P_t = P_c \left(1 + \frac{n_a^2}{2} \right)$$

Dimana P_t adalah total daya yang ditransmisikan dalam $s(t)$ dan P_c adalah daya yang ditransmisikan dalam carrier. Kita menginginkan n_a sebesar mungkin yang dapat diperoleh sehingga sebagian besar daya sinyal dapat dipergunakan untuk membawa informasi. Tetapi bagaimanapun juga, n_a harus berada dibawah 1.

Sudah jelas bahwa $s(t)$ memuat komponen-komponen yang tidak diperlukan, karena tiap-tiap sideband sudah berisikan spektrum lengkap dari $m(t)$. Variasi populer dari AM, adalah *single sideband* (SSB), mengambil keuntungan dari kenyataan bahwa dengan mengirimkan hanya salah satu sideband, mengeliminasi pembawa dan sideband lainnya. Keuntungan mendasar dari pendekatan-pendekatan ini adalah:

- Hanya separuh bandwidth yang diperlukan : yakni $B_T = B$, dimana B adalah bandwidth sinyal yang asli. Untuk DSBTC, $B_T = 2B$.
- Diperlukan lebih sedikit daya karena memang tidak ada yang dipergunakan untuk mentransmisikan sinyal pembawa atau sideband yang lain. Variasi yang lain adalah *double sideband suppressed carrier* (DSBSC), yang menyaring frekuensi pembawa dan mengirimkannya ke kedua sideband. Ini menghemat daya namun menggunakan bandwidth sebanyak DSBTC.

Kerugian yang menekan sinyal pembawa adalah sinyal pembawa bisa dipergunakan untuk maksud sinkronisasi. Sebagai contoh, anggap saja bahwa sinyal analog yang asli berupa bentuk pengkode data digital gelombang ASK. Receiver perlu tahu titik permulaan masing-masing waktu bit agar dapat mengartikan data dengan benar. Pembawa yang konstan menyediakan mekanisme detak untuk mengetahui waktu kedatangan bit. Pendekatan yang disetujui bersama adalah *vestigial sideband* (VSB), yang menggunakan satu sideband dan sebuah sinyal carrier pengurang daya.

Sudut Modulasi

FM dan PM merupakan kasus khusus mengenai sudut modulasi. Sinyal yang dimodulasikan dinyatakan sebagai

$$\text{Angle Modulation} \quad s(t) = A_c \cos [2\pi f_c t + \phi(t)]$$

Untuk modulasi fase, fasenya sebanding dengan sinyal pemodulasi :

$$\text{PM} \quad \phi(t) = n_p m(t)$$

Dimana n_p adalah indeks modulasi fasa.

Untuk modulasi frekuensi, diperoleh dari fasa yang sebanding dengan modulasi sinyal

$$\text{FM} \quad \phi'(t) = n_f m(t)$$

Dimana n_f adalah indeks modulasi frekuensi

Fase $s(t)$ sebuah instant adalah hanya sebesar $2\pi f_c t + \phi(t)$. Selisih fase instant dari sinyal pembawa adalah $\phi(t)$. pada PM, selisih fase instant sebanding dengan $m(t)$. karena frekuensi dapat ditetapkan sebagai rate perubahan fase

sebuah sinyal, frekuensi instant dari $s(t)$ adalah

$$2\pi f_i(t) = \frac{d}{dt} [2\pi f_c t + \phi(t)]$$

$$f_i(t) = f_c + \frac{1}{2\pi} \phi'(t)$$

Dan selisih frekuensi instant dari frekuensi pembawa adalah $\phi'(t)$ yang dalam FM sebanding dengan $m(t)$.

Figure 5,24 mengilustrasikan mengenai modulasi frekuensi, fase, dan amplitude melalui suatu gelombang sinus. Bentuk sinyal-sinyal FM dan PM sangat mirip. Tentunya sangatlah tidak mungkin menerangkan tentang keduanya secara terpisah tanpa mengetahui tentang fungsi modulasi terlebih dahulu.

Beberapa pengamatan tentang proses FM sudah sesuai. Selisih puncak ΔF dapat dilihat sebagai

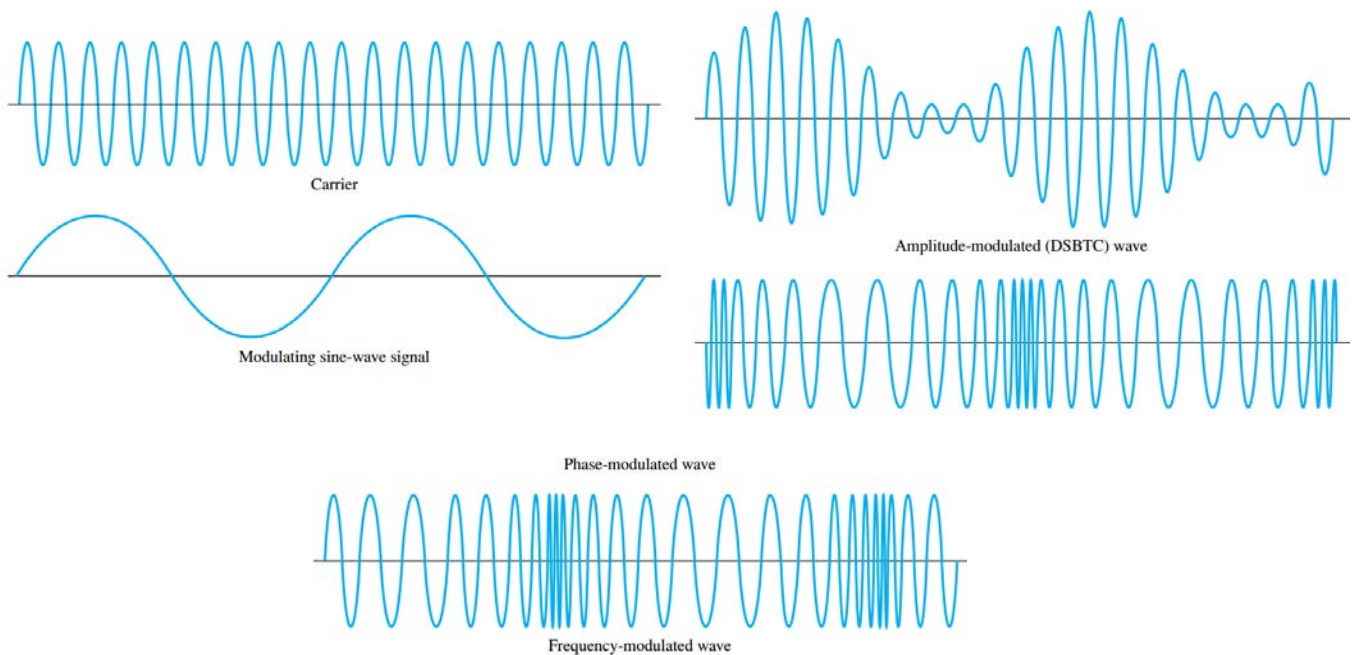
$$\Delta F = \frac{1}{2\pi} n_f A_m \text{ HZ}$$

Dimana A_m adalah nilai maksimum dari $m(t)$. Sehingga suatu peningkatan dalam magnitude $m(t)$ akan meningkatkan ΔF , yang secara intuitif, bisa meningkatkan bandwidth yang ditransmisikan B_T . Bagaimanapun juga, seperti yang terlihat pada Figure 5.24, hal ini tidak akan meningkatkan level daya rata-rata sinyal FM, yang berupa $A_c^2/2$. Hal ini benar-benar berbeda dengan sinyal AM, dimana level modulasi dapat mempengaruhi daya dalam sinyal AM namun tidak mempengaruhi bandwidthnya.

Contoh. Dapatkan pernyataan untuk $s(t)$ bila $\phi(t)$ adalah sinyal pemodulasi fase $n_p \cos 2\pi f_m t$ asumsikan $A_c = 1$, hal ini terlihat langsung sebagai

$$s(t) = \cos [2\pi f_c t + n_p \cos 2\pi f_m t]$$

Selisih fase instan dari sinyal pembawa adalah $n_p \cos \pi f_m t$. Sudut fase sinyal mengubah nilai yang tidak dimodulasi menjadi sebuah model sinusoidal sederhana, dengan selisih fase puncak sama dengan n_p



Gambar 5.24 Amplitude Modulation, Phase Modulation, Frequency Modulation dari Gelombang Sinus Carrier dengan Sinyal Gelombang Sinus

Pernyataan sebelumnya dapat diperluas dengan menggunakan aturan Trigonometrik Bessel

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(n_p) \cos \left(2\pi f_c t + 2\pi n f_m t + \frac{n\pi}{2} \right)$$

Dimana $J_n(n_p)$ adalah order fungsi Bessel ke- n jenis pertama. Menggunakan sifat

$$J_{-n}(x) = (-1)^n J_n(x)$$

Dan dapat dituliskan sebagai

$$s(t) = J_0(n_p) \cos 2\pi f_c t + \sum_{n=1}^{\infty} J_n(n_p) \left[\cos \left(2\pi (f_c + n f_m) t + \frac{n\pi}{2} \right) + \cos \left(2\pi (f_c - n f_m) t + \frac{(n+2)\pi}{2} \right) \right]$$

Sinyal yang dihasilkan memiliki suatu komponen pada frekuensi pembawa yang asli ditambah himpunan sideband dari f_c oleh semua perkalian yang memungkinkan dari f_m untuk $n_p \ll 1$, term orde tertinggi jatuh dengan cepat.

Contoh. Dapatkan pernyataan untuk $s(t)$ bila $\phi'(t)$ adalah sinyal termulasi frekuensi $-n_f \sin 2\pi f_m t$. bentuk $\phi'(t)$ dipilih karena lebih menyenangkan. Kita peroleh

$$\phi(t) = - \int n_f \sin 2\pi f_m t \, dt = \frac{n_f}{2\pi f_m} \cos 2\pi f_m t$$

Jadi

$$\begin{aligned} s(t) &= \cos \left[2\pi f_c t + \frac{n_f}{2\pi f_m} \cos 2\pi f_m t \right] \\ &= \cos \left[2\pi f_c t + \frac{\Delta F}{f_m} \cos 2\pi f_m t \right] \end{aligned}$$

Deviasi frekuensi instan dari sinyal pembawa adalah $-n_f \sin 2\pi f_m t$. frekuensi pengubah sinyal dari nilai-nilai yang tidak dimodulasikan dalam model sinusoidal sederhana, dengan selisih frekuensi puncak sama dengan n_f radian/detik.

Persamaan untuk sinyal FM memiliki bentuk yang sama dengan sinyal PM, dengan $\Delta F/f_m$ digantikan untuk n_p . Jadi pengembangan Bessel tetap sama.

Seperti halnya dengan sinyal AM maka sinyal FM dan PM juga menghasilkan suatu sinyal yang bandwidthnya dipusatkan di f_c . Karena itu, sekarang dapat kita lihat bahwa magnitudo bandwidth tersebut sangat berbeda. Modulasi amplitud merupakan suatu proses linear, dan menghasilkan frekuensi-frekuensi yang berupa jumlah dan selisih dari sinyal carrier serta komponen-komponen dari sinyal termulasi, untuk AM.

$$B_T = 2B$$

Bagaimanapun juga, modulasi sudut mencakup istilah dari bentuk $\cos(\phi(t))$, yang nonlinear dan akan menghasilkan rentang frekuensi yang luas. Pada dasarnya, untuk sebuah gelombang sinusoidal pemodulasi frekuensi $f_m s(t)$ akan memuat komponen-komponen pada $f_c + f_m$, $f_c + 2f_m$ dan seterusnya. Pada kasus yang paling umum, diperlukan bandwidth yang tak terbatas untuk mentransmisikan sinyal FM atau sinyal PM. Sebagai suatu hal yang sifatnya praktis, dikenal sebagai hukum Carson [COUC97], yaitu:

$$B_T = 2(\beta + 1)B$$

Dimana

$$\beta = \begin{cases} n_p A_m & \text{for PM} \\ \frac{\Delta F}{B} = \frac{n_f A_m}{2\pi B} & \text{for FM} \end{cases}$$

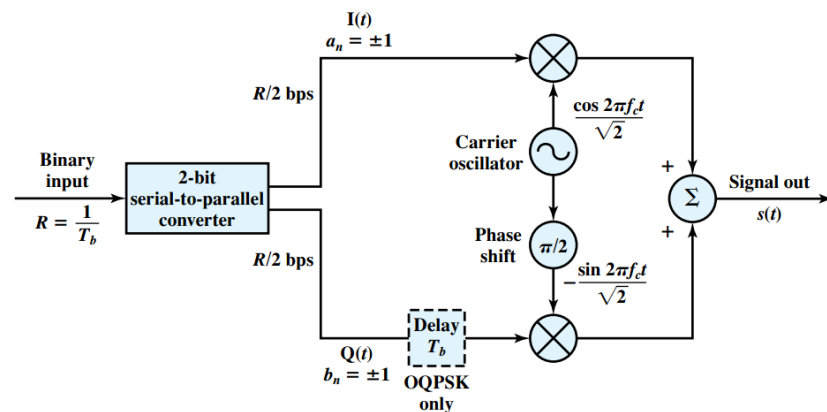
Kita dapat menulis kembali rumus untuk FM sebagai

$$B_T = 2\Delta F + 2B$$

Jadi, baik FM maupun PM memerlukan bandwidth yang lebih besar dibanding AM.

Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

QAM merupakan teknik pensinyalan analog yang populer dipergunakan dalam *asymmetric digital subscriber line* (ADSL), digambarkan di bab 8. Teknik modulasi ini merupakan kombinasi dari AM dan PM. QAM mengambil keuntungan dari fakta bahwa sangatlah mungkin mengirim dua sinyal yang berbeda secara simultan pada frekuensi carrier yang sama, dengan menggunakan dua copy frekuensi carrier, salah satunya digeser per 90° . Untuk QAM, masing-masing pembawa berupa ASK termodulasi dua sinyal terpisah (*independent*) secara serempak ditransmisikan sepanjang media yang sama. Pada receiver, dua sinyal dimodulasikan kembali dan hasilnya dikombinasikan agar menghasilkan input biner yang asli.



Gambar 5.25 QPSK dan OQPSK Modulator

Figure 5.11 menunjukkan skema modulasi QAM menurut istilah yang umum. Inputnya adalah aliran digit-digit biner yang tiba pada rate sebesar R bps. Aliran ini diubah menjadi dua bit stream yang terpisah dimana masing-masing besarnya $R/2$ bps, dengan cara mengambil bit alternative untuk kedua stream tersebut. Dalam diagram, *upper stream*nya adalah ASK yang dimodulasikan pada frekuensi sinyal carrier f_c dengan cara menggandakan (*multiplying*) bit stream melalui sinyal carrier. Sehingga, biner nol ditampilkan melalui ketiadaan gelombang dari sinyal pembawa sedangkan biner satu ditampilkan melalui keberadaan gelombang pembawa pada amplitud yang konstan. Gelombang carrier yang sama ini digeser 90° dan digunakan untuk modulasi ASK dari biner stream yang lebih rendah. Kedua sinyal dimodulasikan tersebut kemudian ditambahkan bersama-sama dan ditransmisikan. Sinyal yang ditransmisikan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$s(t) = d_1(t)\cos 2\pi f_c t + d_2(t)\sin 2\pi f_c t$$

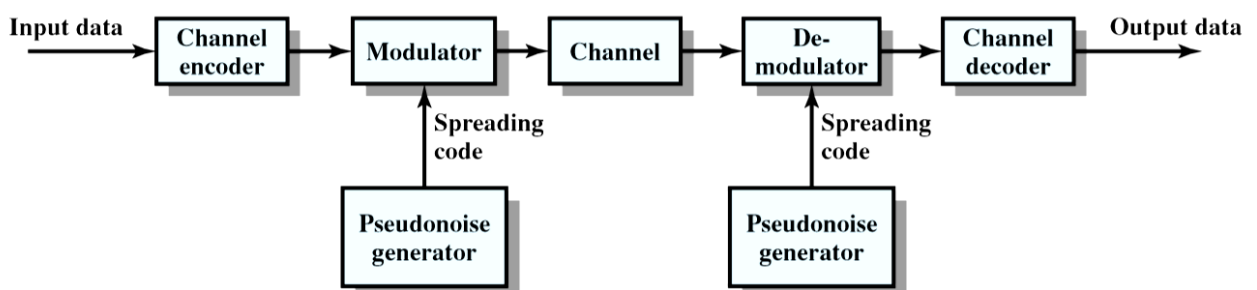
Bila dua-level ASK dipergunakan, maka masing-masing dari kedua stream tersebut bisa berada dalam satu dari status $4 = 2 \times 2$. Bila empat level ASK dipergunakan (misalnya, empat level amplitude yang berbeda), maka stream yang dikombinasikan bisa berada dalam satu dari status $16 = 4 \times 4$. System-sistem yang menggunakan status 64 bahkan status 256 telah diimplementasikan jumlah status yang lebih besar, maka rate data yang lebih tinggi sangat mungkin didalam bandwidth tertentu. Tentunya, seperti yang telah didiskusikan sebelumnya, jumlah status yang lebih besar berarti lebih besar potensial error rate-nya terutama yang berkenaan dengan derau dan atenuasi (*attenuation*).

5.5 SPEKTRUM PENYEBARAN

Bentuk komunikasi yang semakin populer disebut sebagai spectrum penyebaran. Teknik ini tidak diklasifikasikan secara jelas kedalam kategori-kategori yang ditentukan di bab ini, sebagaimana yang dapat dipergunakan untuk mentransmisikan baik data analog maupun data digital, dengan menggunakan sebuah sinyal analog.

Teknik spectrum penyebaran awalnya dikembangkan untuk kepentingan militer dan intelejen. Ide dasarnya adalah untuk menyebarkan sinyal informasi melalui bandwidth yang lebih luas untuk mencegah dilakukannya pencegatan informasi dan gangguan-gangguan lainnya. Spectrum penyebaran jenis pertama yang dikembangkan dikenal dengan nama frequency hopping atau lompatan frekuensi. Versi yang terbaru adalah spectrum penyebaran urutan langsung. Kedua teknik ini dipergunakan dalam berbagai produk jaringan data tanpa kabel. Selain itu juga untuk berbagai aplikasi komunikasi lainnya, seperti telepon tanpa kawat (*cordless telephone*).

Gambar 5.19 menyajikan gambaran mengenai karakteristik-karakteristik kunci beberapa system spectrum penyebaran. Input dimasukkan ke dalam suatu channel encoder yang menghasilkan sebuah sinyal analog dengan bandwidth sempit relatif di seputar beberapa frekuensi pusat. Sinyal ini kemudian dimodulasikan menggunakan deretan digit-digit tidak beraturan yang disebut dengan pseudorandom sequence. Efek dari modulasi ini adalah untuk meningkatkan secara signifikan bandwidth (yang menyebarkan spektrum) sinyal yang ditransmisikan. Pada ujung penerima, deretan digit yang sama digunakan untuk mendemodulasikan sinyal spectrum penyebaran. Terakhir, sinyal



dimasukkan ke dalam sebuah channel decoder untuk melindungi data.

Gambar 5.26 Model Umum Sistem Komunikasi Digital Spektrum

Komentar mengenai jumlah pseudorandom adalah ordernya. Jumlah ini didapat melalui suatu algoritma menggunakan beberapa nilai awal yang disebut seed. Algoritma tersebut dapat ditentukan dan karenanya menghasilkan deretan bilangan yang tidak acak secara beberapa ujian yang memeriksa keacakannya. Jumlah-jumlah semacam itu ditunjukkan sebagai pseudorandom numbers.7) Poin terpenting dari hal ini adalah walaupun anda mengetahui tentang algoritma dan seed, sangatlah sulit untuk memprediksikan deretan tersebut. Oleh sebab itu, hanya receiver, yang membagi informasi ini dengan sebuah transmitterlah yang mampu mengkodekan sinyal dengan sukses.

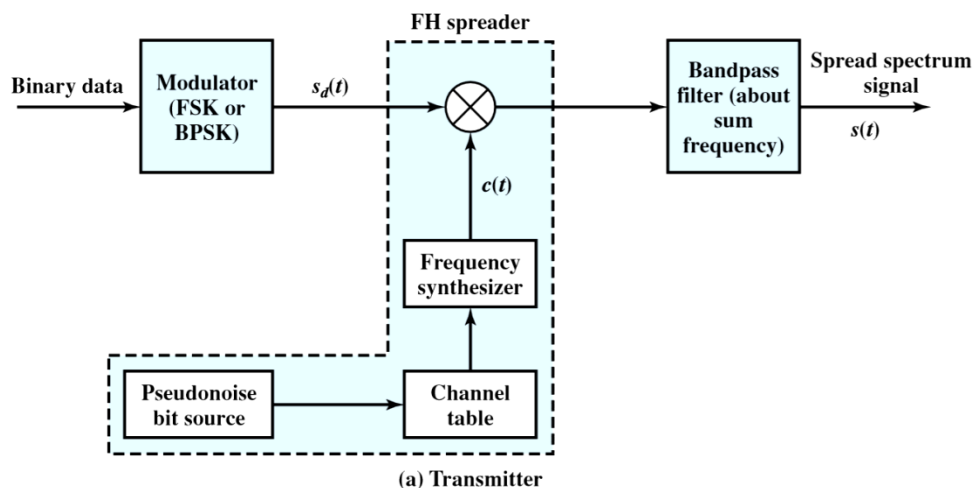
Lompatan Frekuensi

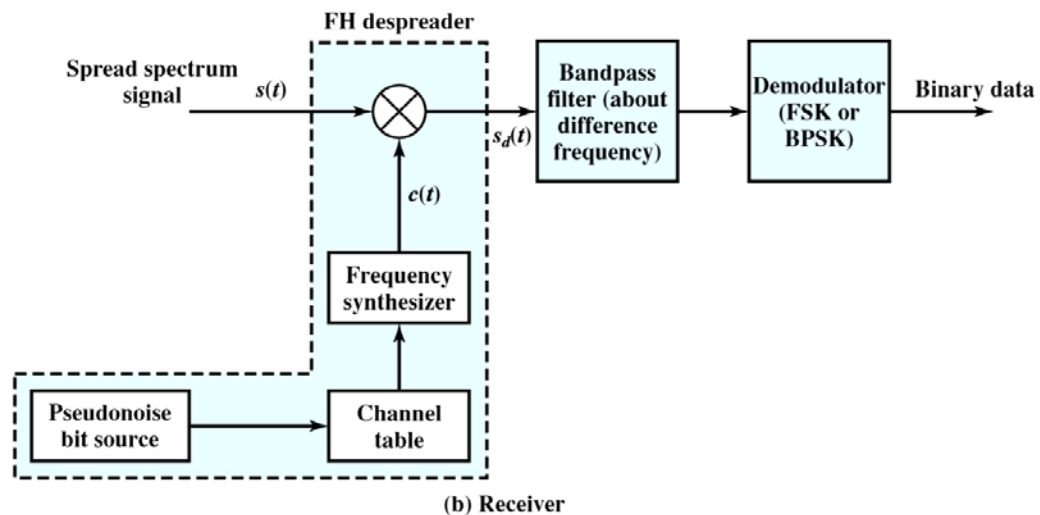
Di bawah skema ini, sinyal disiarkan sepanjang rangkaian frekuensi radio yang kelihatannya acak, melompat dari frekuensi ke frekuensi pada interval titik pisah (split-second intervals). Sebuah receiver, melompat diantara frekuensi secara sinkron dengan transmitter, lalu menangkap pesan. Sehingga orang-orang yang berusaha mendengarkannya secara diam-diam hanya akan mendengar bunyi titik-titik yang tidak jelas. Upaya untuk mengganggu sinyal hanya akan berhasil dengan cara menghantam sedikit bit-nya.

Diagram blok khusus untuk frekuensi system lompatan ini ditunjukkan dalam gambar 5.20. untuk transmisi, data biner dimasukkan ke dalam sebuah modulator dengan menggunakan beberapa skema pengkodean digital-ke-analog, semacam frequency –shift-keying (FSK) atau Binary Phase-Shift Keying (BPSK). Sinyal yang dihasilkan dipusatkan disekitar beberapa frekuensi dasar. Sumber jumlah pseudorandom menyajikan apa yang dilampirkan dalam indeks didalam table frekuensi. Pada masing-masing interval yang berurutan, dipilih sebuah frekuensi baru dari table. Frekuensi ini kemudian dimodulasikan melalui sinyal yang dihasilkan dari modulator awal agar menghasilkan sinyal yang baru dengan bentuk yang sama namun sekarang dipusatkan di tengah-tengah frekuensi yang dipilih dari table.

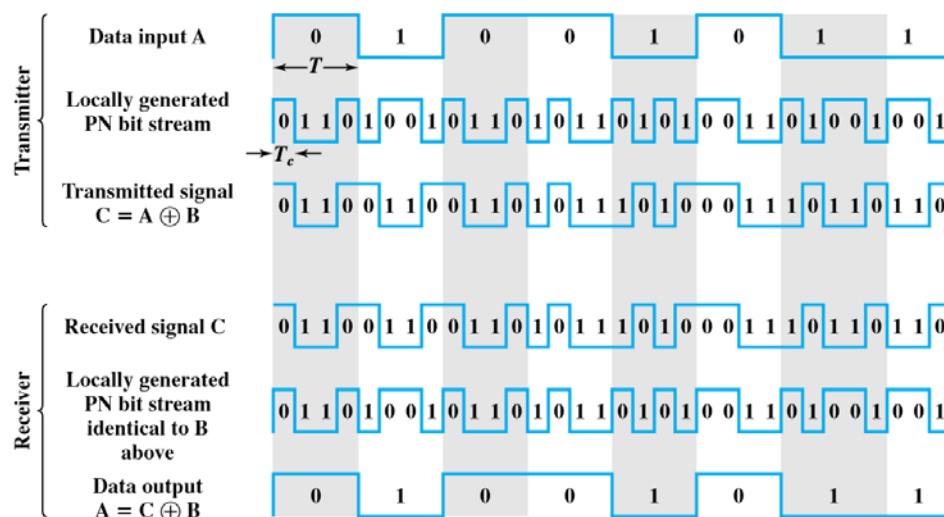
Sekarang pada penerima, sinyal spectrum penyebaran dimodulasikan menggunakan sejumlah frekuensi yang sama yang didepatkan dari table dan kemudian didemodulasikan agar menghasilkan data output.

Sebagai contoh, bila FSK digunakan, modulator memilih salah satu dari dua frekuensi, katakanlah f_0 atau f_1 , berkaitan dengan transmisi biner 1 atau biner 0. Sinyal FSK biner yang dihasilkan diartikan ke dalam frekuensi melalui suatu jumlah yang ditentukan melalui urutan output dari generator jumlah pseudorandom. Sehingga, bila frekuensi yang dipilih pada waktu I adalah f_1 maka sinyal pada waktu I adalah baik f_1+f_0 maupun f_1+f_1 .





Gambar 5.27 Sistem Spektrum Penebaran Lompatan Frekuensi



Gambar 5.28 Contoh Spektrum Penyebaran Rangkaian Langsung

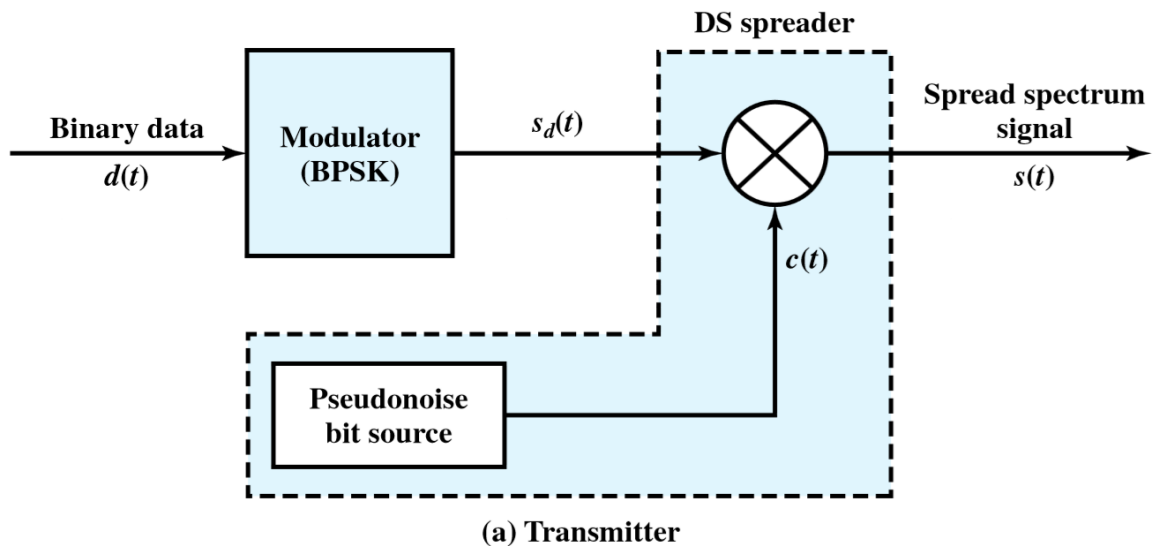
Deretan Langsung

Di bawah skema ini, masing-masing bit pada sinyal yang asli ditampilkan oleh bit-bit multiple pada sinyal yang ditransmisikan, yang disebut sebagai kode tipis (chipping). Kode tipis yang menyebarkan sinyal secara langsung sepanjang band frekuensi yang lebih luas sebanding dengan jumlah bit yang dipergunakan. Oleh karena itu, kode tipis 10-bit menyebarkan sinyal sepanjang band frekuensi yang 10kali lebih besar dibanding kode tipis 1-bit.

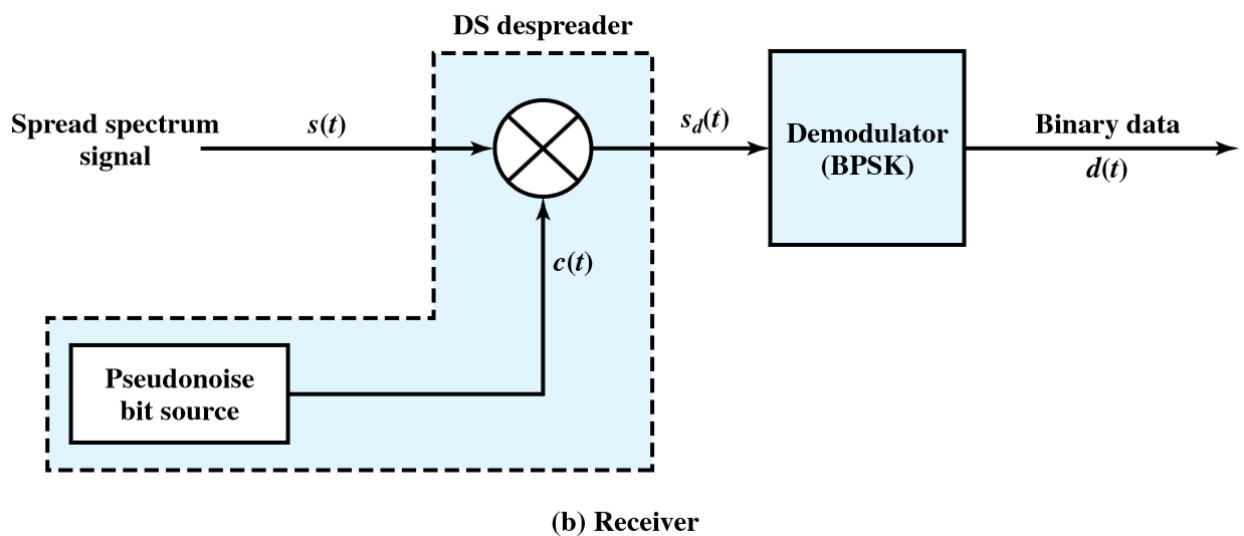
Satu teknik dengan spectrum penyebaran deretan langsung adalah dengan mengkombinasikan stream informasi digital dengan bit stream pseudorandom menggunakan OR-eksklusif contohnya pada Gambar 5.21. Patut dicatat bahwa bit informasi dari satu membalikkan bit-bit pseudorandom dalam kombinasi tersebut,

sementara bit informasi nol menyebabkan bit-bit pseudorandom ditransmisikan tanpa mengalami inverse. Kombinasi bit stream memiliki rate data yang sama dengan deretan pseudorandom yang asli, sehingga memiliki bandwidth yang lebih lebar dibanding stream informasi. Pada contoh ini, bit stream pseudorandom dikunci pada empat kali lipat rate informasi.

Gambar 5.22 menunjukkan implementasi deretan langsung yang khusus. Dalam hal ini, stream informasi dan stream pseudorandom bahkan dikonversikan ke sinyal-sinyal analog lalu dikombinasikan, bukannya menunjukkan OR eksklusif dari dua stream dan kemudian memodulasikannya. Pelebaran spektrum dapat dicapai melalui teknik deretan langsung yang ditentukan dengan mudah.



Sebagai contoh, anggap saja sinyal informasi memiliki lebar bit sebesar t_B yang



ekuivalen terhadap rate data sebesar $1/t_B$. Dalam hal ini, bandwidth sinyal tergantung pada teknik pengkodean, kira-kira $2/t_B$. Hampir sama dengan itu, bandwidth sinyal pseudorandom adalah $2/T_c$ adalah lebar bit dari pseudorandom input. Bandwidth sinyal yang dikombinasikan kira-kira sebesar jumlah dari dua bandwidth tersebut. Jumlah penyebaran yang dicapai adalah hasil langsung dari rate data stream pseudorandom. Semakin besar rate data pseudorandom input, semakin besar jumlah penyebarannya.

Gambar 5.29 Deretan Langsung Sinyal Spektrum Penyebaran

5.6 BACAAN YANG DISARANKAN

Untuk beberapa alasan tertentu, sangatlah sulit untuk menemukan laporan yang berguna mengenai skema-skema pengkodean dari digital-ke-digital. [PEEB87J menyajikan salah satu dari analisis-analisis terbaik mengenai topik ini. [SKLA88] dan [BERG96J juga memberikan beberapa pandangan. Dengan kata lain, terdapat beberapa referensi yang baik tentang skema modulasi analog untuk data digital. Salah satu pilihan terbaik adalah [COUC97J, [HAYK94], dan [PROA94J. Ketiganya menyajikan laporan yang komprehensif tentang skema modulasi analog dan digital untuk data analog.

Pembahasan yang sangat jelas yang mencakup teknik-teknik digital-ke-analog, analog-ke-digital, dan analog-ke analog adalah [PEAR92J.

[PETE95J dan [DIX094J juga menyajikan laporan yang komprehensif mengenai spektrum penyebaran.

Laporan instruktif mengenai konsep bit rate, baud, dan bandwidth adalah [FREE98]. Bahan tambahan yang disarankan untuk memperluas konsep yang dilaporkan dalam beberapa bab sebelumnya terutama yang berkaitan dengan skema-skema pengkodean dan efisiensi bandwidth adalah [SKLA93].

BERG96 Bergmans, J. Digital Baseband Transmission and Recording. Boston: Kluwer 1996

COUC97 Couch, L. Digital and Analog Communications Systems. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, 1997

DIX094 : Wiley, Dixon, 1994R. Spread Spectrum Systems with Commercial Applications,. New York : Wiley, 1994.

FREE98 Freeman, R. "Bits; Symbol, Baud, and Bandwidth." IEEE Communications Magazine, April 1998.

HAYK94 Haykin, S. Communications Systems. New York : Wiley, 1995

PEAR92 Pearson, J. Basic Communication Theory. Englewood Cliffs, NJ : prentice ,Hall, 1992

PEEB87 Peebles, Pv, Digital Communication Systems. Englewood Cliffs, NJ prentice . Hall, 1987

PETE95 Peterson, R ; Ziemer, R ; and Borth, D. Introduction to Spread Spectrum communications. Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall, 1995

PROA94 Proakis, J., and Salehi, M. Communications Systems Engineering. Englewood . Cliffs, NJ : Prentice Hall, 1994

SKLA88 Sklar, B. Digital Communications': Fundamentals and applications. Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall) 1988

SKLA93 Sklar, and Evaluating Digital Communication Systems" IEEE Communications Magazine, November 1993

5.7 PERMASALAHAN

- 5.1 Sinyal-sinyal yang mana dari tabel 5.2 yang menggunakan pengkodean diferensial ?
- 5.2 Kembangkan algoritma untuk menggerakkan setiap kode dalam tabel 5.2 dari NRZ-L.
- 5.3 Kode NRZ yang dimodifikasi disebut sebagai enhanced-NRZ (E-NRZ) kadang-kadang dipergunakan untuk pita rekaman magnetik kerapatan tinggi. Pengkodean E-NRZ perlu memisahkan data stream NRZ-L kedalam 7-bit kata; membalikkan bit 2,3,6, dan 7; serta menambahkan satu kesamaan bit untuk masing-masing kata. Kesamaan bit dipilih untuk membuat total

jumlah 1s dalam 8-bit kata pada bilangan ganjil. Apa keuntungan E-NRZ yang melebihi NRZ-L ? Adakah kerugiannya ?

- 5.4 Kembangkan diagram status (mesin status terbatas) yang menampilkan pengkodean pseudotenary.
- 5.5 Amati teknik pengkodean sinyal berikut ini. Data biner ditampilkan sebagai input, a_m untuk $m = 1, 2, 3, \dots$. Terjadi dua level pemrosesan. Pertama, rangkaian angka-angka biner baru yang dihasilkan;

$$b_0 = 0$$

$$b_m = (a_m + b_{m-1}) \bmod 2$$

Yang kemudian diberi kode sebagai

$$c_m = b_m - b_{m-1}$$

Pada penerima, data yang asli didapatkan melalui

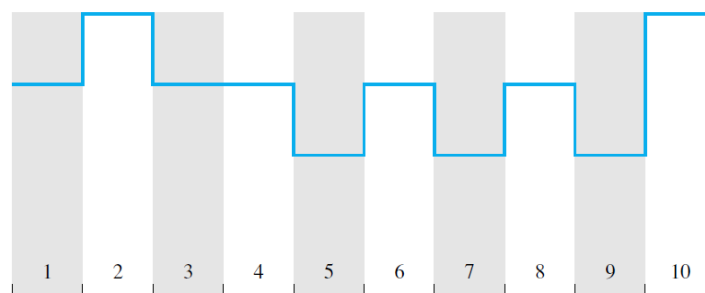
$$a_m = c_m \bmod 2$$

- Buktikan bahwa nilai-nilai yang diterima sebesar a_m sama dengan nilai-nilai yang ditransmisikan A_m .
 - Apa jenis pengkodean ini ?
- 5.6 Untuk bit stream 01001110, buatlah bagan bentuk gelombang untuk setiap dari Tabel 5.2. Asumsikan bahwa level sinyal untuk bit sebelumnya untuk NRZ sangat tinggi; 1 bit (AMI) terbaru sebelumnya memiliki voltase negatif; dan 0 bit (pseudotenary) terbaru sebelumnya memiliki voltase negatif.
- 5.7 Bentuk gelombang dari Gambar 5.23 merupakan data stream biner yang dikodekan menurut kode Manchester. Tentukan awal dan akhir periode bit (misalnya, kutipan informasi clock) dan berikan deretan datanya.



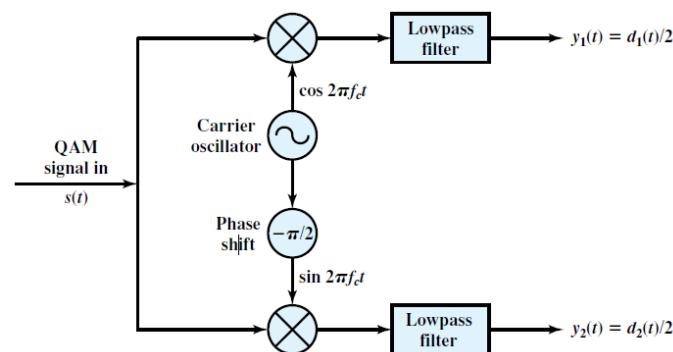
Gambar 5.23 Stream Manchester

- 5.8 Amati stream dari data biner yang terdiri dari deretan panjang dari 1 yang diikuti oleh nol lalu diikuti lagi oleh deretan yang panjang dari 1, dengan asumsi yang sama seperti dalam soal 5.6. Gambarkan bentuk gelombang untuk deretan ini menggunakan
- NRZ-L
 - Bipolar-AMI
 - Pseudotenary
- 5.9 Bentuk gelombang bipolar-AMI yang menunjukkan deretan biner 01000101011 ditransmisikan sepanjang channel yang sangat berisik, bentuk gelombang yang diterima ditunjukkan dalam Gambar 5.24; yang memuat suatu error tunggal. Tempatkan posisi error ini dan jelaskan jawaban Anda.



Gambar 5.24 Bentuk Gelombang Bipolar-AMI Yang Diterima

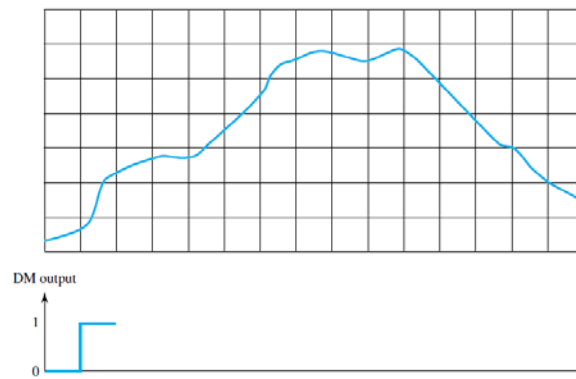
- 5.10 Gambar 5.25 menunjukkan demodulator QAM yang berkaitan dengan modulator AM dari Gambar 5.18. Tunjukkan bahwa proses tersebut akan mendapatkan kembali 2 sinyal $d_1(t)$ dan $d_2(t)$, yang dapat dikombinasikan untuk mendapatkan kembali input yang asli.
- 5.11 Suatu gelombang sinus digunakan untuk dua skema pensinyalannya yang berbeda, yakni
 (a) PSK;
 (b) QPSK;
 Durasi elemen sinyal besarnya 10^{-5} . Bila sinyal yang diterima sebesar :
 $s(t) = 0,005 \sin(2\pi \times 10^6 t + \theta)$ volts
 Dan bila daya derau yang diukur pada receiver adalah $2,5 \times 10^{-8}$ watt, tentukan E_b atau N_0 (dalam dB) untuk masing-masing kasus.
- 5.12 Buatlah suatu teori untuk rate baud D sebagai fungsi rate bit R untuk QPSK menggunakan teknik-teknik pengkodean digital dari tabel 5.2.
- 5.13 Berapa rasio SNR yang diperlukan untuk mencapai efisiensi bandwidth sebesar 1,0 untuk ASK, FSK, PSK, dan QPSK ? Asumsikan bahwa error rate bit yang adalah sebesar 10^{-6}



Gambar 5.25 Demodulator QAM

- 5.14 Sebuah sinyal NRZ-L dilewatkan melalui sebuah filter dengan $r = 0,5$ dan kemudian dimodulasikan di atas sebuah pembawa. Rate data-nya sebesar 2400 bps. Buatlah evaluasi bandwidth untuk ASK dan FSK. Untuk FSK diasumsikan bahwa dua frekuensi yang digunakan adalah 50 kHz dan 55 kHz.
- 5.15 Asumsikan bahwa sebuah channel jalur telpon disetarakan untuk memungkinkan dilakukannya transmisi data bandpass sepanjang jangkauan frekuensi 600 sampai 3000 Hz. Bandwidth yang tersedia sebesar 2400 Hz. Untuk $r=1$, evaluasikan bandwidth yang diperlukan untuk 2400 bps QPSK dan 4800-bps, pensinyalan multilevel level-delapan (eight-level multilevel signalling). Apakah bandwidth tersebut cukup memadai ?
- 5.16 Mengapa PCM lebih baik terhadap DM untuk pengkodean sinyal-sinyal analog yang menampilkan data digital ?

- 5.17 Apakah modem dan kodek dari segi fungsinya mempunyai persamaan(misalnya, dapatkah sebuah modem berfungsi sebagai kodek, begitu sebaliknya) ?
- 5.18 Sebuah sinyal diperbanyak menggunakan 10-bit PCM Temukan rasio sinyal-terhadap banyaknya derau.
- 5.19 Anggap saja sebuah sinyal audio dengan komponen-komponen spektral dalam jarak 300 sampai 3000 Hz. Asumsi kan bahwa rate pengambilan sampel sebesar 7000 sampel per detik akan digunakan untuk menggerakkan sinyal PCM.
- Untuk $\text{SNR} = 30 \text{ dB}$, berapa jumlah banyak (Kuantitas) level yang sama yang diperlukan ?
 - Berapa rate data yang diperlukan ?
- 5.20 Temukan langkah ukuran yang diperlukan untuk mengatasi derau yang melebihi batas sebagai fungsi frekuensi dari komponen sinyal frekuensi tertinggi. Asumsikan bahwa semua komponen tersebut memiliki amplitudo A .
- 5.21 Sebuah encode PCM menerima suatu sinyal dengan voltase skala-penuh sebesar 10V dan membangkitkan 8-bit kode menggunakan perbanyak (quantization) yang sama. Voltase normal maksimum yang diperbanyak adalah $1-2^{-8}$. Tentukan (a) ukuran langkah yang dinormalkan, (b) ukuran langkah aktual dalam volts, (c) level maksimum aktual yang diperbanyak dalam volts, (d) resolusi yang dinormalkan. (e) resolusi aktual. dan (f) persentase resolusi.
- 5.22 Bentuk gelombang analog yang ditunjukkan dalam Gambar 5.26 merupakan delta yang dimodulasi. Periode pengambilan sampel dan ukuran langkah yang ditunjukkan lewat jaringan (grid) pada gambar tersebut. Output DM yang pertama dan fungsi tangga untuk perioda tersebut juga ditampilkan. Tunjukkan sisa fungsi tangga dan berikan output DM-nya. Tunjukkan daerah dimana terdapat distorsi kemiringan yang melebihi batas.
- 5.23 Amati sudut sinyal yang dimodulasi (angle-modulated Signal)
 $s(t) = 10 \cos [(10^8) \mu t + 5 \sin 2\mu(10^3)t]$
 Temukan selisih fase maksimum dan selisih frekuensi maksimum.
- 5.24 Amati sudut sinyal yang dimodulasi (angle-modulated Signal)
 $s(t) = 10 \cos [(10^6)t + 0,1 \sin (10^3) \mu t]$
- Nyatakan $s(t)$ sebagai sinyal PM dengan $n_p = 10$.
 - Nyatakan $s(t)$ sebagai sinyal FM dengan $n_f = 10 \mu$



Gambar 5.26 Contoh Modulasi Delta

- 5.25 Biarkan $m_1(t)$ dan $m_2(t)$ menjadi sinyal-sinyal pesan dan biarkan $S_1(t)$ serta $S_2(t)$ menjadi sinyal-sinyal yang dimodulasikan bersamaan menggunakan frekuensi pembawa sebesar f_c
- Tunjukkan bahwa bila modulasi AM sederhana dipergunakan, maka $m_1(t) + m_2(t)$ menghasilkan sinyal yang dimodulasikan setara dengan kombinasi linear $S_1(t)$ dan $S_2(t)$. Ini menunjukkan mengapa sudut modulasi kadang-kadang ditunjukkan sebagai modulasi linear.
 - Tunjukkan bahwa bila modulasi PM sederhana dipergunakan, maka $m_1(t) + m_2(t)$ menghasilkan sinyal yang tidak sama dengan kombinasi linear $S_1(t)$ dan $S_2(t)$. Ini menunjukkan mengapa sudut modulasi kadang-kadang ditunjukkan sebagai modulasi nonlinear.

BAB 6

INTERFACE KOMUNIKASI DATA

6.1. Transmisi Synchronous dan Asynchronous

Transmisi Asynchronous

Transmisi Synchronous

6.2. Jenis-jenis Kesalahan

6.3. Konfigurasi Saluran

Topologi

Full Duplex dan Half Duplex

6.4. Penginterfacean

V.24/EIA-232-F

Interface Fisik ISDN

6.5. Bacaan yang Disarankan

6.6. Permasalahan

ULIL LATIFAH	4103141010
VINA RAHMA	4103141029
M. FARIZAL EKA A.	4103141047

Ketiga bab sebelumnya menekankan pembahasan utamanya pada atribut transmisi data, seperti karakteristik-karakteristik sinyal data dan media transmisi, pengkodean sinyal, serta kinerja transmisi. Di bab ini, kita mengalihkan perhatian kita pada Interface di antara perangkat komunikasi data serta sistem transmisi data.

Untuk dua perangkat yang dihubungkan melalui sebuah media transmisi untuk memindah data, diperlukan suatu kerjasama tingkat tinggi. Biasanya, data ditransmisikan satu bit sekaligus di sepanjang media. Waktu (rate, durasi, jarak) bit-bit ini harus sama untuk transmitter dan receiver. Ada dua teknik yang biasa digunakan untuk mengontrol waktu, yakni asynchronous dan synchronous dibahas secara terperinci di bagian 6.1. Berikutnya, bab ini menyajikan gambaran berbagai jenis konfigurasi saluran yang biasa dipergunakan. Terakhir, kita mengamati interface fisik antara perangkat pentransmisi data dan jalur transmisi. Biasanya, perangkat data

digital tidak dipasang dan sinyal juga tidak melintasi media secara langsung. Karenanya, proses ini dihubungkan melalui suatu interface standar yang mampu menyediakan kemampuan mengontrol interaksi antara perangkat pemtransmisi/penerima dan jalur transmisi.

6.1 TRANSMISI SYNCHRONOUS DAN ASYNCHRONOUS

Di buku ini, kita menekankan perhatian kita pada transmisi data seri; yakni di mana. Data yang ditransfer lebih dari satu sinyal dibandingkan dengan sinyal pada saluran paralel, sebagaimana yang biasa dilakukan dengan perangkat I/O dan jalur sinyal komputer internal. Dengan transmisi seri, elemen-elemen pensinyalan dikirim sepanjang jalur sekaligus. Setiap elemen-elemen pensinyalan bisa berarti:

- ❑ **Kurang dari satu bit:** Dalam hal ini, contohnya, dengan pengkodean Manchester.
- ❑ **Satu bit:** Contohnya, NRZ-L digital dan FSK analog.
- ❑ **Lebih dari satu bit:** Contohnya, QPSK.

Untuk menyederhanakan pembahasan selanjutnya, kita mengasumsikan satu bit per elemen pensinyalan kecuali bila yang sebaliknya yang dinyatakan. Pembahasan ini tidak secara langsung dipengaruhi oleh simplifikasi ini.

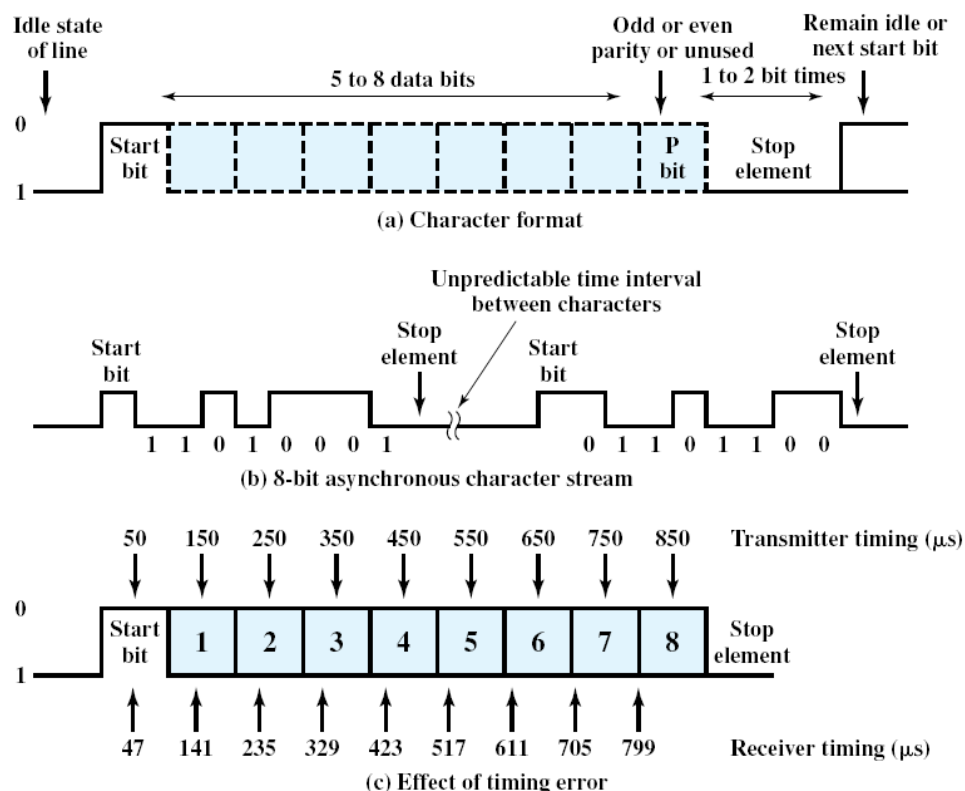
Perhatikan gambar 3.13 di mana penerima data digital melibatkan pemeriksaan sinyal yang datang satu kali per bit waktu untuk menentukan nilai biner-nya. Salah satu kesulitan dalam menjalankan proses semacam itu adalah karena berbagai gangguan transmisi akan merusak sinyal sehingga kadang-kadang terjadi kesalahan. Problem ini terjadi dikarenakan adanya kesulitan dalam hal waktu. Pada dasarnya tidak ada masalah bagi receiver untuk memeriksa bit-bit yang datang sebagaimana mestinya, yang harus diketahui adalah waktu kedatangan serta durasi dari setiap bit pada saat diterima.

Seandainya, pengirim mentransmisikan suatu deretan bit-bit data. Pengirim memiliki sebuah detak yang menentukan waktu bit-bit yang ditransmisikan. Sebagai contoh, bila data ditransmisikan pada satu juta bit per detik (1 Mbps), maka satu bit akan ditransmisikan setiap $1 / 10^6 = 1$ mikrodetik (μs), seperti yang tercatat pada detak pengirim. Biasanya, receiver akan berupaya memeriksa media di tengah-tengah waktu penerimaan bit. Receiver akan menghitung waktu sampel-sampel tersebut pada interval satu bit. Pada contoh tersebut, pemeriksaan akan terjadi setiap $1 \mu s$. Bila receiver menghitung waktu sampel-sampel berdasarkan atas detak miliknya sendiri, akan muncul masalah bila detak pada transmitter dan receiver tidak sama. Bila terdapat geseran sebesar 1 persen (detak pada receiver satu persen lebih cepat atau lebih lambat dibanding detak pada transmitter), maka pemeriksaan pertama menjadi $0,01$ bit waktu ($0,01 \mu s$) jauhnya dari pusat bit (pusat bit adalah 5 mulai dari bit awal sampai bit terakhir). Setelah 50 sampel atau lebih, receiver kemungkinan mengalami kesalahan yang disebabkan karena pemeriksaan dilakukan pada waktu yang salah ($50 \times 0,1 = 5 \mu s$). Bila perbedaan waktunya lebih kecil, akan tetap terjadi kesalahan

namun receiver akan mengambil tindakan lebih dulu dibanding transmitter, terlebih bila transmitter mengirimkan deretan bit yang cukup panjang dan bila memang tidak ada langkah-langkah yang diambil untuk mensinkronkan transmitter dan receiver.

Transmisi Asynchronous

Ada dua pendekatan yang paling umum untuk mencapai sinkronisasi yang diharapkan. Pertama disebut transmisi asynchronous. Strategi dalam skema ini adalah menghindari problem yang berkaitan dengan waktu dengan cara tidak mengirimkan deretan bit yang panjang dan tidak putus-putus. Jadi, data ditransmisikan satu karakter sekaligus, dimana setiap karakter panjangnya lima sampai delapan bit. Waktu atau sinkronisasi harus dipertahankan hanya didalam setiap karakter; receiver memiliki peluang melakukan sinkronisasi pada permulaan setiap karakter baru.



Gambar 6.1 Transmisi Asynchronous

Gambar 6.1 memberi penjelasan mengenai teknik ini. Bila tidak ada karakter yang ditransmisikan, jalur antara transmitter dan receiver dinyatakan dalam status idle. Definisi idle ekuivalen terhadap elemen-elemen pensinyalan untuk biner 1. Sehingga, idle bisa berupa adanya tegangan negatif pada jalur tersebut. Permulaan karakter ditandai dengan suatu *start bit* dengan nilai biner 0. Ini diikuti dengan lima sampai delapan bit yang sebenarnya merupakan karakter. Bit-bit karakter ditransmisikan yang dimulai dengan bit yang secara signifikan merupakan yang paling sedikit. Sebagai contoh, untuk karakter IRA, bit pertama yang ditransmisikan adalah bit yang diberi label b_1 dalam Tabel 3.1. Biasanya, bit-bit data diikuti oleh sebuah bit paritas, yang karenanya berada dalam posisi bit yang paling signifikan. Bit paritas disusun oleh transmitter semacam itu. Jumlah total bit-bit dalam karakter, termasuk bit paritas, bisa genap (paritas genap) atau ganjil (paritas ganjil), tergantung ketentuan

yang digunakan. Bit ini dipergunakan oleh receiver untuk mendeteksi kesalahan, sebagaimana yang dibahas di Bab 7. Yang dimaksud dengan elemen akhir adalah *stop element*, yang berupa biner 1. Panjang minimum untuk elemen akhir ditentukan, biasanya 1, 1,5 atau 2 kali durasi bit biasa. Tidak adanya nilai maksimum juga ditentukan. Karena elemen akhir sama dengan status idle, transmitter tidak akan terus mentransmisikan elemen akhir sampai elemen akhir siap mengirimkan karakter berikutnya.

Bila deretan karakter dikirim, interval diantara kedua karakter tersebut menjadi seragam dan setara terhadap elemen akhir. Sebagai contoh, bila elemen akhir sebesar satu bit waktu dan karakter IRA ABC dikirim (dengan bit paritas genap), polanya adalah 01000001010010000101011000011111 ... 111. Bit awal (0) memulai deretan waktu untuk sembilan elemen berikutnya, yang berupa 7-bit kode IRA, bit paritas, dan elemen akhir. Pada status idle, receiver mencari transisi dari 1 sampai 0 untuk menandai permulaan karakter berikutnya dan kemudian memeriksa sinyal-sinyal input pada satu bit interval untuk tujuh interval. Dilanjutkan dengan mencari transisi 1 sampai 0 berikutnya, yang akan muncul tidak lebih cepat dibanding satu bit waktu lagi.

Persyaratan waktu untuk skema ini sederhana saja. Sebagai contoh, karakter IRA biasanya dikirim sebagai unit 8-bit, termasuk bit paritas. Bila receiver 5 persen lebih lambat atau lebih cepat daripada transmitter, pemeriksaan delapan bit karakter akan dipindahkan per 45 persen dan masih diperiksanya dengan benar. Gambar 6.1c menunjukkan dampak kesalahan dalam waktu dari magnituda sehingga menyebabkan munculnya kesalahan pada penerima. Dalam contoh ini kita mengasumsikan rate data sebesar 10.000 bit detik (10 kbps); maka, masing-masing bit besarnya 0,1 millisecond (ms), atau durasi 100 μ s. Anggap saja receiver mempunyai kecepatan sebesar 6 persen, atau 6 μ s per bit waktu. Jadi sebagaimana contoh di atas, receiver akan kedatangan karakter setiap 94 μ s (berdasarkan atas detak pada transmitter). Sebagaimana yang bisa dilihat, contoh terakhir ini ternyata keliru.

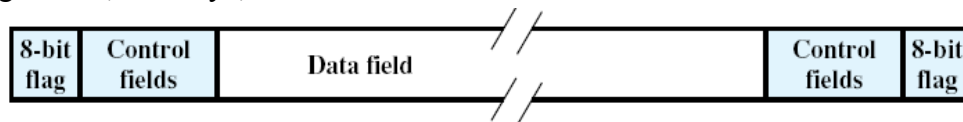
Kesalahan semacam ini sebenarnya terjadi karena dua hal. Pertama, bit yang terakhir tidak diterima dengan benar. Kedua, perhitungan bit kemungkinan diluar dari yang ditentukan. Bila bit-7 adalah 1 dan bit-8 adalah 0, bit-8 bisa jadi salah sebagai bit awal. Kondisi ini disebut *framing error*, sebagaimana karakter plus bit awal dan elemen akhir yang kadang-kadang ditunjukkan sebagai frame. Framing error kadang-kadang terjadi bila beberapa keadaan derau menyebabkan munculnya bit awal yang salah sepanjang status idle.

Transmisi asynchronous sangat sederhana dan murah namun memerlukan tambahan dua sampai tiga bit per karakter. Sebagai contoh, untuk karakter 8-bit tanpa bit prioritas, menggunakan elemen akhir sepanjang 1-bit, dua dari setiap sepuluh bit tidak membawa informasi, namun mereka hanya untuk sinkronisasi saja; sehingga tambahannya adalah 20 persen. Tentu saja, tambahan persentase dapat dikurangi dengan mengirimkan blok bit yang lebih besar diantara bit awal dan elemen akhir. Bagaimanapun juga, seperti yang ditunjukkan dalam gambar 6.1c, semakin besar blok bit, maka semakin besar tumpukan kesalahan. Untuk mencapai tingkat efisiensi yang lebih besar, digunakan transmisi synchronous, yang merupakan bentuk lain dari

sinkronisasi.

Transmisi Synchronous

Dengan transmisi synchronous, suatu blok bit ditransmisikan dalam suatu deretan yang cukup mantap tanpa kode start dan stop. Panjang blok tersebut bisa terdiri dari bit-bit yang begitu banyak. Untuk mencegah ketidaksesuaian waktu di antara transmitter dan receiver, detak-nya dengan cara apapun harus dibuat sinkron. Salah satu kemungkinannya adalah dengan menyediakan sebuah jalur detak terpisah diantara transmitter dan receiver. Salah satu sisi (transmitter maupun receiver) mengatur jalur secara teratur dengan satu pulsa pendek per bit waktu. Sisi yang lain menggunakan pulsa reguler ini sebagai detak. Teknik ini akan bekerja dengan baik untuk jarak pendek, namun untuk jarak yang lumayan panjang pulsa detak akan menjadi sasaran gangguan-gangguan yang sama seperti yang terjadi pada sinyal data, ditambah lagi dengan adanya kesalahan dalam hal waktu. Alternatif lain, dengan menyimpan informasi pewaktuan pada sinyal data. Untuk sinyal-sinyal digital, hal ini bisa diperoleh dengan pengkodean Manchester atau Manchester Diferensial. Sedangkan untuk sinyal-sinyal analog, terdapat sejumlah teknik yang dapat dipergunakan; misalnya, frekuensi



Gambar 6.2 Format Frame Synchronous

pembawa itu sendiri juga dapat dipergunakan untuk mensinkronkan receiver didasarkan atas fase frekuensi pembawa.

Dengan transmisi synchronous, terdapat level sinkronisasi lain yang diperlukan, yang memungkinkan bagi receiver menentukan awal dan akhir suatu blok data. Untuk mencapai hal ini, setiap blok diawali dengan pola bit *preamble* dan biasanya diakhiri dengan pola bit *postamble*. Selain itu, bit-bit yang lain ditambahkan ke blok data yang membawa informasi kontrol yang dipergunakan dalam prosedur kontrol data link sebagaimana yang didiskusikan di Bab 7. Data plus preamble, postamble, dan informasi kontrol disebut **frame**. Bentuk frame yang tepat tergantung pada prosedur kontrol data link apa yang berlaku.

Gambar 6.2 menunjukkan, menurut istilah umum, bentuk frame khusus untuk transmisi synchronous. Biasanya, frame diawali dengan suatu preamble yang disebut flag, yang panjangnya delapan bit. Flag yang sama dipergunakan sebagai postamble. Receiver mencari pola flag untuk menandai permulaan frame. Ini diikuti dengan beberapa bit-bit kontrol, kemudian bit-bit data (panjangnya variabel untuk sebagian besar protokol), bit-bit kontrol lagi, dan terakhir flag diulang lagi.

Untuk blok data yang cukup besar, transmisi synchronous jauh lebih efisien dibanding transmisi asynchronous. Transmisi asynchronous memerlukan tambahan 20 persen atau bahkan lebih Informasi kontrol, preamble, dan postamble dalam transmisi synchronous biasanya kurang dari 100 bit. Sebagai contoh, salah satu dari skema yang paling umum, HDLC (digambarkan di Bab 7), memuat 48 bit kontrol, preamble, dan postamble. Sehingga, untuk 1000 karakter blok data, masing-masing frame berisikan 48 bit tambahan dan $1000 \times 8 = 8.000$ bit data, sedangkan persentasenya

hanya $48/8048 \times 100\% = 0,6\%$.

6.2 JENIS-JENIS KESALAHANAN

Dalam sistem transmisi digital, kesalahan terjadi ketika bit diubah antara transmisi dan penerimaan; yaitu, biner 1 ditransmisikan dan biner 0 diterima, atau biner 0 ditransmisikan dan biner 1 diterima. Dua jenis kesalahan umum yang dapat terjadi: single-bit errors dan burst errors. Single-bit errors adalah kondisi kesalahan yang terisolasi yang mengubah bit tetapi tidak mempengaruhi bit dekatnya. Burst errors adalah urutan bersebelahan bit B di mana bit pertama dan terakhir dan sejumlah bit menengah diterima dalam kesalahan. Lebih tepatnya, IEEE Std 100 dan ITU-T Rekomendasi Q.9 keduanya mendefinisikan burst errors sebagai berikut:

Burst errors : Sekelompok bit di mana dua bit yang salah berurutan yang selalu dipisahkan oleh kurang dari x dari bit benar. Kesalahan terakhir dalam burst errors dan kesalahan pertama bersamaan dipisahkan oleh x bit yang benar atau lebih.

Dengan demikian, dalam burst errors, ada sekelompok bit di mana sejumlah kesalahan terjadi, meskipun tidak selalu semua bit dalam rangkaian kesalahan.

Single-bit errors dapat terjadi dengan adanya white noise, ketika sedikit pengacakan rasio signal-to-noise cukup membingungkan penerima keputusan dari single-bit. Error burst yang lebih umum dan lebih sulit untuk menanganinya. Error burst dapat disebabkan oleh kebisingan impuls, yang dijelaskan pada Bab 3.

Perhatikan bahwa efek dari burst errors lebih besar pada kecepatan data yang lebih tinggi.

6.3 KONFIGURASI SALURAN

Dua karakteristik yang membedakan berbagai konfigurasi penghubung data adalah topologi dan apakah penghubung tersebut half duplex atau full duplex.

Topologi

Topologi penghubung data menunjuk pada susunan station secara fisik pada suatu media transmisi. Bila hanya terdapat dua station (misalnya, sebuah terminal dan satu komputer atau dua komputer) penghubungnya adalah dari ujung-ke-ujung. Bila terdapat lebih dari dua station, maka berupa topologi multipoin. Biasanya, penghubung multipoin dipergunakan bila station yang ada adalah sebuah komputer dan seperangkat terminal (station kedua). Saat ini, topologi multipoin banyak ditemukan di lingkup Local Area Network.

Biasanya, topologi multipoin dimungkinkan bila terminal hanya melakukan transmisi dalam waktu yang singkat. Gambar 6.3 menunjukkan penjelasan kelebihan konfigurasi multipoin ini. Bila setiap terminal memiliki penghubung dari ujung-ke-ujung ke komputernya, maka komputer tersebut harus memiliki port I/O khusus untuk masing-masing terminal. Juga terdapat penghubung transmisi yang terpisah dari komputer ke setiap terminal. Dalam konfigurasi multipoin, komputer hanya

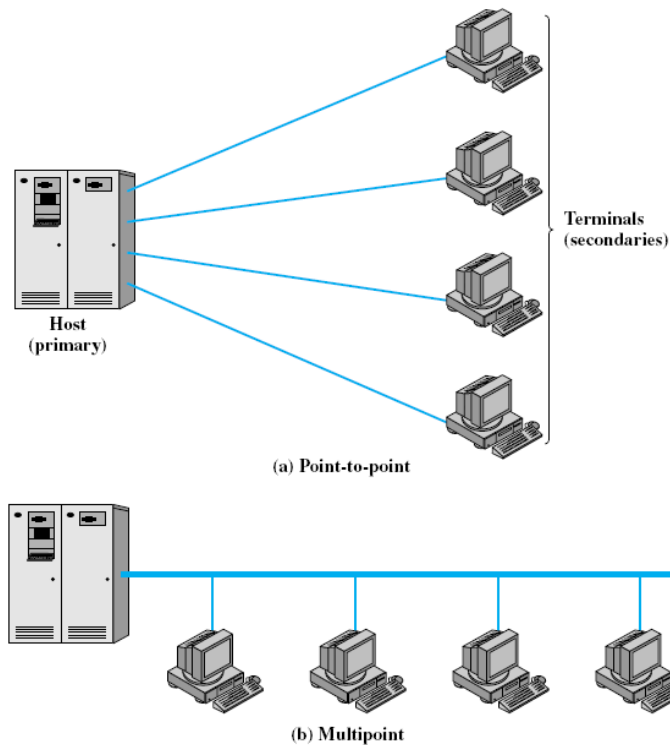
memerlukan port I/O tunggal dan penghubung transmisi tunggal yang bisa menghemat biaya.

Full Duplex dan Half Duplex

Perpindahan data melalui jalur transmisi bisa diklasifikasikan sebagai full duplex atau half duplex. Dengan transmisi half duplex, hanya salah satu dari kedua station pada hubungan ujung-ke-ujung yang bisa melakukan transmisi saat itu juga. Model ini juga menunjuk pada *two-way alternate*, dimana dua station harus bergantian melakukan transmisi. Hal ini bisa diibaratkan dengan satu-jalur, dua-jembatan. Bentuk transmisi semacam ini sering dipergunakan untuk interaksi terminal-ke-komputer. Sementara user memasuki dan mentransmisikan data, komputer host berhenti mengirim data ke terminal, karena bisa muncul di layar terminal dan menyebabkan kebingungan.

Sedangkan untuk *transmisi full-duplex*, dua station secara simultan mengirim dan menerima satu sama lain. Sehingga model ini disebut juga *two-way simultaneous* dan bisa diibaratkan sebagai dua-jalur, dua-jembatan. Untuk perpindahan data dari komputer-ke-komputer, bentuk transmisi ini lebih efisien dibanding transmisi half-duplex.

Dengan pensinyalan digital, yang memerlukan transmisi guided, operasi full-duplex memerlukan dua path transmisi yang terpisah (misalnya, twisted pair), sedangkan operasi half-duplex hanya memerlukan satu jalur saja. Untuk pensinyalan analog, hal ini tergantung dari frekuensinya; bila station mentransmisi dan menerima data pada frekuensi yang sama, maka harus beroperasi dengan model half duplex untuk transmisi wireless, meskipun bisa juga beroperasi dengan model full duplex untuk guided transmission menggunakan dua jalur transmisi yang terpisah. Bila station hanya mentransmisi data pada satu frekuensi dan menerima data pada frekuensi yang lain, bisa beroperasi dengan model full-duplex untuk transmisi wireless dan menggunakan model full-duplex dengan satu jalur tunggal untuk guided transmission.



Gambar 6.3 Konfigurasi Terminal/Komputer Tradisional

Kenyataannya memang mungkin mentransmisikan ke kedua arah secara simultan pada satu jalur tunggal menggunakan suatu teknik yang disebut echo cancellation. Teknik pengolahan sinyal ini penjelasannya jauh melampaui yang dibahas di buku ini.

6.4 PENGINTERFACEAN

Sebagian besar perangkat pengolahan data memiliki kemampuan transmisi data yang terbatas. Biasanya, mereka menghasilkan sinyal digital sederhana, seperti NRZ-L dan lintasan jarak yang terbatas. Akibatnya, jarang sekali untuk perangkat semacam itu (terminal, komputer) dihubungkan secara langsung dengan fasilitas transmisi atau jaringan. Gambaran yang lebih umum ditunjukkan pada gambar 6.4. Perangkat-perangkat yang kita bahas ini, termasuk terminal dan komputer, umumnya disebut sebagai *Data Terminal Equipment* (DTE). DTE memungkinkan penggunaan sistem transmisi melalui penghubung data *Circuit-Terminating Equipment* (DCE). Contoh untuk itu adalah MODEM.

Pada satu sisi, DCE bertanggung-jawab mentransmisi dan menerima bit-bit, satu sekaligus dalam satu waktu, melalui sebuah media transmisi atau jaringan. Di sisi yang lain, DCE harus berinteraksi dengan DTE. Umumnya, hal ini membutuhkan pertukaran informasi kontrol dan data. Ini dilakukan melalui seperangkat kabel yang disebut *rangkaian pertukaran*. Untuk skema ini, diperlukan tingkat kerjasama yang tinggi. Kedua DCE yang memindahkan sinyal melalui jaringan atau jalur transmisi harus saling mengerti satu sama lain. Maksudnya receiver pada masing-masing DCE harus menggunakan skema pengkodean yang sama (misalnya, Manchester, PSK) serta

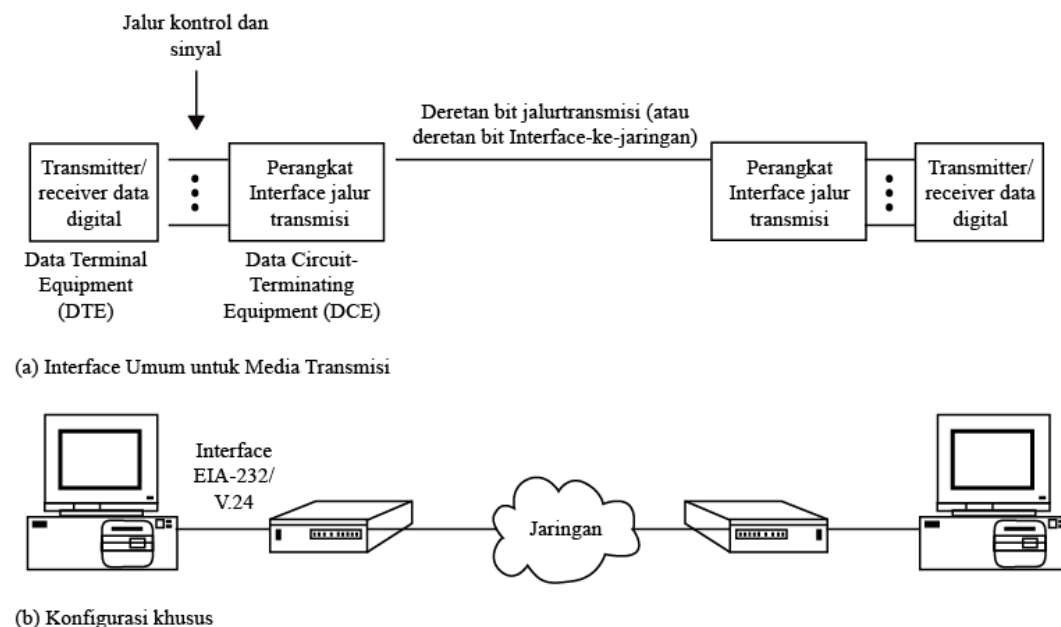
rate data seperti halnya dengan transmitter. Selain itu setiap pasangan DTE-DCE harus dirancang sedemikian rupa agar bisa berinteraksi dengan baik. Untuk mengurangi beban peralatan pengolahan data pada user atau pembuatnya, dikembangkan standar-standar yang menentukan sifat interface antara DTE dan DCE. Interface semacam itu memiliki empat karakteristik penting yakni:

- ❑ Mekanik
- ❑ Elektrik
- ❑ Fungsional
- ❑ Prosedural

Karakteristik mekanik menyangkut hubungan fisik yang terjadi antara DTE dan DCE. Biasanya, rangkaian pertukaran sinyal dan kontrol dibundel di dalam sebuah kabel dengan suatu konektor terminator, male atau female, pada setiap ujungnya. DTE dan DCE harus menggunakan konektor dengan jenis yang berlainan pada salah satu ujung kabel, karena mempengaruhi koneksinya secara fisik. Situasinya sama dengan daya listrik untuk perumahan-perumahan. Daya diperoleh melalui stop kontak dan perangkat yang dihubungkan harus memiliki konektor male yang tepat (dua-pronged, dua-pronged yang dipolarisasikan, atau tiga-pronged) yang sesuai dengan stop kontak.

Karakteristik elektrik harus dilakukan dengan level voltase dan waktu perubahan voltase. Baik DTE maupun DCE harus menggunakan kode yang sama (misalnya, NRZ-L) serta menggunakan level voltase dan durasi elemen-elemen sinyal yang sama. Karakteristik ini menentukan rate data dan jarak yang bisa dicapai.

Karakteristik fungsional menentukan fungsi yang ditunjukkan melalui penetapan arti untuk setiap rangkaian pertukaran. Fungsi-fungsi tersebut diklasifikasikan kedalam beberapa kategori data, kontrol, waktu, dan ground.



Gambar 6.4 Penginterfacean Komunikasi Data

Karakteristik prosedural menentukan urutan kejadian dalam mentransmisikan data, didasarkan atas karakteristik fungsional interface. Contoh-contoh yang berikut ini bisa menjelaskan hal ini.

Berbagai jenis standar untuk penginterfacean sudah tersedia. Bagian ini menyajikan dua diantaranya yang terpenting, yakni: V.24/EIA-232-F dan ISDN Interface Fisik.

V.24/EIA-232-F

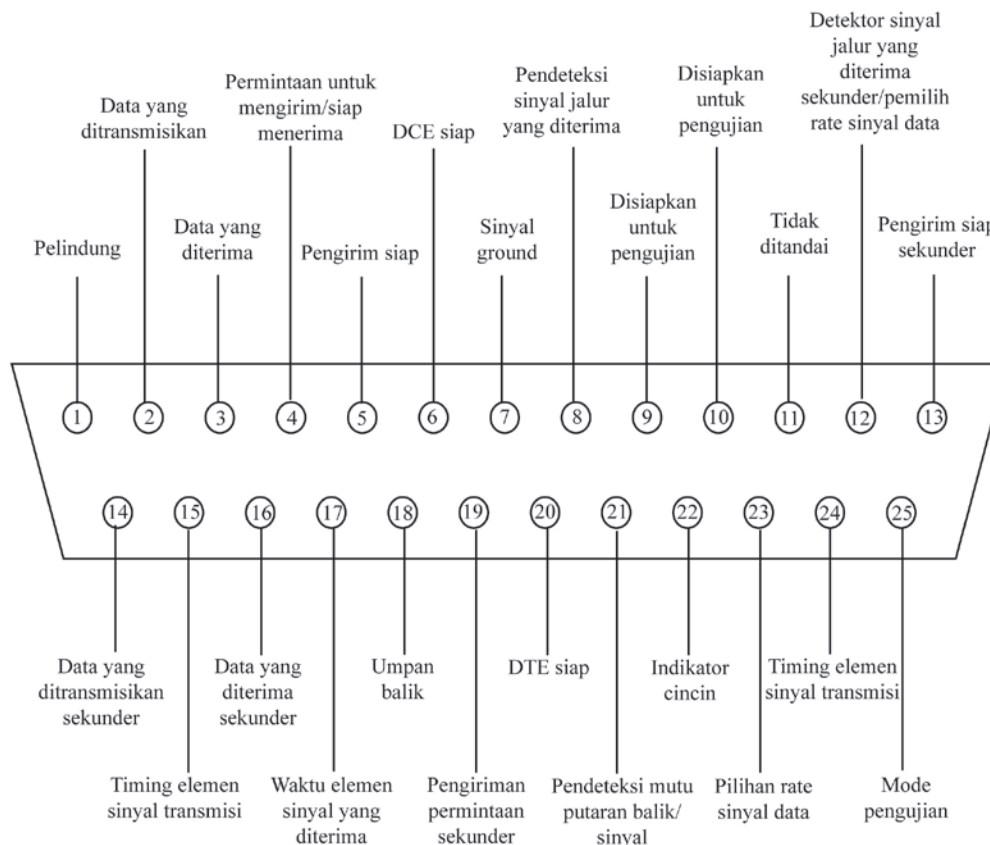
Interface yang paling banyak dipergunakan adalah Interface yang dispesifikasikan dalam standar ITU-T, yaitu V.24. Kenyataannya, standar ini hanya menetapkan aspek-aspek fungsional dan prosedural dari Interface; V.24 menunjuk pada standar-standar lain untuk aspek-aspek elektrik dan mekanik. Di Amerika Serikat, terdapat spesifikasi yang sesuai dan secara virtual hampir sama, dan meliputi keempat aspek, yakni EIA:232-F.

- ☐ Mekanik: ISO 2110
- ☐ Elektrik: V.28
- ☐ Fungsional: V.24
- ☐ Prosedural: V.24

EIA-232-F pertama kali dikeluarkan oleh Electronic Industries Alliance pada tahun 1962 sebagai RS.232. Diperbaharui di edisi revisi keenamnya sebagai EIA:232-F yang dikeluarkan pada tahun 1997. Spesifikasi terbaru V.24 dan V.28, masing-masing dikeluarkan pada tahun 1996 dan 1993. Interface ini digunakan untuk menghubungkan perangkat DTE ke modem taraf_suara yang dimaksudkan sistem telekomunikasi analog publik, serta telah dipergunakan secara luas untuk berbagai aplikasi antar koneksi.

Spesifikasi Mekanik

Spesifikasi Mekanik untuk EIA-232-F diilustrasikan dalam gambar 6.5 memerlukan konektor 25-pin, ditetapkan dalam ISO 2110, dengan susunan petunjuk tertentu. Konektor ini berupa steker atau stop kontak pada kabel dari DTE (misalnya, terminal) dan DCE (misalnya, modem). Pada prakteknya, jauh lebih sedikit rangkaian pertukaran yang dipergunakan untuk sebagian besar aplikasi yang ada.



Gambar 6.5 Ketentuan Pin Untuk V24/EIA-232 (Wajah Konektor DTE)

Spesifikasi Elektrik

Spesifikasi elektrik ini menentukan pensinyalan di antara DTE dan DCE. Pensinyalan digital digunakan untuk semua rangkaian pertukaran. Tergantung pada fungsi rangkaian pertukaran, nilai-nilai elektrik diterjemahkan sebagai sinyal kontrol. Kesepakatan yang diambil menentukan bahwa, dengan memperhatikan dasar-dasar yang umum, voltase lebih negatif dari -3 volt diterjemahkan sebagai biner 1, sedangkan voltase yang lebih positif dari +3 volt diterjemahkan sebagai biner 0. Ini adalah kode NRZ-L Yang dijelaskan dalam gambar 5.2. Interface ditentukan ratenya paderate sinyal sebesar kbps dan jarak <15 meter. Rate data dan jarak yang lebih besar sangat mungkin diperoleh dengan rancangan yang baik, namun harus hati-hati mengasumsikan bahwa batas-batas bisa diterapkan dengan baik dalam teori sekaligus dalam prakteknya.

Level voltase yang sama juga dimaksudkan untuk sinyal kontrol: Voltase yang

negatif dari -3 volt diterjemahkan sebagai kondisi OFF sedangkan voltase yang lebih positif dari +3 volt diterjemahkan kondisi ON.

Spesifikasi Fungsional

Tabel 6.1 menyajikan ringkasan spesifikasi fungsional dari rangkaian pertukaran sedangkan penempatan rangkaian ini pada konektor dijelaskan pada gambar 6.5. Rangkaian dikelompokkan ke dalam kategori data, kontrol, waktu, dan ground. Bila terdapat satu rangkaian data pada masing-masing arah, maka operasi yang dilakukan adalah operasi full-duplex. Sedangkan bila terdapat dua rangkaian yang dipergunakan operasi half-duplex. Untuk operasi half-duplex, pertukaran data di antara kedua DTE (melalui DCE dan penghubung komunikasi yang disertakan) hanya disalurkan kesatu arah sekaligus perlu juga mengirimkan pesan kontrol arus dan berhenti kepada perangkat pentransmisi. Untuk itu, penghubung komunikasi harus dilengkapi dengan channel cadangan yang biasanya rate datanya lebih rendah dari rate data channel utamanya. Pada Interface DTE-DCE channel pembalik tersebut ditempatkan pada sepasang rangkaian data terpisah.

Terdapat 16 rangkaian kontrol. Sepuluh rangkaian pertama ditunjukkan dalam Tabel 6.1 yang berkaitan dengan transmisi data transmisi asynchronous, dipergunakan enam dari rangkaian-rangkaian ini (105, 106, 107, 108.2, 109). Penggunaan rangkaian ini dijelaskan pada topik spesifikasi prosedur. Sebagai tambahan untuk keenam rangkaian ini, dipergunakan juga tiga rangkaian kontrol lain untuk transmisi synchronous. Rangkaian Signal Quality Detector dibalik ke ON oleh DCE untuk menunjukkan mutu sinyal yang datang sepanjang saluran telepon yang biasanya dibatasi oleh beberapa keterbatasan. Sebagian besar modem berkecepatan tinggi mendukung lebih dari satu rate transmisi sehingga dapat menurunkan kecepatannya bila muncul derau pada saluran telepon. Rangkaian pemilih rate sinyal data dipergunakan untuk mengubah kecepatan; baik DTE maupun DCE bisa mengawasi proses perubahan itu. Rangkaian 133 memungkinkan receiver membalik arus data pada rangkaian 104 menyala dan padam. Tiga rangkaian kontrol berikutnya (120, 121, 122) dipergunakan untuk mengontrol penggunaan channel sekunder, yang bisa dipergunakan sebagai channel cadangan atau untuk beberapa keperluan lain.

Kelompok sinyal-sinyal kontrol yang terakhir berkaitan dengan pengujian loopback. Rangkaian ini memungkinkan DTE membuat DCE mampu menunjukkan kemampuan test loopback. Rangkaian ini hanya berfungsi bila modem atau DCE lainnya mendukung kontrol loopback: saat ini menjadi bentuk yang sudah terlalu umum. Pada fungsi loopback lokal, output transmitter dari modem dihubungkan dengan input receiver, tidak menghubungkan modem dari jalur transmisi. Aliran data yang digerakkan oleh perangkat user dikirimkan ke modem dan dirakitkan kembali dalam perangkat user. Untuk loopback yang berjauhan, modem lokal dihubungkan ke fasilitas transmisi dengan cara biasa, dan output receiver dari remote modem dihubungkan ke input transmitter modem. Selama salah satu bentuk test, DCE membalik rangkaian test mode ke ON. Tabel 6.2 menunjukkan susunan untuk semua rangkaian yang berhubungan dengan pengujian loopback dan gambar 6.6 menunjukkan penggunaannya.

Kontrol loopback adalah perangkat yang bermanfaat untuk mengisolasi kegagalan. Sebagai contoh, anggap saja seorang pengguna komputer pribadi sedang berkomunikasi dengan seorang server melalui sebuah modem. Tiba-tiba saja koneksi dan komunikasi mereka terhenti. Masalahnya bisa saja terjadi pada modem lokalnya, fasilitas komunikasi, remote modem atau server-nya yang jauh. Maka manager jaringan dapat melakukan pengujian loopback untuk mengisolasi kegagalan tersebut. Loopback lokal mengecek berfungsi Interface dan DCE lokal. Remote loopback menguji operasi Channel transmisi dan DCE yang berjauhan.

Sinyal-sinyal pewaktuan menyediakan pulsa detak untuk transmisi synchronous. Bila DCE mengirim data synchronous sepanjang rangkaian data yang diterima (104), DCE tersebut juga sekaligus mengirimkan transisi 1-0 dan 0-1 ke waktu elemen sinyal receiver(115), dengan transisi ditentukan waktunya di pertengahan setiap elemen sinyal data yang diterima. Bila DTE mengirim data synchronous, baik DTE maupun DCE menyediakan pulsa-pulsa pewaktuan, tergantung kondisinya.

Terakhir, sinyal ground kembali (102) menyediakan fungsi yang sama seperti yang ditunjukkan rangkaian return untuk petunjuk-petunjuk seluruh data. Jadi, transmisi menjadi tidak seimbang, hanya dengan satu kabel aktif saja. Mengenai transmisi yang tidak seimbang akan didiskusikan di bagian Interface ISDN.

Tabel 6.1 Rangkaian Pertukaran V.24/EIA-232-F

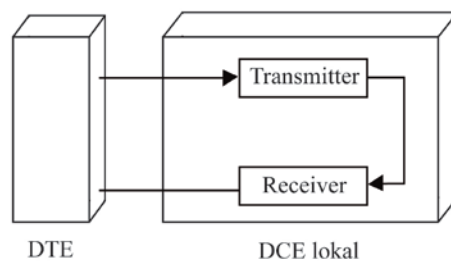
V.24	EIA-232	Nama	Arah Menuju	Fungsi
SINYAL-SINYAL DATA				
103	BA	Data yang ditransmisikan	DCE	Ditransmisikan oleh DTE
104	BB	Data yang diterima	DTE	Diterima oleh DTE
118	SBA	Data yang ditransmisikan sekunder	DCE	Ditransmisikan oleh DTE
119	SBB	Data yang diterima sekunder	DTE	Diterima oleh DTE
SINYAL-SINYAL KONTROL				
105	CA	Permintaan untuk mengirimkan	DCE	DTE ingin mentransmisi
106	CB	Siap untuk mengirimkan	DTE	DCE siap menerima respon untuk permintaan untuk mengirimkan
107	CC	DCE siap	DTE	DCE siap beroperasi
108.2	CD	DTE siap	DCE	DCE siap beroperasi

125	CE	Indikator cincin	DTE	DCE menerima sinyal dering pada saluran canel
109	CF	Pendeteksi sinyal jalur yang diterima	DTE	DCE menerima sinyal dalam batas-batas yang tepat pada saluran canel
110	CG	Pendeteksi mutu sinyal	DTE	Menunjukkan apakah ada kemungkinan error yang tinggi pada data yang diterima
111	CH	Pemilihan rate sinyal data	DCE	Memilih salah satu dari 2 rate
112	CI	Pemilihan rate sinyal data	DTE	Memilih salah satu dari 2 rate
133	CJ	Siap untuk menerima	DCE	Kontrol arus hidup/mati
120	SCA	Permintaan untuk pengiriman sekunder	DCE	DTE ingin mentransmisi pada canel sebaliknya
121	SCB	Pengiriman siap sekunder	DTE	DCE ingin mentransmisi pada canel sebaliknya
122	SCF	Pendeteksi sinyal jalur yang diterima sekunder	DTE	Sama seperti 109, untuk canel pemalik
140	RL	Loopback yang berjauhan	DCE	Memerintahkan DCE yang berjauhan ke sinyal loopback
141	LL	Loopback local	DCE	Meemrintahkan DCE ke loopback signal
142	TM	Model pengujian	DTE	DCE lokal dalam kondisi pengujian
SINYAL-SINYAL PEWAKTUAN				
113	DA	Waktu elemen sinyal transmitter	DCE	Sinyal detak transmisi menuju ON dan OFF terjadi di tengah-tengah setiap elemen sinyal
114	DB	Waktu elemen sinyal transmitter	DTE	Sinyal detak dua-duanya 113 dan 114 berhubungan dengan sinyal pada rangkaian 103
115	DD	Waktu elemen sinyal receiver	DTE	Detak sinyal untuk rangkaian 104

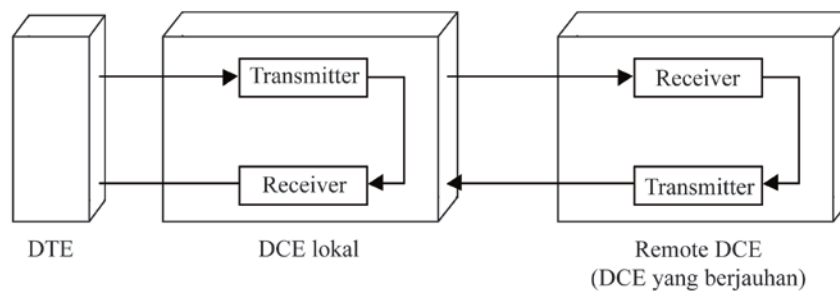
GROUND			
102	AB	Sinyal ground kembali	Sinyal ground untuk seluruh rangkaian

Tabel 6.2 Loopback Circuit Setting untuk V.24/EIA-232

Loopback Lokal		Loopback Remote		
Rangkaian	Kondisi	Rangkaian	Interface local	Interface remote (berjauhan)
DCE siap	ON	DCE siap	ON	OFF
Loopback lokal	ON	Loopback lokal	OF	OFF
Loopback remote	OFF	Loopback remote	ON	OFF
Model pengujian	ON	Model pengujian	ON	ON



(a) Pengujian loopback lokal



(b) Pengujian remote loopback (pengujian loopback yang berjauhan)

Gambar 6.6 Loopback Lokal dan Remote Loopback

Spesifikasi Prosedural

Spesifikasi prosedural menentukan rangkaian di mana, berbagai rangkaian dipergunakan untuk suatu aplikasi khusus. Berikut ini beberapa contohnya.

Contoh Pertama sudah terlalu biasa menyangkut koneksi antara dua perangkat pada jarak pendek didalam suatu bangunan gedung, yang juga disebut modem saluran pribadi asynchronous atau modem jarak terbatas. Seperti yang tersirat dari namanya, modem jarak terbatas menerima sinyal-sinyal digital dari DTE, misalnya terminal atau computer, kemudian mengubah sinyal-sinyal tersebut menjadi sinyal-sinyal analog. Selanjutnya mentransmisikannya melalui suatu media yang tidak terlalu panjang, seperti twisted pair. Pada ujung saluran lainnya adalah modem jarak terbatas lainnya, yang menerima sinyal-sinyal analog yang datang, mengubahnya menjadi digital dan menyalurkannya ke terminal atau komputer yang lain. Jadi, perpindahan data bisa dengan dua cara. Untuk aplikasi yang sederhana ini, hanya rangkaian-rangkaian pertukaran berikut inilah yang sebenarnya diperlukan:

- ☐ Signal Ground (Ground Sinyal) (102)
- ☐ Transmitted Data (Data yang ditransmisikan) (103)
- ☐ Received Data (Data yang diterima) (104)
- ☐ Request to Send (Permintaan untuk Pengiriman) (105)
- ☐ Clear to Send (Siap mengirimkan) (106)
- ☐ DCE Ready (DCE siap) (107)
- ☐ Received Line Signal Detector (pendeteksi sinyal jalur yang diterima) (109)

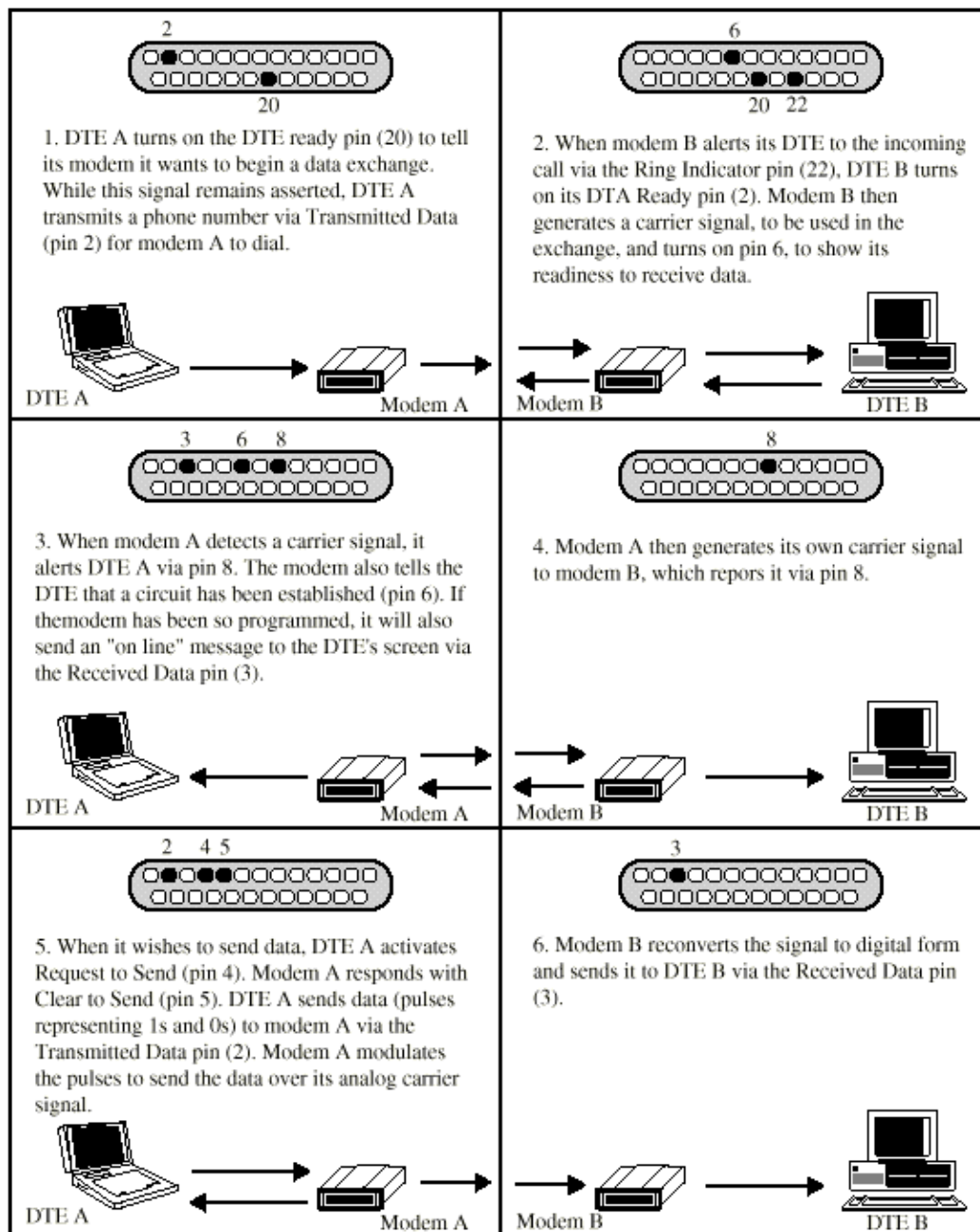
Bila modem (DCE) dihidupkan dan siap untuk dioperasikan, ini menyatakan (menggunakan voltase negatif konstan ke) saluran DCE Ready. Bila DTE siap mengirimkan data (misalnya, user terminal sudah memasuki sebuah karakter), ini menyatakan Request to Send. Modem kemudian merespons, bila sudah siap, dengan cara menyatakan Clear to send, ini menunjukkan data bisa ditransmisikan sepanjang jalur Transmitted Data. Bila susunannya half-duplex, maka Request to Send juga melampirkan model yang diterima. Barulah kemudian DTE bisa mentransmisikan data sepanjang jalur Transmitted Data. Bila data sudah tiba dan remote modem, modem lokal menyatakan Received line Signal Detector untuk menunjukkan bahwa modem di ujung sana sedang melakukan transmisi dan mengirim data pada jalur Received Data. Patut dicatat bahwa dalam hal ini tidak perlu menggunakan rangkaian pencatat waktu, karena transmisi ini merupakan transmisi asynchronous.

Rangkaian yang baru saja disebutkan cukup memadai untuk modem ujung-ke-ujung saluran pribadi, namun diperlukan rangkaian tambahan bagi seperti modem untuk mentransmisikan data melalui saluran telepon. Dalam hal ini, pembangun koneksi harus memanggil perangkat tujuan melalui jaringan. Diperlukan dua petunjuk tambahan:

- ☐ DTE Ready (108.2)
- ☐ Ring Indicator (125)

Dengan dua jalur tambahan ini, sistem modem DTE bisa menggunakan saluran telepon secara efektif dengan cara yang sama seperti penggunaan telepon suara. Gambar 6.7 menggambarkan langkah-langkah yang melibatkan operasi half-duplex dial-up. Bila suatu panggilan dibuat, baik secara manual maupun otomatis, sistem telepon mengirim sinyal deringan. Pesawat telepon akan merespons dengan cara berdering; modem merespons dengan cara menyatakan Ring Indicator. Seseorang menjawab telepon dengan cara mengangkat genggam telepon; DTE menjawab dengan cara menyatakan DTE Ready. Orang yang menjawab telepon akan mendengar suara lain, dan bila tidak terdengar suara apapun, meletakkan genggamnya (hang up). DTE akan mendengar untuk Received Line Signal Detector, yang akan dinyatakan oleh modem bila ada sinyal yang masuk; bila rangkaian ini tidak dinyatakan, DTE akan mematikan DTE Ready. Anda mungkin membayangkan bagaimana hal yang terakhir itu bisa terjadi. Hal yang biasa bila tanpa sengaja seseorang menekan tombol-tombol angka pada modem. ini akan mengaktifkan DTE modem, namun bila tidak muncul nada balik, maka tidak akan terjadi transmisi.

Hal ini merupakan petunjuk supaya mengamati situasi dimana jarak antar perangkat begitu dekat sehingga memungkinkan kedua DTE saling memberi sinyal satu sama lain secara langsung. Dalam hal ini, rangkaian pertukaran V.24/EIA-232 masih dapat dipergunakan, namun tanpa dilengkapi dengan perangkat DCE. Untuk skema ini, diperlukan modem nol, yang saling menghubungkan petunjuk-petunjuk dengan cara yang sama seperti kedua DTE (yang tertipu) kedalam pemikiran bahwa mereka dihubungkan dengan sebuah modem. Gambar 6.8 merupakan contoh untuk konfigurasi modem nol; alasan-alasan dibalik koneksi khusus ini harus dimengerti pembaca yang memahami betul pembahasan sebelumnya.

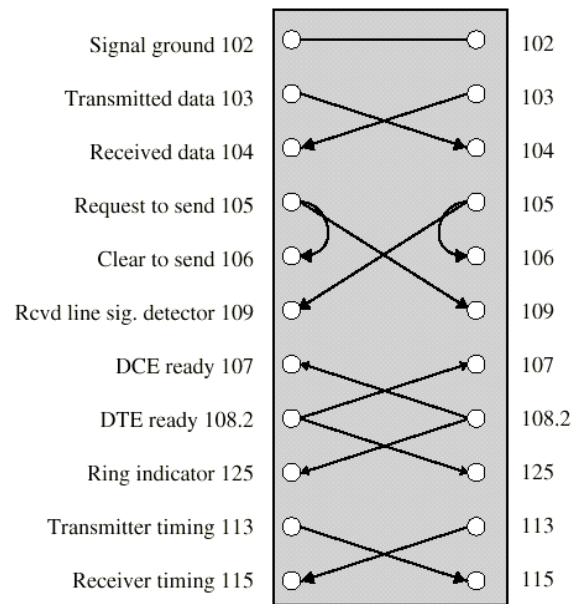


Gambar 6.7 Operasi Dial-up dari V.24/EIA-232

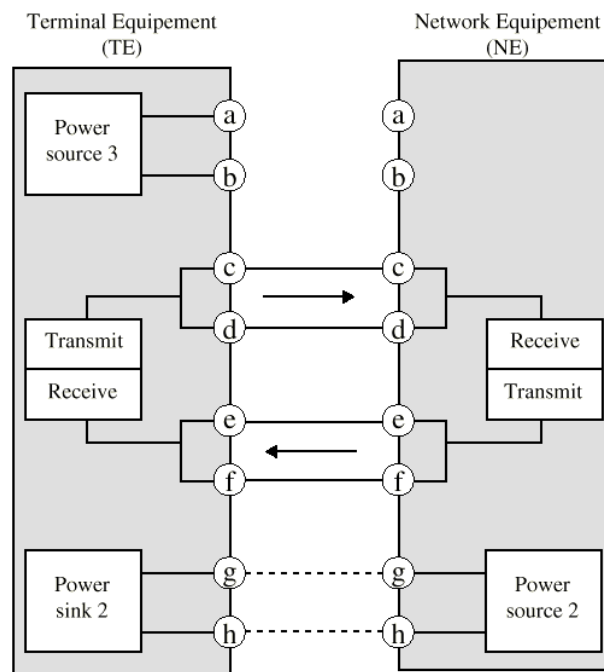
Interface Fisik ISDN

Berbagai jenis fungsi yang ada dengan V.24/E1A232 ditunjukkan melalui penggunaan sejumlah rangkaian pertukaran. Namun ini merupakan cara yang agak mahal. Alternatifnya adalah dengan menyediakan rangkaian yang lebih sedikit namun dengan menambahkan beberapa logika pada Interface DTE dan DCE. Dengan menurunkan biaya rangkaian logika, maka hal ini bisa menjadi satu pendekatan yang cukup menarik. Pendekatan ini diambil dan standar X.21 untuk menginterface jaringan circuit-switched publik, menentukan konektor 15-pin. Saat ini muncul adanya spesifikasi konektor fisik 8-pin Terhadap Integrated Service Digital Network (ISDN). ISDN, yang merupakan pengganti untuk jaringan telpon umum dan

telkomunikasi analog yang ada, dibahas secara lebih terperinci di Lampiran A. Di bagian ini, kita beralih pada Interface fisik yang ditentukan untuk ISDN.



Gambar 6.8 Contoh Modem Nol



Gambar 6.9 Interface ISDN

Koneksi Fisik

Dalam terminologi ISDN, koneksi fisik dibuat diantara terminal Equipment (TE) dan network terminating equipment (NT). Untuk maksud pembahasan kita, istilah-istilah ini berkaitan erat, bertumpuk-tumpuk, dengan DTE dan DCE, Koneksi fisik, ditentukan dalam ISC 8877, menetapkan bahwa kabel NT dan TE bisa menelapkan konektur yang bersesuaian yang menyediakan delapan kontak.

Gambar 6.9 menunjukkan ilustrasi penentuan kontak untuk masing-masing pin jalur posisi NT dan TE. Dua pin dipergunakan untuk menyediakan transmisi data di setiap arah. Pin-pin kontak ini dihubungkan dengan ujung kabel twisted pair yang datang dari perangkat NT dan TE. Karena tidak ada rangkaian fungsional tertentu, dipergunakan rangkaian transmisi/menerima untuk membawa sinyal-sinyal data dan digital. Informasi kontrol ditransmisikan dalam bentuk pesan.

Spesifikasi ini menyediakan kemampuan untuk mengalihkan daya melewati interface. Arah pengalihan daya tergantung pada aplikasi yang digunakan. Untuk sebuah aplikasi khusus, diharapkan pengalihan daya dari sisi jaringan terhadap terminal untuk mempertahankan layanan telepon ketika saat terjadi kegagalan pada daya yang tersedia secara lokal. Pengalihan daya ini bisa diperoleh dengan cara menggunakan alat yang sama seperti yang digunakan untuk transmisi sinyal digital (c,d,e,f), atau pada kabel-kabel tambahan menggunakan alat akses g-h. Dua pin yang aman tidak dipergunakan dalam konfigurasi ISDN namun bisa untuk konfigurasi-konfigurasi yang lain.

Spesifikasi Elektrik

Spesifikasi elektrik ISDN menetapkan pengguna transmisi yang seimbang. Dengan *balanced transmission* (transmisi yang seimbang), sinyal-sinyal yang dibawa pada jalur misalnya twisted pair, memuat dua konduktor. Sinyal-sinyal ditransmisikan sebagai arus yang melintasi satu konduktor dan kembali ke yang lain, dua konduktor ini membentuk satu rangkaian yang lengkap. Untuk sinyal-sinyal digital, teknik ini disebut pensinyalan diferensial (*differential signalling*), seperti halnya nilai biner tergantung pada arah perbedaan voltase diantara dua konduktor. *Unbalanced transmission* (transmisi yang tak seimbang), yang dipergunakan untuk interface yang lebih lama seperti EIA-232, menggunakan suatu konduktor tunggal untuk membawa sinyal, dengan ground yang menyediakan jalur untuk kembali.

Model yang seimbang mampu mentoleransi dan menghasilkan sedikit noise dibanding model tak seimbang. Secara teori, interferensi pada jalur seimbang akan bertindak dengan cara yang sama pada kedua konduktor serta tidak mempengaruhi perbedaan voltase. Karakter transmisi tak seimbang tidak memiliki keuntungan-keuntungan seperti ini, jadi dipergunakan hanya pada kabel koaksial. Bila dipergunakan pada rangkaian pertukaran, misalnya EIA 232, menggunakan konduktor tunggal untuk membawa sinyal, dengan ground yang menyediakan jalur untuk kembali.

Format pengkodean data yang digunakan pada interface ISDN tergantung pada rate data. Untuk rate dasar sebesar 192 kbps, standar menentukan penggunaan pengkodean pseudoternaiy (gambar 5.2). Biner satu ditunjukkan oleh tidak adanya voltase, sedangkan biner nol ditunjukkan oleh pulsa positif atau negatif sebesar 750 mV ± 10 persen. Untuk rate primer, ada dua pilihan: 1,544 Mbps menggunakan Alternate Mark Inversion (AMI) dengan B8ZS (gambar 5.6) dan 2,048 Mbps menggunakan AMI dengan HDB3. Alasan dibalik penggunaan skema-skema yang berlainan untuk dua primary rate yang berbeda hanya karena alasan historis saja: karena tidak ada satupun dan keduanya yang memiliki kelebihan tertentu.

6.5 BACAAN YANG DISARANKAN

[BLAC96] menyajikan ulasan yang luas dan mendetail mengenai beberapa standar Interface lapisan fisik.

[BLAC95] menfokuskan pada rekomendasi ITU-T V series.

BLAC95 Black, U. The V Series Recommendations : Standards for Data Communications Over the Telephone Network. New York : McGraw Hill, 1996,

BLAC96 Black, U. Physical Level Interfaces and Protocols, Los Alamidos, CA : IEEE Computer Society Press, 1996.

6.6 PERMASALAHAN

- 6.1 Seandainya sebuah file sebesar 10.000 byte dikirim melalui suatu jalur pada 2400 bps.
 - a. Hitunglah tambahan bit dan waktu menggunakan komunikasi asynchronous. Asumsikan jika satu bit awal dan sebuah elemen akhir sepanjang satu bit, dan 8 bit untuk mengirim byte itu sendiri untuk setiap karakter. Karakter 8-bit terdiri dan semua bit data, tanpa bit paritas.
 - b. Hitunglah tambahan bit dan waktu menggunakan komunikasi synchronous. Asumsikan bahwa data dikirim dalam frame. Masing-masing frame terdiri dari dan 1000 karakter = 8000 bit, dan tambahan sebesar 48 bit kontrol per frame.
 - c. Berapa jawaban untuk bagian a dan b bila file yang dimaksud terdiri dan 100.000 karakter?
 - d. Berapa jawaban untuk bagian a dan b bila file yang dimaksud terdiri dan 10.000 karakter dan rate data sebesar 9600 bps?
- 6.2 Suatu suniber data menghasilkar 7-bit karakter IRA. Dapatkan pernyataan untuk rate data efektif maksimum (rate bit data IRA) melalui jalur B -bps untuk:
 - a. Transmisi asynchronous, dengan sebuah 1,5-unit elemen akhir dan sebuah bit patitas.
 - b. Transmisi synchronous, dengan frame yang terdiri dan 48-bit kontrol dan 128- bit informasi. Informasi memuat 8-bit (termasuk paritas) karakter IRA.
 - c. Sama seperti bagian b, dengan informasi yang dimaksud memuat 1024 bit.
- 6.3 Tunjukkan melalui contoh (tuliskan beberapa lusin pola bit yang berubah-ubah; asumsikan satu bit awal dan sebuah elemen akhir sepanjang satu bit) dimana receiver yang mengalami kesalahan pada frame dalam transmisi asynchronous akhirnya harus diatur kembali.
- 6.4 Seandainya pengirim dan penerima menggunakan transmisi asynchronous dan sepakat untuk tidak menggunakan elemen akhir apapun. Apakah hal ini akan berhasil? Bila ya, jelaskan persyaratan yang diperlukan.

- 6.5 Sebuah skema transmisi asynchronous menggunakan 8 bit data, sebuah bit paritas genap, dan elemen akhir sepanjang 2 bit. Berapa presentase ketidakakuratan detak yang bisa ditoleransi pada receiver dengan mempertimbangkan kesalahan pada frame? Asumsikan bahwa pemeriksaan bit dilakukan pada pertengahan perioda detak. Juga asumsikan bahwa pada permulaan bit awal, detak dan bit-bit yang datang berupa fasa?
- 6.6 Seandainya transmisi data seri synchronous dilengkapi dengan dua detak (satu pada pengirim dan satunya lagi pada penerima) di mana masing-masing memiliki penyimpangan sebesar 1 menit dalam setahun. Berapa panjang rangkaian bit yang dapat dikirim sebelum terjadi penyimpangan pada detak sehingga menimbulkan masalah? Asumsikan bahwa bentuk gelombang bit akan baik-baik saja bila diperiksa pada daerah 40 persen dan pusat dan bahwa pengirim dan penerima sudah disinkronkan kembali pada permulaan setiap frame. Perhatikan bahwa rate transmisi bukanlah faktor, sebagaimana perioda bit dan kesalahan pada waktu yang mutlak yang berkurang secara proporsional pada rate transmisi yang lebih tinggi.
- 6.7 Gambarkan diagram waktu yang menunjukkan pernyataan seluruh petunjuk EIA 232 diantara dua pasang DTE-DCE selama data memasuki jaringan telepon switched.
- 6.8 Jelaskan operasi masing-masing koneksi modem pada gambar 6.8.
- 6.9 Agar rangkaian Remote loopback V.24/EIA232 dapat berfungsi sebagaimana mestinya, rangkaian apa yang secara logik harus dihubungi?

BAB 7

DATA LINK CONTROL

7.1 Flow Control

Stop-and Wait Flow Control
Flow Control Jendela Kesalahan

7.2 Pendeteksian Kesalahan

Cek Paritas
Cyclic Redundary Check (CRC)

7.3 Pengontrolan Kesalahan

Stop-and-Wait ARQ
Go-Back-N ARQ
Selective-Reject ARQ

7.4 High-Level Data Link Control

Karakteristik Dasar
Struktur Frame
Operasi

7.5 Protocol Data Link Control Lainnya

LAPB
LAPD
Logical Link Control (LLC)
Frame Relay
Asynchronous Transfer Mode (ATM)

7.6 Bacaan yang Disarankan

7.7 Permasalahan

Lampiran 7A Kinerja

Flow Control Jendela PEnggeseran Bebas-Kesalahan ARQ

CUT AJA PUTRI H.N	4103141055
OKKY DIAN PRADIKA	4103141011
GARINDA RESNU P	4103141060

Sejauh ini pembahasan kita berkaitan dengan data pengiriman sinyal-sinyal melalui suatu jalur transmisi. Untuk komunikasi digital data efektif, masih banyak yang diperlukan untuk mengontrol dan menangani proses pertukaran. Di bab ini, kita menekankan perhatian kita pada pengiriman data melalui jalur komunikasi data. Untuk memperoleh kontrol yang diperlukan, ditambahkan lapisan logic di atas penginterfacean fisik yang dibahas di bab 6; logic ini menunjuk pada data link control atau protocol data link control. Bila pada suatu data link control dipergunakan, media transmisi antar system menunjuk pada data link.

Untuk melihat lebih jauh akan perlunya data link control, kita mendaftar beberapa persyaratan dan tujuan komunikasi data efektif diantara dua station pentransmisi dan penerima yang dihubungkan secara langsung, yakni:

- ❑ Sinkronisasi Frame: Data dikirim dalam bentuk blok-blok yang disebut frame. Permulaan dari ujung setiap frame harus Nampak jelas. Secara singkat kita melengkapi topic ini dengan pembahasan mengenai sinkronisasi frame. (gambar 6.2)
- ❑ Flow control: Station pengirim tidak harus mengirim frame pada rate yang lebih cepat dibanding stasiun penerima yang dapat menyerap frame-frame tersebut.
- ❑ Pengendalian Kesalahan: Kesalahan-kesalahan bit diakibatkan oleh system transmisi yang harus diperbaiki.
- ❑ Pengalamatan: Pada jalur multipoint, seperti Local Area Network (LAN), identitas dua station yang berkomunikasi harus ditentukan dengan jelas.

- ❑ Kontrol dan data pada jalur yang sama: Biasanya tidak diharapkan memiliki jalur komunikasi terpisah secara fisik untuk mengontrol informasi. Karenanya, receiver harus mampu membedakan informasi kontrol dari data yang sedang ditransmisikan.
- ❑ Manajemen jalur: Permulaan, pemeliharaan, dan penghentian pertukaran data memerlukan koordinasi dan kerjasama yang baik di antara station. Karena itu diperlukan suatu prosedur manajemen untuk pertukaran ini.

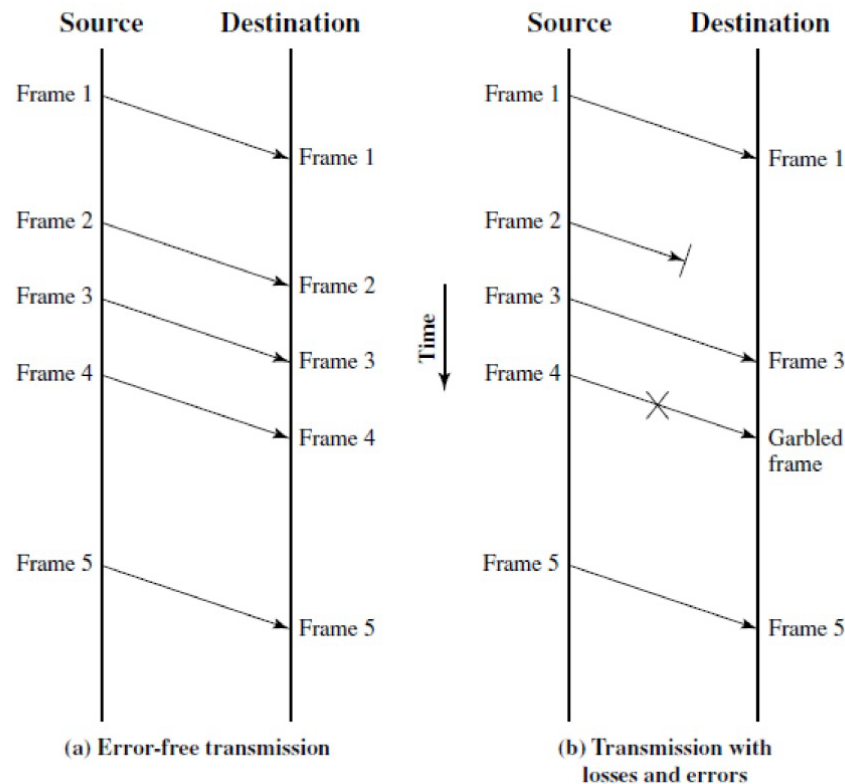
Tidak satupun dari ketentuan-ketentuan tersebut yang mampu dipenuhi oleh teknik-teknik penginterfacean fisik seperti yang dijelaskan di Bab 6. Akan kita lihat lebih jauh di bab ini mengenai protocol data link yang bisa memenuhi ketentuan-ketentuan di atas ternyata merupakan hal yang sangat kompleks. Kita lihat dengan mengamati tiga mekanisme kunci yang menjadi bagian dari data link control: flow control, pendeteksian kesalahan, dan kontrol kesalahan. Mengikuti latar belakang ini, kita lihat contoh yang penting dari suatu protocol data link control: HDLC (High-level Data Link Control). Protocol ini penting karena dua alasan: pertama, karena merupakan data link control yang sudah distandarkan dan dipergunakan secara luas. Kedua, HDLC bertindak sebagai basis dari mana semua protocol data link control lainnya yang penting diperoleh secara virtual. Di bab ini juga akan diberikan penjelasan mendetail mengenai HDLC, demikian pula dengan protocol-protocol lain juga akan diuraikan dengan singkat. Terakhir, lampiran untuk bab ini menunjukkan beberapa kinerja yang berkaitan dengan data link control.

7.1 FLOW CONTROL

Flow Control adalah teknik untuk memastikan bahwa entitas pentransmisi tidak membanjiri entitas penerima dengan data. Entitas penerima biasanya mengalokasikan penyangga data dengan panjang maksimum untuk transfer. Bila data diterima, receiver harus melakukan beberapa kegiatan pengolahan tertentu sebelum menyalurkan data ke software yang level-nya lebih tinggi. Bila tidak ada flow control, penyangga receiver akan meluap selagi mengolah data yang lama.

Untuk memulai, kita mengamati mekanisme flow control tanpa ada kesalahan. Model yang akan kita gunakan digambarkan pada gambar 7.1a, yang berupa diagram deretan waktu vertical. Yang memiliki kelebihan karena menunjukkan ketergantungan terhadap waktu dan menggambarkan hubungan pengiriman-penerimaan yang benar. Masing-masing anak panah menunjukkan frame tunggal yang membawa data link diantara dua stasiun. Data dikirim dalam deretan frame, dimana masing-masing frame berisikan bagian-bagian dari data serta beberapa kontrol informasi. Waktu yang dipergunakan station untuk memancarkan seluruh bit dari frame ke media disebut waktu transmisi; waktu ini sebanding dengan panjang frame. Waktu perambatan adalah waktu yang diambil bit untuk melintasi jalur diantara sumber dan tujuan. Saat ini, kita mengasumsikan bahwa keseluruhan frame yang ditransmisikan

bisa diterima dengan baik; dalam arti tidak ada frame yang ditransmisikan datang dalam keadaan kesalahan. Selanjutnya, masing-masing frame yang ditransmisikan mengalami beberapa perubahan dan sejumlah perbedaan sebelum mencapai penerima.¹⁾



Gambar 7.1 Model Transmisi Frame

Stop-and-Wait Flow Control

Bentuk paling sederhana dari flow control, disebut juga dengan stop-and-wait flow control (kontrol flow berhenti-dan-tunggu). Proses kerjanya sebagai berikut: Entitas sumber mentransmisikan frame. Setelah entitas tujuan menerima frame, maka entitas tujuan akan mengirim balasan bahwa frame tersebut baru diterima dan siap untuk menerima frame yang berikutnya. Sumber harus menunggu balasan diterima sebelum mengirimkan frame berikutnya. Tujuan dapat menghentikan arus data dengan mudah dengan cara tidak memberi balasan. Prosedur ini bekerja dengan baik dan tentunya, dapat lebih ditingkatkan bila pesan dikirim dengan frame yang lebih sedikit. Namun yang sering terjadi adalah blok data yang dalam jumlah besar akan dipecah-pecah oleh sumber menjadi blok-blok yang lebih kecil serta mentransmisikan data dalam beberapa frame. Hal ini dikarenakan karena:

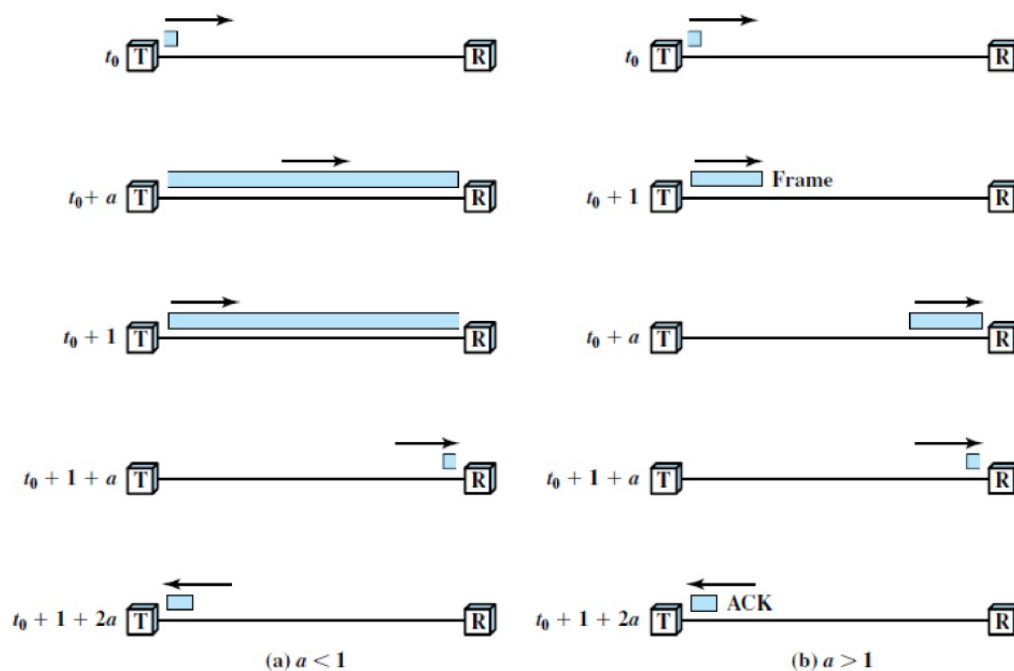
- ❑ Ukuran penyangga receiver terbatas.
- ❑ Blok data dalam jumlah besar dapat menyebabkan transmisi menjadi lebih lama, akibatnya dimungkinkan terjadinya kesalahan lebih besar, sehingga

¹⁾ Pada jalur ujung ke ujung langsung, sejumlah penundaan lebih dipastikan dibanding sebagai variabel. Bagaimanapun, protokol data link control juga dapat dipergunakan pada koneksi jaringan, misalnya, jaringan circuit-switched atau ATM, dimana dalam hal ini kasus penundaan merupakan variabel.

mengharuskan dilakukannya transmisi ulang keseluruhan frame. Dengan frame yang lebih kecil, kesalahan bisa terdeteksi lebih cepat, dan data yang harus ditransmisikan ulang juga lebih sedikit.

- Pada media yang dipakai bersama, seperti LAN, biasanya tidak dikehendaki satu station menempati media dalam waktu panjang, karena bisa menyebabkan penundaan yang lama pada station-station pengirim lain.

Dengan penggunaan frame multiple untuk sebuah pesan tunggal, prosedur stop-and-wait saja tidak cukup. Inti permasalahannya, karena hanya ada satu frame saja yang dapat dilintaskan dalam waktu. Dalam situasi dimana panjang bit dari jalur²⁾ lebih besar dari panjang frame, akan terjadi ketidakefisiensian yang parah. Hal ini diilustrasikan di gambar 7.2. Dalam gambar tersebut, waktu transmisi (waktu yang dipergunakan station untuk mentransmisikan frame) dinormalkan ke satu, dan penundaan perambatan (waktu yang diambil bit untuk melintas dari pengirim ke penerima). Ditunjukkan sebagai variable a . sehingga bila a kurang dari 1, waktu perambatan lebih sedikit dibanding waktu transmisi.



Gambar 7.2 Penggunaan Jalur Stop and Wait
(waktu transmisi = 1; waktu perambatan = a)

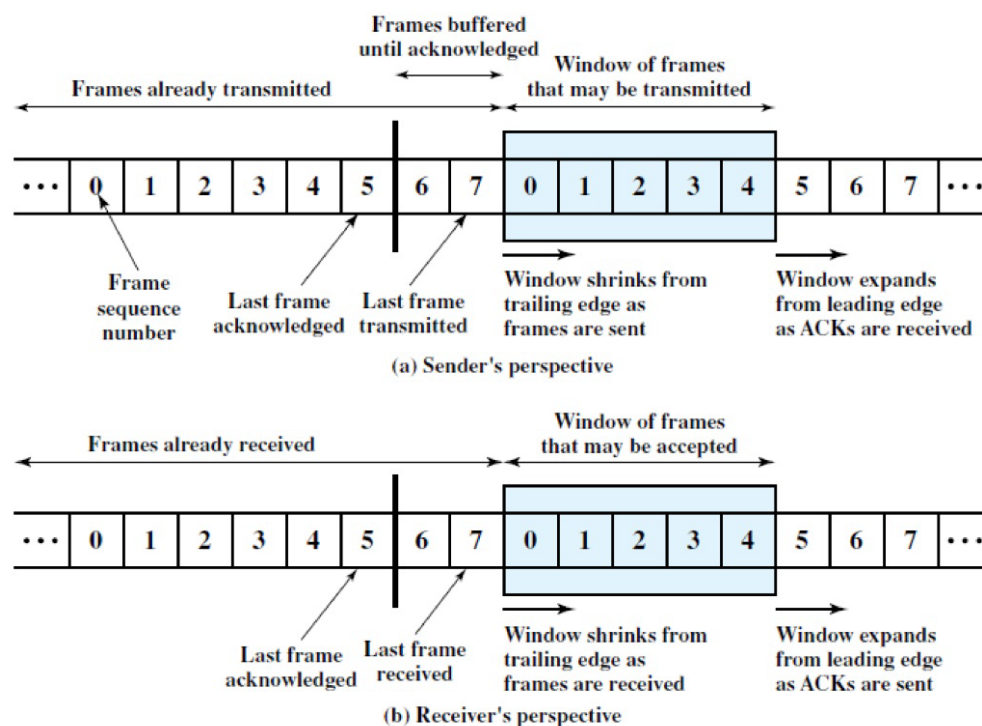
Dalam hal ini, frame cukup panjang sehingga bit pertama dari frame dapat tiba ke tujuan sebelum sumber menyelesaikan transmisi frame. Bila a lebih besar dari 1, maka waktu perambatan lebih besar dari waktu transmisi. Dalam hal ini, pengirim menyelesaikan transmisi semua frame sebelum bit yang utama dari frame tersebut tiba di penerima. Dengan kata lain, nilai-nilai yang lebih besar dari a sesuai dengan rate data yang lebih tinggi dan/atau jarak yang lebih panjang diantara setasiun. Lampiran 7A membahas mengenai a dan kinerja jalur data.

²⁾ Panjang bit suatu jalur adalah jumlah bit yang ada pada jalur saat stream bit memenuhi jalur. Secara matematik, panjang bit = $R \times (d/V)$, dimana R = data rate dalam bps, d = jarak jalur dalam meter, dan V = kecepatan perambatan dalam m/s

Dua bagian dari 7.2 (a dan b) terdiri dari deretan beberapa proses transmisi sepanjang waktu. Dalam kedua kasus tersebut, keempat bagian pertama menunjukkan proses pentransmisian frame yang memuat data, sedangkan bagian terakhir menunjukkan proses kembalinya frame balasan. Perlu dicatat, bila untuk kasus $a > 1$, jalurnya selalu kurang berguna dan bahkan untuk $a < 1$, jalurnya tidak digunakan secara efisien. Intinya, untuk rate data dengan pengaplikasian stop-and-wait flow control dimungkinkan terjadinya penggunaan jalur yang tidak efisien.

Flow Control Jendela Penggeseran

Dari yang sudah digambarkan sebegini jauh, inti permasalahannya adalah tidak hanya satu frame sekaligus yang dapat dikirim. Dalam situasi di mana panjang bit dari jalur yang lebih besar dari panjang frame ($a > 1$), terjadi ketidakefisienan yang sangat parah. tingkat efisiensi bisa diperoleh dengan cara membiarkan frame multiple diangkut dalam waktu yang sama.



Gambar 7.3 Gambaran Jendela Penggeseran

Mari kita mengamati bagaimana hal ini bisa terjadi untuk dua station, A dan B, yang dihubungkan melalui jalur full duplex. Station mengalokasikan ruang penyangga untuk frame W. Sehingga B dapat menerima frame W, dan A dibiarkan mengirimkan frame W tanpa menunggu balasan apapun. Untuk menjaga jalan dimana frame dibalas, masing-masing diberi nomor. B membalas frame dengan cara mengirim balasan yang memuat urutan nomor frame berikutnya. Balasan ini secara implisit mengumumkan bahwa B dipersiapkan untuk menerima frame-frame W berikutnya, dimulai dengan nomor yang ditentukan. Skema ini juga bisa dipergunakan untuk membalas frame-frame multiple. Sebagai contoh, B dapat menerima frame 2, 3, dan 4, namun menahan balasan sampai frame 4 tiba. Kemudian

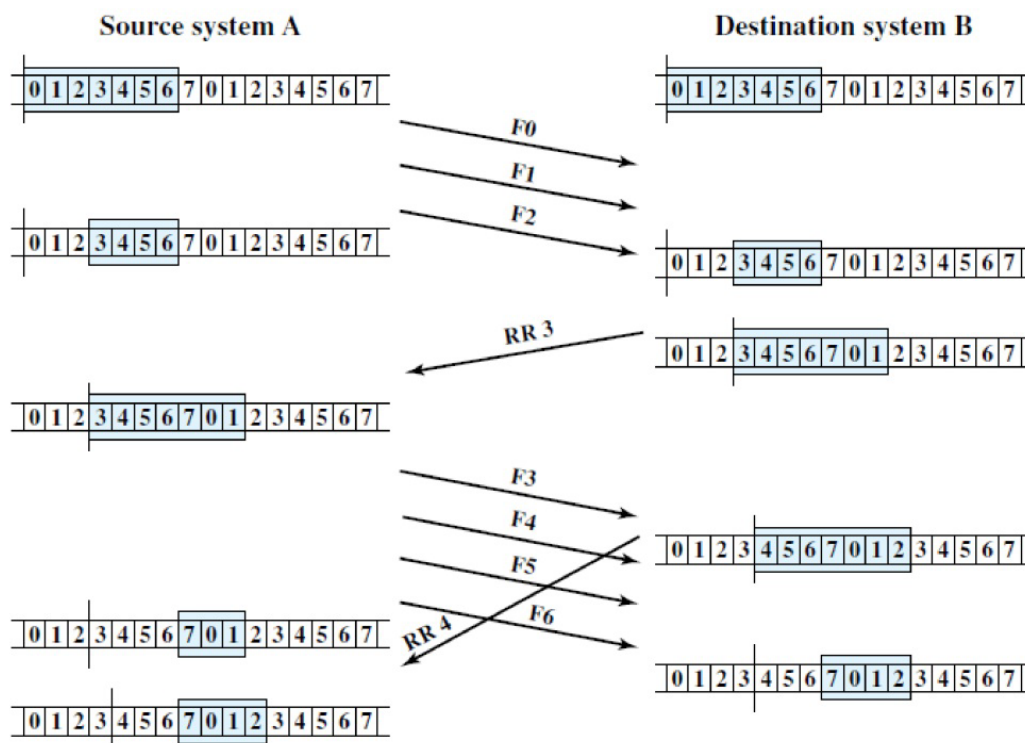
dengan mengembalikan balasan dengan nomor urut 5, B membalas frame 2, 3 dan 4 sekaligus. A mempertahankan daftar berisikan urutan yang dibiarkan dikirim, sedangkan B mempertahankan daftar ini diibaratkan sebagai jendela frame. Sedangkan operasi ini disebut *sliding-window flow control* (kontrol arus jendela penggeseran).

Perlu dibuat beberapa penjelasan tambahan. Karena urutan nomor yang digunakan menempati suatu bidang di dalam frame diperjelas dengan ukurannya yang memiliki batas sendiri. Sebagai contoh, untuk bidang 3-bit, urutan nomornya berkisar dari 0 sampai 7. Jadi, frame-frame yang diberi nomor modulo 8; maksudnya, setelah urutan nomor urut 7, nomor berikutnya adalah 0. Umumnya, untuk bidang k -bit kisaran urutan nomornya adalah 0 sampai 2^k-1 , dan frame-nya diberi nomor modulo 2^k .

Gambar 7.3 merupakan cara yang terbaik untuk menggambarkan proses jendela penggeseran. Seandainya dipergunakan urutan nomor 3-bit, sehingga frame tersebut diberi nomor yang berurutan mulai dari 0 sampai 7, lalu nomor yang sama digunakan kembali untuk frame berikutnya. Kotak persegi panjang yang diarsir menunjukkan frame yang dikirim, dalam gambar ini, pengirim mentransmisikan lima frame, dimulai dengan frame 0. Tiap frame dikirim, jendela yang diarsir menjadi menyusut; dan tiap balasan diterima, jendela yang diarsir mengembang. Frame di antara garis vertical dan jendela yang diarsir telah dikirim namun belum dibalas. Sebagaimana yang kita lihat, pengirim harus menahan frame-frame ini bila mereka harus ditransmisikan kembali.

Ukuran jendela yang sebenarnya tidak harus berukuran maksimum untuk urutan nomor panjang tertentu. Sebagai contoh, bila menggunakan urutan nomor 3-bit, ukuran jendela sebesar 4 dapat dikonfigurasi untuk station-station menggunakan protokol kontrol arus jendela penggeseran.

Dalam gambar 7.4 menunjukkan sebuah contoh. Dimana diasumsikan suatu bidang dengan nomor urut 3-bit serta ukuran jendela maksimum 7 frame. Awalnya, A dan B yang memiliki jendela menunjukkan bahwa A mentransmisikan 7 frame, dimulai dengan frame 0 (F0). Setelah mentransmisikan tiga frame (F0, F1, F2) tanpa balasan, A menyusutkan jendelanya untuk empat frame dan mempertahankan tiruan tiga frame yang ditransmisikan. Jendela menunjukkan bahwa A mentransmisikan empat frame, dimulai dengan frame nomor 3. Kemudian B mentransmisikan RR (Receive Ready) 3, yang maksudnya “Saya sudah menerima semua frame melalui frame nomor 2 dan sekarang saya siap menerima frame nomor 3; kenyataannya, saya dipersiapkan untuk menerima tujuh frame, dimulai dengan frame nomor 3.” Dengan balasan ini, A mundur untuk meminta izin mentransmisikan tujuh frame, masih dimulai dengan frame nomor 3; A juga membuang frame-frame yang disangga yang belum dibalas. A mulai mentransmisikan frame 3, 4, 5 dan 6. B mengembalikan RR 4, yang dibalas F3, dan membiarkan transmisi F4 melalui contoh F2 berikutnya. Sampai saat itu RR tersebut mencapai A, yang sudah mentransmisikan F4, F5 dan F6 dan karenanya A hanya akan membuka jendelanya untuk membiarkan pengiriman empat frame yang dimulai dengan F7.



Gambar 7.4 Contoh Sebuah Protokol Jendela Penggeseran

Mekanisme yang digambarkan sedemikian rupa memang menyediakan suatu bentuk kontrol arus. Receiver harus mampu memuat tujuh frame melampaui frame yang dibalas terakhir kali. Sebagai besar protocol juga membiarkan station memotong aliran frame dari sisi yang lain dengan cara mengirimkan pesan Receive Not Ready (RNR), yang membalas frame yang lebih awal namun melarang pengiriman frame selanjutnya. Jadi RNR 5 bisa berarti “Saya sudah menerima semua frame melalui frame nomor 4 namun saya tidak mampu menerima apa apa lagi.” Pada beberapa hal berikutnya, station harus mengirim suatu balasan normal untuk membuka jendela kembali.

Sejauh ini, kita sudah membahas transmisi dalam satu arah saja. Bila dua station melakukan pertukaran data, masing-masing harus mempertahankan dua jendela, satu untuk transmisi dan satunya lagi untuk menerima, serta masing-masing pihak harus mengirim data dan membalas ke pihak yang lain. Agar mampu melakukan hal ini, diperlukan bentuk yang biasa disebut *piggybacking*. Setiap frame data termasuk bagian yang memuat urutan nomor frame tersebut plus bagian yang memuat urutan nomor yang digunakan untuk balasan. Jadi, bila sebuah station tersebut akan mengirimkan keduanya bersama-sama dalam satu frame, sekaligus menyimpan kapasitas komunikasi. Begitu pula, bila sebuah station memiliki sebuah balasan namun tanpa data untuk dikirim, setasiun tersebut akan mengirim sebuah frame acknowledgement yang terpisah, seperti RR atau RNR. Bila station memiliki data untuk dikirim namun tanpa balasan baru untuk dikirim, setasiun tersebut harus

mengulang urutan nomor balasan terakhir yang telah dikirimkannya. Ini disebabkan karena data frame termasuk bagian untuk nomor balasan, serta beberapa nilai harus dimasukkan ke dalam bagian tersebut. Bila station menerima duplikat balasan, maka ia harus mengabaikannya.

Kontrol arus jendela penggeseran Nampak jauh lebih efisien dibanding kontrol arus stop-and-wait. Alasannya karena, dengan kontrol arus jendela penggeseran, jalur transmisi diperlakukan sebagai pipa saluran yang bisa terpenuhi dengan frame-frame saat transit. Sebaliknya, dengan kontrol arus stop-and-wait, hanya satu frame saja yang berada di dalam pipa sekaligus. Lampiran 7A menunjukkan peningkatan efisiensi yang dimaksud.

7.2 PENDETEKSIAN KESALAHAN

Pada bab sebelumnya, kita bicara tentang gangguan transmisi serta efek rate data, dan masih sinyal-terhadap-derau pada rate kesalahan bit. Dengan mengabaikan desain system transmisi akan terjadi kesalahan yang disebabkan karena perubahan satu bit atau lebih dalam frame yang transmisikan.

Sekarang kita menetapkan probabilitas-probabilitas berikut dengan memperhatikan kesalahan yang terjadi pada frame-frame yang ditransmisikan:

P_b : Probabilitas kesalahan bit tunggal, disebut juga dengan bit kesalahan rate (BER).

P_1 : Probabilitas di mana frame tiba tanpa kesalahan bit.

P_2 : Probabilitas di mana frame tiba dengan satu atau lebih kesalahan atau bit yang tak terdeteksi.

P_3 : Probabilitas di mana frame tiba dengan satu atau lebih kesalahan bit yang terdeteksi namun tanpa kesalahan bit yang tak terdeteksi.

Pertama-tama amati kasus saat tidak ada cara yang diambil untuk mendeteksi kesalahan. Maka probabilitas kesalahan yang terdeteksi (P_3) menjadi nol. Untuk menyatakan probabilitas yang tersisa, asumsikan probabilitas dimana bit-bit tersebut yang mengalami kesalahan (P_b), konstan dan bebas untuk masing-masing bit. Maka kita dapat:

$$P_1 = (1 - P_b)^F$$

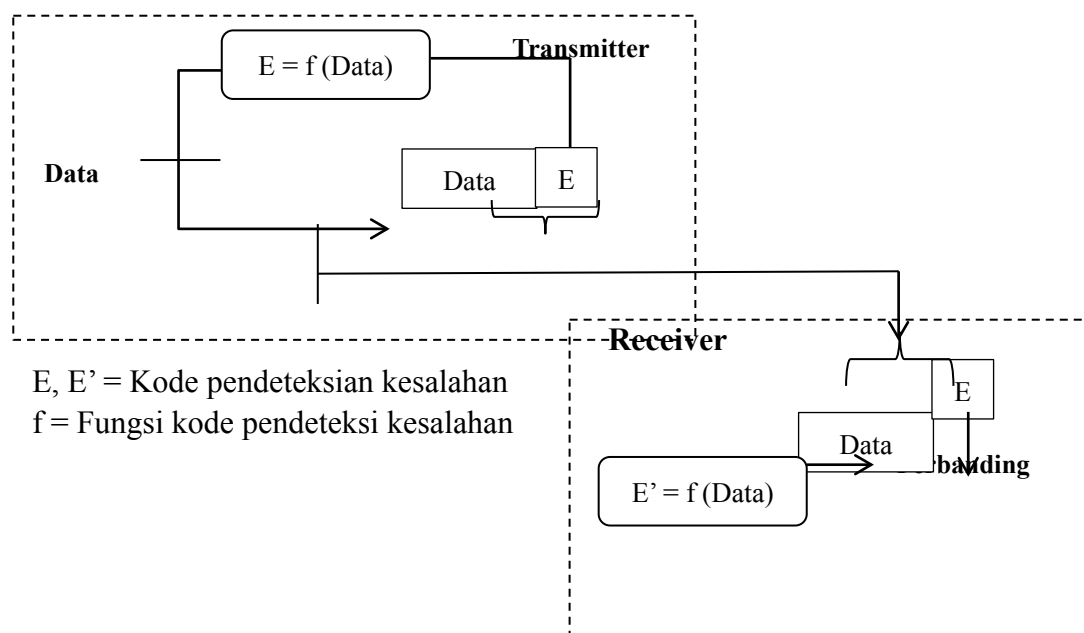
$$P_2 = 1 - P_1$$

Dimana F adalah jumlah bit per frame. Maksudnya, probabilitas di mana sebuah frame tiba tanpa penurunan kesalahan bit bila probabilitas kesalahan bit tunggal meningkat, seperti yang diharapkan. Selain itu, probabilitas di mana sebuah frame tiba tanpa penurunan kesalahan apabila dengan panjang frame juga meningkat; semakin panjang frame, semakin banyak bit yang dimiliki dan semakin tinggi probabilitas kesalahannya.

Kita ambil satu contoh sederhana untuk menggambarkan keterkaitan ini. Suatu tujuan yang ditetapkan untuk koneksi ISDN adalah BER pada canel 64-kbps harus kurang dari 10^{-6} pada sedikitnya 90 persen dari interval 1 menit yang diamati. Anggap saja sekarang kita memiliki persyaratan yang lebih sederhana yang berada pada rata-rata satu frame dengan kesalahan bit tak terdeteksi yang bisa terjadi per hari pada canel 64-kbps yang dipergunakan terus-menerus. Selain kita asumsikan

pula panjang frame sebesar 1000 bit. Jumlah frame yang dapat ditransmisikan dalam sehari bisa mencapai $5,529 \times 10^6$, yang menghasilkan rate kesalahan frame yang diharapkan sebesar $P_2 = 1 / (5,529 \times 10^6) = 0,18 \times 10^{-6}$. Namun bila kita mengasumsikan nilai P_b sebesar 10^{-6} , maka $P_1 = (0,999999)^{1000} = 0,9999$ dan karenanya $P_2 = 10^{-3}$, yang kira-kira tiga orde dari magnitude terlalu besar untuk memenuhi persyaratan ini.

Ini merupakan hasil yang mendorong penggunaan teknik-teknik pendeteksian kesalahan. Seluruh teknik ini beroperasi menurut prinsip berikut (gambar 7.5). Untuk frame bit tertentu, tambahan bit yang merupakan suatu kode pendeteksian kesalahan ditambahkan oleh transmitter. Kode ini dihitung sebagai fungsi dari bit-bit yang ditransmisikan lainnya. Receiver menunjukkan kalkulasi yang sama dan membandingkan dua hasilnya. Kesalahan yang terdeteksi terjadi bila dan hanya bila terdapat ketidaksetaraan. Sehingga P_3 adalah probabilitas bahwa frame berisi kesalahan dan bahwa skema pendeteksian kesalahan akan mendapati kenyataan itu. P_2 juga disebut sebagai rate kesalahan tersisa dan merupakan probabilitas yang berarti bahwa kesalahan akan menjadi tak terdeteksi walaupun skema pendeteksian kesalahan dipergunakan.



Gambar 7.5 Pendeteksi Kesalahan

Cek Paritas

Skema pendeteksian kesalahan yang paling sederhana adalah melampirkan bit paritas ke ujung blok data. Contoh khususnya yaitu transmisi karakter, di mana bit paritas dihubungkan ke setiap karakter IRA 7-bit. Nilai dari bit ini dipilih sehingga karakter memiliki angka genap sebesar 1 (paritas genap) atau angka ganjil sebesar 1 (Paritas Ganjil). Jadi, sebagai contoh, bila transmitter mentransmisikan IRA G (1110001) dan menggunakan paritas ganjil, akan melampirkan 1 dan

mentransmisikan IRA 11100011. Receiver menguji karakter yang diterima dan, bila total jumlah 1 adalah ganjil, diasumsikan tidak terjadi kesalahan. Bila satu bit (atau apapun angka bit yang ganjil) dibalik secara salah selama transmisi (misalnya, 11000011), maka receiver akan mendeteksi adanya kesalahan. Perhatikan, bagaimanapun juga, bila dua (atau apapun angka genap) bit dibalik karena suatu kesalahan, akan muncul kesalahan yang tak terdeteksi. Biasanya, paritas genap dipergunakan untuk transmisi synchronous sedangkan paritas ganjil untuk transmisi.

Penggunaan bit paritas bukanlah suatu pembuktian yang bodoh, sebagaimana gangguan-gangguan derau yang seringkali cukup panjang untuk bisa merusak lebih dari satu bit, utamanya pada rate data yang tinggi.

Cyclic Redundancy Check (CRC)

Kode pendeteksian kesalahan yang paling umum serta paling hebat adalah Cyclic Redundancy Check (CRC) yang dapat digambarkan sebagai berikut, dengan adanya blok bit k-bit, atau pesan transmitter mengirimkan suatu deretan n-bit, disebut sebagai Frame Check Sequence (FCS), sehingga frame yang dihasilkan, terdiri dari k+n bit, dapat dibagi dengan jelas oleh beberapa nomor yang sebelumnya sudah ditetapkan. Kemudian receiver membagi frame yang datang dengan nomor tersebut dan, bila tidak ada sisa, maka diasumsikan tidak terdapat kesalahan.

Untuk menjelaskan hal ini, kita sajikan prosedur dalam tiga cara, yakni : modulo 2 aritmatik, polynomials, dan logic digital.

Modulo 2 Aritmatik

Modulo 2 aritmatik menggunakan penambahan biner tanpa pembawa, yang hanya merupakan operasi OR-eksklusif saja. Pengurangan biner tanpa pembawa juga diterjemahkan sebagai operasi OR-eksklusif. Sebagai contoh,

$$\begin{array}{r} 1111 \quad 1111 \quad 11001 \\ + \frac{1010}{0101} - \frac{0101}{1010} \times \frac{01}{11001} \\ \hline 110010 \\ 101011 \end{array}$$

Sekarang menetapkan:

T = (k+n)-bit frame untuk ditransmisikan, dengan $n < k$

M = k-bit pesan, bit k pertama dari T

F = n-bit FCS, bit n terakhir dari T

P = pola n + 1 bit, ini merupakan pembagi yang sudah ditetapkan sebelumnya

Kita inginkan T/P tidak memiliki sisa. Sehingga harus ditanyakan dengan:

$$T = 2^n M + F$$

Yaitu, dengan cara mengalikan M dengan 2^n , sebenarnya kita telah memindahkannya ke kiri lewat bit n dan menambahi hasilnya dengan nol. Dengan menambahkan F menghasilkan deretan M dan F, yang merupakan T. Kita ingin T bisa dibagi oleh P. Anggap saja kita membagi $2^n M$ dengan P:

$$\frac{2^n M}{P} = Q + \frac{R}{P}$$

Ada hasil bagi dan sisa. Karena pembagiannya berupa Modulo 2, sisanya selalu sedikitnya satu bit lebih pendek daripada pembagi. Kita akan menggunakan sisa ini

sebagai FCS. Kemudian:

$$T = 2^n M + R$$

Apakah R memenuhi syarat bahwa T/P tidak memiliki sisa? Untuk melihatnya, amati yang berikutnya ini:

$$\frac{T}{P} = \frac{2^n M + R}{P}$$

Disubstitusi dalam persamaan (7.1), kita peroleh

$$\frac{T}{P} = Q + \frac{R}{P} + \frac{R}{P}$$

Bagaimanapun juga, apapun angka biner yang ditambahkan dengan modulo 2-nya sendiri akan menghasilkan nol. Sehingga

$$\frac{T}{P} = Q + \frac{R+R}{P} = Q$$

Tidak ada sisa, karenanya T bisa dibagi dengan P. jadi, FCS dengan mudah dibangkitkan. Secara sederhana membagi $2^n M$ dengan P dan menggunakan sisanya sebagai FCS. Pada penerima, receiver akan membagi T dengan P dan tidak memperoleh sisa bila tidak terdapat kesalahan.

Sekarang kita perhatikan contoh sederhana berikut ini.

1. Diketahui:
 Pesan M = 1010001101 (10 bit)
 Pola P = 110101 (6 bit)
 FCS R = akan dikalkulasikan (5 bit)
2. Pesan dikalikan dengan 2^5 , menghasilkan 10100011010000.
3. Hasilnya dibagi dengan P:

$$1101010110 \leftarrow Q$$

$$P \rightarrow 110101 \sqrt{101000110100000} \leftarrow 2^n M$$

$$\begin{array}{r} \underline{110101} \end{array}$$

$$111011$$

$$\begin{array}{r} \underline{110101} \end{array}$$

$$111010$$

$$\begin{array}{r} \underline{110101} \end{array}$$

$$111110$$

$$\begin{array}{r} \underline{110101} \end{array}$$

$$101100$$

$$\begin{array}{r} \underline{110101} \end{array}$$

$$110010$$

$$\underline{110101}$$

$$01110 \leftarrow R$$

4. Sisanya ditambahkan dengan $2^n M$ untuk memberi $T = 101000110101110$ yang ditransmisikan.
5. Bila tidak terdapat kesalahan, receiver menerima T utuh. Frame yang diterima dibagi dengan P .

$$1101010110 \leftarrow Q$$

$$P \rightarrow 110101 \sqrt{101000110101110} \leftarrow 2^n M$$

$$\underline{110101}$$

$$111011$$

$$\underline{110101}$$

$$111010$$

$$\underline{110101}$$

$$111110$$

$$\underline{110101}$$

$$101111$$

$$\underline{110101}$$

$$110101$$

$$\underline{110101}$$

$$0 \leftarrow R$$

Karena tidak ada sisa, diasumsikan bahwa tidak terdapat kesalahan.

Pola P dipilih sebagai satu bit lebih panjang dibanding FCS yang diinginkan, dan pola bit yang dipilih tergantung pada jenis kesalahan yang diharapkan. Pada nilai minimum, orde bit yang tinggi maupun yang rendah dari P harus berupa 1.

Tidak ada metode yang ringkas untuk menentukan adanya satu kesalahan atau lebih. Suatu kesalahan terjadi dalam pembalikan bit. Ini ekuivalen dengan pengambilan OR-eksklusif bit dan 1 (modulo 2 dari 1 dijumlahkan ke bit): $0 + 1 = 1$; $1 + 1 = 0$. Jadi, kesalahan pada frame $(n+k)$ bit dapat ditunjukkan lewat bidang $(n+k)$ dengan 1s pada setiap posisi kesalahan. Frame T yang diperoleh dinyatakan sebagai

$$T_r = T \oplus E$$

T = frame yang ditransmisikan

E = pola kesalahan dengan 1s pada posisi dimana kesalahan terjadi

T_r = frame yang diterima

Receiver akan gagal mendeteksi kesalahan bila dan hanya bila T_r dapat dibagi dengan P tanpa sisa, yang ekuivalen dengan E yang dibagi dengan P. secara intuitif, hal ini tidak mungkin terjadi.

Polynomials

Cara kedua mengamati proses CRC adalah dengan menyatakan seluruh nilai sebagai polynomial dalam suatu modal variabel X, dengan koefisien-koefisien biner. Koefisien $X^5 + X^4 + X + 1$, dan untuk $P = 11001$, kita peroleh $P(X) = X^4 + X^3 + 1$. Operasi aritmetik lagi-lagi berupa modulo 2. Sekarang, proses CRC digambarkan sebagai:

$$1. \quad \frac{X^n M(X)}{P(X)} = Q(X) + \frac{R(X)}{P(X)}$$

$$2. \quad T(X) = X^n M(X) + R(X)$$

Error E(X) hanya akan menjadi tak terdeteksi bila dibagi dengan P(X). Hal ini bisa ditunjukkan [RAMA88] bahwa semua kesalahan berikut ini tidak dibagi dengan pilihan P(X) yang sesuai dan karenanya mampu dideteksi:

- ☐ Semua bit kesalahan tunggal
- ☐ Semua bit kesalahan ganda, selama P(X) memiliki sedikitnya tiga 1s
- ☐ Apapun angka kesalahan yang ganjil, selama P(X) memuat factor (X+1)
- ☐ Apapun banyaknya kesalahan dimana panjangnya kurang dari panjang polynomial pembagi; yakni, kurang dari atau sama dengan panjang FCS.
- ☐ Kesalahan yang besar sekali

Selain itu, dapat pula ditunjukkan bahwa bila semua pola kesalahan dianggap sama, maka untuk kesalahan dari panjang r + 1, probabilitas dari kesalahan yang tak terdeteksi $[E(X) \text{ dibagi dengan } p(X)]$ adalah $1/2^{r-1}$, dan untuk kesalahan yang lebih panjang, probabilitasnya adalah $1/2^{r-1}$, dimana r adalah panjang FCS

Empat versi P(X) yang telah digunakan secara luas adalah:

$$\text{CRC-12} \quad = X^{12} + X^{11} + X^3 + X^2 + X + 1$$

$$\text{CRC-16} \quad = X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$$

$$\text{CRC-CCITT} \quad = X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$$

$$\text{CRC-32} \quad = X^{32} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X + 1$$

Sistem CRC-12 dipergunakan untuk transmisi sederetan sebesar 6-bit karakter

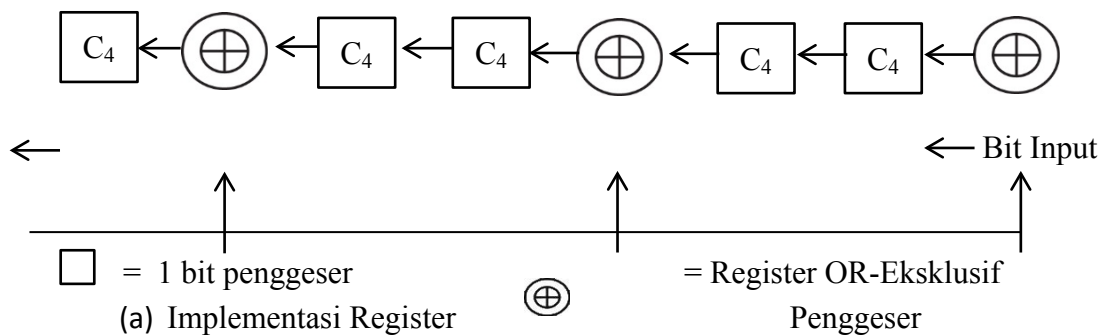
dan membangkitkan 12-bit FCS. Baik CRC-16 maupun CRC-CCITT populer untuk 8-bit karakter, masing-masing di Amerika Serikat dan Eropa, di mana keduanya sama-sama menghasilkan 16-bit FCS. Nampaknya ini sesuai untuk sebagian besar aplikasi, meskipun CRC-32 ditentukan sebagai salah satu pilihan untuk standar transmisi synchronous ujung ke ujung.

Logik Digital

Proses CRC ditunjukkan dan sekaligus diimplementasikan sebagai rangkaian pembagi yang terdiri dari gate OR-eksklusif dan register penggeser. Register penggeser adalah string tempat penyimpanan 1-bit. Masing-masing tempat penyimpanan memiliki jalur output, yang menunjukkan nilai yang baru saja disimpan, serta jalur input. Pada waktu yang discret (nilai disimpan di tempat penyimpanan diganti dengan nilai yang ditunjukkan melalui jalur inputnya. Semua perangkat register didetakkan secara simultan, sehingga menyebabkan penggeseran 1-bit di semua register.

Sirkuitnya diimplementasikan sebagai berikut:

1. Register memuat n bit, setara dengan panjang FCS.
2. Terdapat n atau lebih gate OR-eksklusif.



	C ₄	C ₃	C ₂	C ₁	C ₀	C ₄ ⊕ C ₃	C ₄ ⊕ C ₁	C ₄ ⊕ input	input	
Awal	0	0	0	0	0	0	0	1	1	Pesan untuk dikirim Lima nol tambahan
Tahapan 1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
Tahapan 2	0	0	0	1	0	0	1	1	1	
Tahapan 3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	
Tahapan 4	0	1	0	1	0	1	1	0	0	
Tahapan 5	1	0	1	0	0	1	1	1	0	
Tahapan 6	1	1	1	0	1	0	1	0	1	
Tahapan 7	0	1	1	1	0	1	1	1	1	
Tahapan 8	1	1	1	0	1	0	1	1	0	(b) Contoh dengan input sebesar 1010001101
Tahapan 9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tahapan 10	1	1	1	1	1	0	0	1	0	
Tahapan 11	0	1	0	1	1	1	1	0	0	
Tahapan 12	1	0	1	1	0	1	0	1	0	
Tahapan 13	1	1	0	0	1	0	1	1	0	
Tahapan 14	0	0	1	1	1	0	1	0	0	
Tahapan 15	0	1	1	1	0	1	1	0	.	

Gambar 7.6 Rangkaian Register Penggeser untuk Pembagian oleh Polynomial $X^5+X^4+X^2+1$

3. Ada atau tidak adanya gate berkaitan dengan ada atau tidak adanya term dalam pembagi polynomial, $P(X)$, tidak termasuk term X^n)

Arsitektur rangkaian ini dijelaskan dengan sangat baik pertama-tama dengan cara mengamati contoh yang diilustrasikan pada Gambar 7.6. dalam contoh ini kita menggunakan

Pesan $M = 1010001101$;

$$M(X) = X^9 + X^7 + X^3 + X^2 + 1$$

Pembagi $P = 110101$;

$$P(X) = X^5 + X^4 + X^2 + 1$$

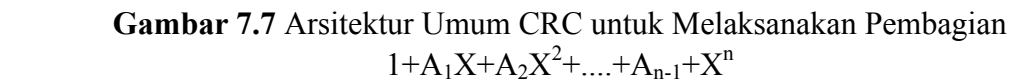
Yang sudah digunakan di bagian awal pembahasan mengenai ini.

Gambar 7.6a menunjukkan implementasi register penggeser. Prosesnya dimulai dengan pembersihan register penggeser (semua nol). Pesan, atau jatah, kemudian dimasukkan, satu bit sekaligus, diawali dengan bit yang paling signifikan. Gambar 7.6b adalah tabel yang menunjukkan nilai yang baru saja disimpan di dalam lima elemen register penggeser. Selain itu, row juga menunjukkan nilai bit input berikutnya, yang tersedia untuk operasi tahap selanjutnya.

Karena tidak ada feedback sampai bit 1 tiba pada ujung yang paling signifikan. Lima operasi pertama merupakan shift yang paling sederhana. Kapanpun bit 1 tiba di sisi kiri ujung register (C_4), 1 dikurangi (OR-eksklusif) dengan bit kedua (C_3), keempat (C_1), dan keenam (input) pada pergeseran berikutnya. Ini sama dengan proses pembagian panjang biner yang diilustrasikan sebelumnya. Proses ini berlanjut sampai dengan keseluruhan bit pesan, plus bit lima nol. Bit-bit ini nantinya menyebabkan perpindahan M ke posisi lima sebelah kiri untuk mengangkat FCS. Setelah bit yang terakhir diproses, register penggeser memuat (FCS), yang kemudian mulai dapat ditransmisikan (ditunjukkan lewat bagian yang diarsir).

Pada receiver, digunakan logik yang sama. Saat masing-masing bit M tiba, kemudian diselipkan ke dalam register penggeser. Bila tidak terdapat kesalahan, register penggeser dapat memuat pola bit untuk R di akhir M . Bit yang ditransmisikan dari R kemudian mulai tiba, dan efeknya adalah nol keluar dari register, sehingga di bagian akhir penerima, register memuat semua nol-nol.

Gambar 7.7 menunjukkan arsitektur umum implementasi register penggeser CRC untuk polynomial $P(X) = \sum_{i=0}^n A_i X^i$ dimana $A_0 = A_n = 1$ dan semua A_i yang lain setara baik dengan 0 maupun dengan 1.



7.3 PENGONTROLAN KESALAHAN

7.3 PENGONTROLAN KESALAHAN

- ❑ **Hilangnya frame** : frame gagal mencapai sisi yang lain. Sebagai contoh, derau yang kuat bisa merusak frame sampai pada tingkat dimana receiver tidak menyadari bahwa frame sudah ditransmisikan.
- ❑ **Kerusakan frame** : frame yang diakui telah tiba, namun beberapa bit mengalami kesalahan (sudah berubah selama transmisi).
- ❑ Teknik yang paling umum untuk mengontrol kesalahan didasarkan atas beberapa atau seluruh unsur berikut ini:
- ❑ **Pendeteksian kesalahan** : sama dengan yang dibahas pada bagian sebelumnya.
- ❑ **Balasan positif** : tujuan mengembalikan balasan positif untuk frame bebas-kesalahan yang diterima dengan baik.
- ❑ **Retransmisi setelah waktunya habis** : sumber melakukan retransmisi frame yang belum dibalas setelah beberapa saat tertentu.
- ❑ **Balasan negatif dan retransmisi** : tujuan mengembalikan balasan negatif kepada frame yang dideteksi mengalami kesalahan. Sumber melakukan retransmisi terhadap frame semacam itu.

Secara bersama-sama, mekanisme ini semua disebut sebagai Automatic Repeat Request (ARQ); efek ARQ ini adalah mengubah jalur data yang tidak andal menjadi andal. Tiga versi ARQ yang sudah distandarisasikan adalah :

- ❑ Stop-and-wait ARQ
- ❑ Go-back-N ARQ
- ❑ Selective-reject ARQ

Semua bentuk ini didasarkan atas penggunaan teknik control arus yang dibahas di bagian 7.1. kita mengamati masing-masing bergiliran.

Stop-and-Wait ARQ

Stop-and-Wait ARQ didasarkan atas teknik control arus stop-and-wait yang diuraikan sebelumnya. Station sumber mentransmisikan sebuah frame tunggal dan kemudian harus menunggu balasan (ACK): Tidak ada data frame yang dikirim sampai jawaban dari setasiun tujuan tiba di setasiun sumber.

Ada dua jenis kesalahan yang dapat terjadi. Pertama, frame yang tiba di tujuan bisa mengalami kerusakan. Receiver, mendeteksi kerusakan tersebut dengan menggunakan teknik pendeteksian kesalahan yang berkaitan dengan pembuangan frame lebih awal. Untuk menghitung kemungkinan ini, station sumber dilengkapi dengan sebuah pencatat waktu. Setelah frame ditransmisikan, setasiun sumber menunggu balasn. Bila tidak ada balasn yang diterima sampai waktu yang ditentukan pencatat waktu habis, kemudian dikirimkan frame yang sama. Perhatikan bahwa metode ini mengharuskan transmitter mempertahankan tiruan frame yang ditransmisikan sampai balasan diterima oleh frame tersebut.

Jenis kesalahan yang kedua adalah kerusakan pada balasan. Amati situasi berikut. Station A mengirim sebuah frame. Frame ini diterima dengan baik oleh station B, yang meresponnya dengan member balasan (ACK). ACK mengalami kerusakan saat singgah dan tidak diakui oleh A, yang karenanya keluar dari jalur waktu dan kembali mengirim frame yang

sama. Duplikat frame ini tiba dan diterima oleh B. Dengan begitu B menerima dua duplikat frame yang sama seolah-olah keduanya terpisah. Untuk mengatasi problem ini, frame bergantian diberi label 0 atau 1, dan balasan positifnya dalam bentuk ACK0 dan ACK1. Sesuai dengan aturan jendela pergeseran, ACK0 membalas penerimaan frame bernomor 1 dan menunjukkan bahwa receiver siap untuk frame bernomor 0.

Gambar 7.8 memberi contoh penggunaan ARQ stop-and-wait, menunjukkan transmisi deretan frame dari sumbu A menuju tujuan B. gambar tersebut juga menunjukkan kedua jenis kesalahan yang baru saja digambarkan. Frame ketiga yang ditransmisikan oleh A hilang atau rusak dan karenanya tidak ada ACK yang dikembalikan oleh B. A mengalami time out dan kembali mentransmisikan frame yang sama. Saat B menerima dua frame dalam sebuah barisan dengan label yang sama, B membuang frame kedua namun mengirimkan ACK0 kembali ke masing-masing station.

Kelebihan utama ARQ stop-and-wait adalah kesederhanaannya. Sedangkan kekurangan utamanya, seperti yang dibahas 7.1, karena ARQ stop-and-wait ini merupakan mekanisme yang tidak efisien. Oleh karena itu teknik control arus jendela pergeseran dapat diadaptasikan agar diperoleh penggunaan jalur yang lebih efisien lagi; dalam konteks ini, kadang-kadang disebut juga dengan ARQ yang kontinyu.

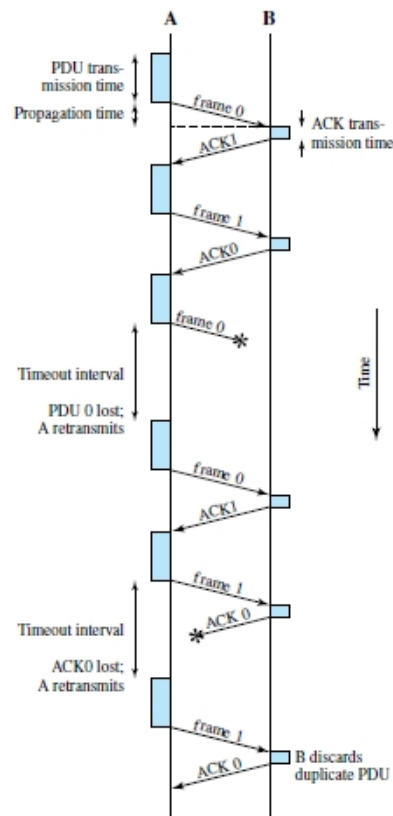
Go-back-N ARQ

Bentuk pengendalian kesalahan didasarkan atas teknik control arus jendela penggeseran yang biasa disebut juga dengan Go-back-N ARQ. Dalam metode ini, station bisa mengirim deretan frame yang diurutkan berdasarkan suatu modulo bilangan. Jumlah frame balasan yang ditentukan oleh ukuran jendela, menggunakan teknik control arus jendela penggeseran. Bila tidak terjadi suatu kesalahan, station tujuan akan

membalas (RR=Receive Ready, atau piggybacked balasan) frame yang datang seperti biasa. Bila station tujuan mendeteksi suatu kesalahan pada sebuah frame, station tujuan mengirim balasan negatif (REJ=reject) untuk frame tersebut. Station tujuan kemudian membuang frame itu dan semua frame-frame yang nantinya akan datang sampai frame yang mengalami kesalahan diterima dengan benar. Jadi, station sumber, bila menerima REJ, harus melakukan retransmisi terhadap frame yang mengalami kesalahan tersebut plus semua frame pengganti yang ditransmisikan sementara.

Pertimbangkan bahwa station A mengirim frame ke station B. Setelah setiap transmisi dilakukan, A menyusun pencatat waktu balasan untuk frame yang baru saja ditransmisi. Anggap saja bahwa B sebelumnya berhasil menerima frame $(i - 1)$ dan A baru saja mentransmisikan frame i . teknik go-back-N mempertimbangkan kemungkinan-kemungkinan berikut ini:

1. **Rusaknya frame:** bila frame yang diterima invalid (misalnya, B mendeteksi adanya kesalahan), B membuang frame dan tidak melakukan tindakan apa-apa. Dalam dalam hal ini ada dua subkasus, yakni:
 - a. Dalam periode waktu yang memungkinkan, A berturut-turut mengirim frame $(i + 1)$. B menerima frame $(i + 1)$ yang tidak beres dan mengirim REJ i . A harus melakukan transmisi terhadap frame i dan semua frame urutannya.
 - b. A tidak segera mengirim frame-frame tambahan. B tidak menerima apa-apa serta tidak mengembalikan RR maupun REJ. Bila pewaktu A habis, A mentransmisikan frame RR yang memuat bit yang disebut drngan bit P, yang disusun berdasarkan 1. B menerjemahkan frame RR dengan bit P dari 1 sebagai perintah yang harus dijawab dengan jalan mengirimkan PR, menunjukkan frame berikutnya yang diharapkan, yang berupa frame i . Bila A menerima RR, ia kembali mentransmisikan fram i .



Gambar 7.8 Stop and Wait ARQ

2. Rusaknya RR. Terdapat dua subkasus:

- B menerima frame I dan mengirim RR ($i + 1$), yang hilang saat singgah. Karena balasannya kumulatif (misalnya, RR 6 berarti semua frame sampai 5 dibalas), kemungkinan A akan menerima RR urutannya sampai frame berikutnya dan akan tiba sebelum pewaktu yang dihubungkan dengan frame i berakhir.
- Bila pencatat waktu A habis, A mentransmisikan perintah RR sebagaimana dalam kasus 1b diatas. A menyusun pewaktu yang lain, yang disebut pewaktu P-bit. Bila B gagal merespons perintah RR, atau bila responsnya rusak, maka pewaktu P-bit A akan berakhir. Dalam hal ini, A akan kembali berusaha dengan cara membuat perintah R yang baru dan kembali mengulang pewaktu P-bit. Prosedur ini diusahakan untuk sejumlah iterasi. Bila A gagal memperoleh balasan setelah beberapa upaya maksimum dilakukan. A kembali mengulangi prosedur yang sama.

3. **Rusaknya REJ.** Bila REJ hilang, sama dengan kasus 1b.

Gambar 7.9a adalah contoh aliran frame untuk go-back N ARQ. Karena adanya penundaan perambatan pada jalur, dari saat itu dimana balasan (baik positif maupun negatif) tiba kembali di station pengiriman, sedikitnya telah dikirim satu frame tambahan di luar frame yang sedang dibalas. Dalam contoh ini, frame 4 mengalami kerusakan. Frame 5 dan 6 diterima tidak sesuai yang diperintahkan dan dibuang oleh B. Saat frame 5 tiba, B segera mengirim REJ 4. Saat REJ untuk frame 4 diterima, tidak hanya frame 4 saja namun juga frame 5 dan 6 yang harus ditransmisikan kembali. Perlu dicatat bahwa transmitter harus menjaga tiruan semua frame yang tidak dibalas.

Pada bagian 7.1, kita sebutkan bahwa untuk bidang bernomorurut k -bit, yang menyediakan jarak bernomorurut 2^k , ukuran window maksimum dibatasi sampai $2^k - 1$. Ini harus dilakukan dengan cara dilakukannya interaksi antar pengontrolan kesalahan dan balasan. Amati, bila data sedang dipindahkan ke dua arah, station B harus mengirimkan balasan piggybacked ke frame yang dari station A di dalam frame data yang sedang ditransmisikan oleh B. Bahkan bila balasannya sudah dikirim. Sebagaimana yang telah kita sebutkan tadi, hal ini karena B harus menempatkan beberapa nomor pada bidang di dalam balasan data framenya. Seperti yang nampak pada contoh, diasumsikan nomorurut 3-bit (jarak urutan nomor=8). Anggap saja sebuah station mengirim frame 0 dan menerima kembali RR1 dan kemudian mengirim frame 1,2,3,4,5,6,7,0 dan menerima RR1 yang lain. Ini berarti bahwa kedelapan frame sudah diterima dengan benar dan RR1 merupakan balasan kumulatif. Juga bisa berarti bahwa kedelapan frame rusak atau hilang saat transit, dan station penerima mengulangi RR1 sebelumnya. Problem seperti ini bisa dihindari bila ukuran jendela maksimum dibatasi sampai $7 (2^3 - 1)$.

Selective-Reject ARQ

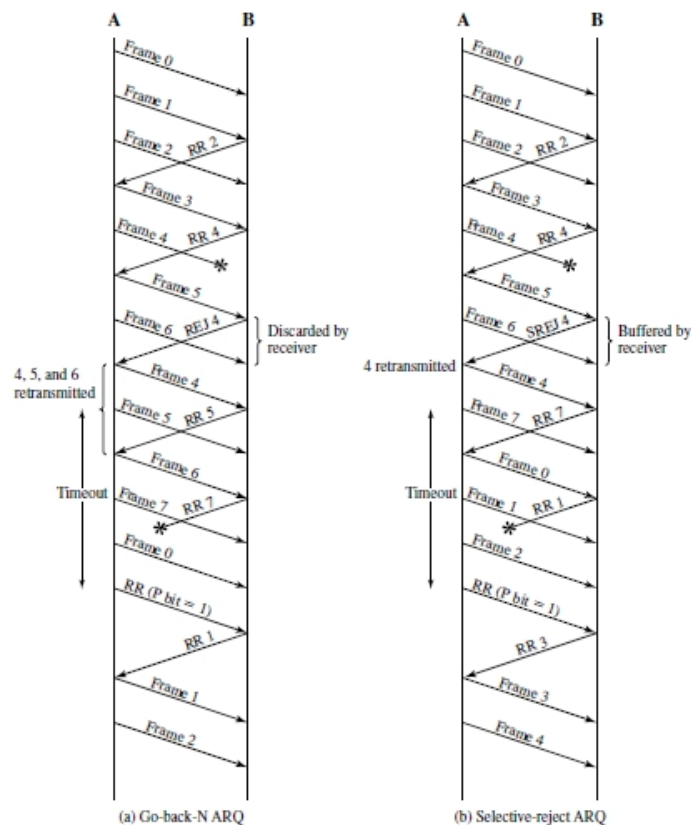
Dengan selective-reject ARQ frame-frame yang hanya diretransmisikan adalah frame-frame yang menerima balasan negatif, dalam hal ini disebut SREJ atau frame-frame yang waktunya sudah habis. Gambar 7.9b menyajikan ilustrasi

skema ini. Bila frame 5 diterima rusak, B mengirim SREJ 4, yang berarti frame 4 tidak diterima. Selanjutnya, B berlanjut dengan menerima frame-frame yang datang dan menahan mereka sampai frame 4 yang valid diterima. Dalam hal ini, B dapat meletakkan frame sesuai pada tempatnya agar bisa dikirim ke software pada lapisan yang lebih tinggi.

Selective reject lebih efisien dibanding go-back-N, karena selective reject meminimalkan jumlah retransmisi. Dengan kata lain, receiver harus mempertahankan penyangga sebesar mungkin untuk menyimpan tempat bagi frame SREJ sampai frame yang rusak diretransmisi, serta harus memuat logika untuk diselipkan kembali frame tersebut pada urutan yang tepat. Selain itu, transmitter juga memerlukan logika yang lebih kompleks agar mampu mengirimkan frame diluar urutan. Karena kompilasi semacam itu, select-reject ARQ tidak terlalu banyak dipergunakan dibanding go-back N ARQ.

Batas ukuran jendela lebih terbatas untuk selective-reject daripada go-back-N. Amati kasus ukuran nomor urut 3-bit untuk selective reject. Dengan ukuran jendela sebesar tujuh, lalu amati skenario berikut [TANE96]:

1. Station A mengirim frame 0 melalui 6 menuju station B.
2. Station B menerima ke tujuh frame dan membalasnya secara kumulatif dengan RR7.
3. Karena adanya derau besar, RR7 menghilang.
4. Waktu habis dan mentransmisikan frame 0 kembali.
5. B memajukan jendela penerimanya agar menerima frame 7, 0, 1, 2, 3, 4, dan 5. Jadi diasumsikan bahwa frame 7 sudah hilang dan berarti pula ini merupakan frame 0 yang baru diterimanya.



Gambar 7.9 Protokol jendela Pergeseran ARQ

Problem pada skenario tersebut adalah adanya tum[ang tindih antara jendela pengiriman dan penerimaan. Untuk mengatasinya, ukuran jendela maksimum harus tidak boleh lebih dari separuh jarak nomor urutan. Pada skenario sebelumnya, seandainya keempat frame tak terbalas belum diselesaikan, maka tidak akan terjadi kekacauan. Umumnya, untuk bidang bernomor urut k -bit, yang menyediakan jarak urutan nomor sebesar 2^k , ukuran maksimum jendela dibatasi sampai 2^{k-1} .

7.4 HIGH-LEVEL DATA LINK CONTROL (HDLC)

Protocol data link control yang paling penting adalah HDLC (ISO3009,ISO4335). HDLC tidak hanya sudah umum dipergunakan namun juga menjadi asas untuk berbagai protocol data link control terpenting lainnya, yang menggunakan format dan mekanisme yang sama seperti yang digunakan dalam HDLC. Selanjutnya, dalam bagian kita menyajikan pembahasan yang lebih mendetail mengenai HDLC.Sedangkan bagian 7.5 menelusuri protocol-protocol yang masih berkaitan.

Karakteristik Dasar

Untuk memenuhi berbagai macam aplikasi, HDLC menetapkan tiga jenis station, dua konfigurasi, serta tiga model operasi pengalihan data. Ketiga jenis station tersebut adalah sebagai berikut:

- ❑ **Station Primer:** bertanggung jawab mengontrol operasi jalur. Frame-frame dikeluarkan oleh primary yang disebut perintah.
- ❑ **Station Sekunder:** beroperasi di bawah kendali station primer. Frame-frame dikeluarkan sekunder yang disebut respons. Primer mempertahankan jalur logik yang terpisah dengan setiap station sekunder pada jalur.
- ❑ **Station Gabungan:** mengkombinasikan bentuk primer dan sekunder. Station gabungan bisa mengeluarkan perintah dan respon.

Konfigurasi jalur berupa:

- ❑ **Konfigurasi tidak seimbang:** Terdiri dari satu station primer dan satu atau lebih station sekunder, serta mendukung baik transmisi full-duplex maupun half-duplex.
- ❑ **Konfigurasi seimbang:** terdiri dari dua station gabungan, serta mendukung transmisi full-duplex maupun half-duplex.

Sedangkan mode transfer data berupa:

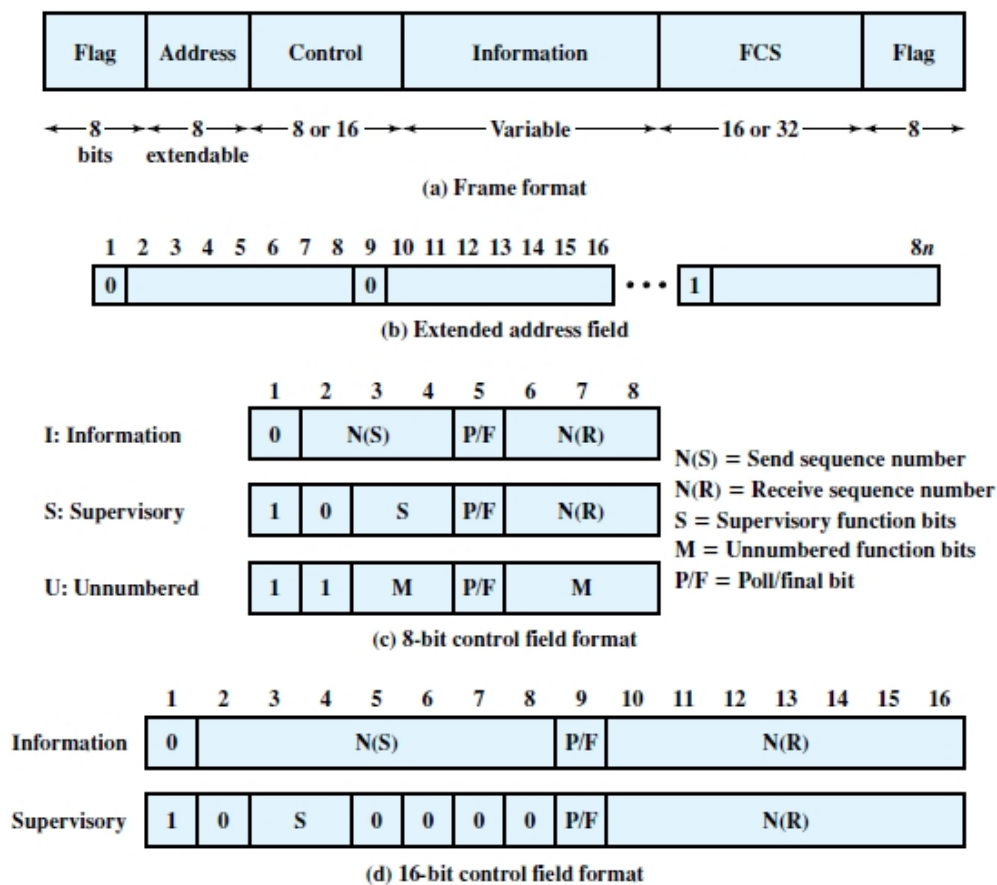
- ❑ **Normal Response Mode (NRM):** Digunakan dengan konfigurasi. Primer tidak seimbang mengawalidata transfer menuju secondary, namun sekunder hanya mentransmisikan data dalam bentuk respon sampai perintah dari primer saja.
- ❑ **Asynchronous Balanced Mode (ABM):** Digunakan dengan konfigurasi seimbang. Salah satu station gabungan dapat mengawali transmisi tanpa perlu ijin dari salah satu station gabungan lainnya.
- ❑ **Asynchronous Response Mode (ARM):** Digunakan dengan konfigurasi tidak seimbang. Secondary dapat mengawali transmisi tanpa perlu ijin yang jelas dari primer. Primer masih tetap bertanggung jawab terhadap jalur, termasuk inisialisasi, perbaikan kesalahan, serta diskoneksi logik.

NRM dipergunakan pada jalur multitik, dimana sejumlah terminal dihubungkan ke komputer host. Komputer menanyai setiap terminal untuk dipergunakan sebagai masukan. NRM kadang-kadang juga dipergunakan pada jalur ujung ke ujung, utamanya bila jalur menghubungkan sebuah terminal atau peripheral lainnya dengan sebuah computer. ABM merupakan mode yang paling banyak dipergunakan dibanding mode-mode lainnya: karena membuat penggunaan jalur ujung ke ujung full-duplex menjadi lebih efisien sebab tidak memerlukan overhead. Sedangkan ARM jarang digunakan: karena hanya bisa diaplikasikan untuk keadaan-keadaan tertentu dimana sekunder perlu mengawali transmisi.

Struktur Frame

HDLC menggunakan transmisi synchronous. Semua transmisi berbentuk frame, dan format frame tunggal memadai untuk seluruh jenis pertukaran data dan kontrol.

Gambar 7.10 menyajikan gambaran struktur frame HDLC. Hal-hal seperti tanda, alamat, dan kontrol yang mendahului hal-hal yang berkaitan dengan informasi disebut sebagai: header (kepala). Sedangkan untuk FCS dan tanda yang mengikuti hal-hal yang berkaitan dengan data disebut sebagai gandengan.



Gambar 7.10 Struktur Frame HDLC

Bidang Tanda

Bidang tanda membatasi frame pada kedua ujung nya dengan pola khusus 01111110. Tanda tunggal bisa dipergunakan sebagai tanda penutup untuk satu frame dan tanda pembuka untuk berikutnya. Pada kedua sisi interfis pengguna jaringan, receiver secara terus menerus memburu deretan tanda untuk mensinkronkan frame permulaan. Sembari menerima frame, setasiun terus meburu deretan tanda tersebut untuk menentukan ujung frame. Karena protocol membiarkan keberadaan pola-pola bit yang ganjil (misalnya, tidak terdapat batasan atas muatan berbagai jenis frame yang ditentukan oleh protocol jalur) tidak ada jaminan bahwa pola 01111110 tidak akan muncul di suatu tempat di dalam frame, yang dapat merusak sinkronisasi. Untuk

menghindari problem ini, dipergunakan suatu prosedur tertentu yang disebut *bit stuffing* (isi). Di antara transmisi tanda permulaan dan tanda terakhir, transmitter akan selalu menyelipkan bit 0 ekstra setelah setiap kemunculan lima 1 di dalam frame. Setelah mendeteksi tanda permulaan, receiver memantau deretan bit. Saat muncul pola lima 1, bit keenam ditentukan. Bila bit ini berupa 0, maka langsung dihapus. Bila bit keenam berupa 1 dan bit ketujuh berupa 0, kombinasi keduanya diterima sebagai tanda. Bila bit keenam dan ketujuh berupa 1, pengirim menunjukkan kegagalan.

Dengan menggunakan bit isi, pola-pola bit yang ganjil dapat diselipkan ke dalam bidang data di dalam frame. Hal ini disebut *data transparency*.

Gambar 7.11 menunjukkan suatu contoh tentang bit isi. Perhatikan, pada dua kasus pertama, 0 ekstra tidak harus dibatasi untuk menghindari pola tanda, namun pembatasan itu diperlukan untuk proses algoritma. Bila tanda dipergunakan pada tanda permulaan dan tanda terakhir, kesalahan 1-bit akan menggabungkan dua frame menjadi satu. Sebaliknya, kesalahan 1-bit di dalam frame dapat memecahnya menjadi dua.

Bidang Alamat

Bidang alamat menentukan station sekunder yang ditunjukkan atau dimaksudkan untuk menerima frame. Ini tidak diperlukan untuk jalur ujung ke ujung, namun selalu dimasukkan untuk kepentingan keseragaman. Bidang alamat biasanya sepanjang 8 bit, namun berdasarkan kesepakatan, dipergunakan format yang diperluas dimana panjang alamat sebenarnya merupakan perkalian dari 7 bit. Bit sisi paling kiri dari setiap octet adalah 1 atau 0 menurut apakah memang itu yang sesuai atau apakah bukan merupakan octet terakhir dari bidang alamat. 7 bit yang tersisa dari setiap octet membentuk bagian dari alamat. Alamat octet tunggal 11111111 diterjemahkan sebagai alamat seluruh station dalam format dasar atau yang diperluas. Selain itu juga dipergunakan untuk memungkinkan primer menyairkan frame untuk penerima melalui semua sekunder.

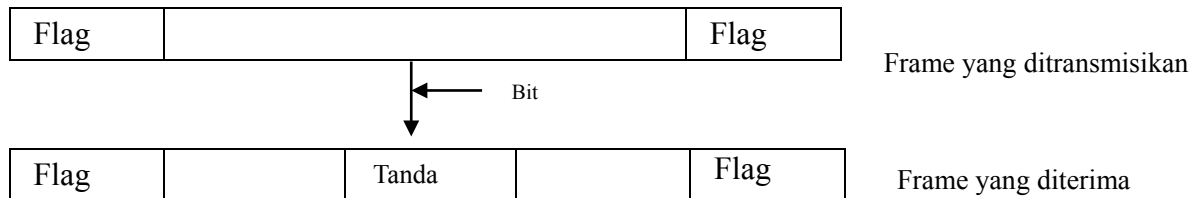
Original pattern:

111111111111011111101111110

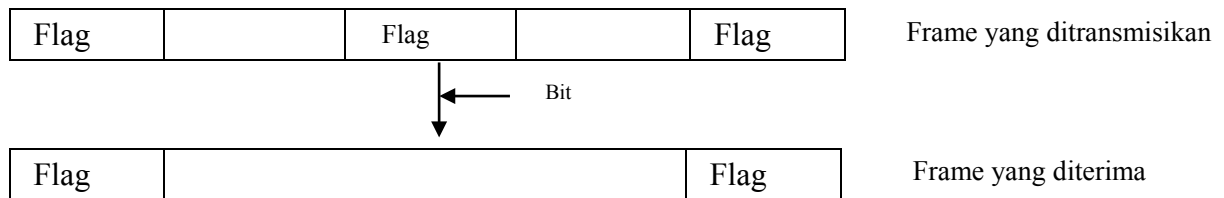
After bit-stuffing:

111110111110110111110101111010

(a) Contoh



(b) Bit yang dibalik membelah sebuah frame menjadi dua



(c) Bit yang dibalik menggabungkan kedua frame

Gambar 7.11 Bit isi

Bidang Kontrol

HDLC menetapkan tiga jenis frame, masing-masing dengan format kontrol yang berlainan. Information frames (I-frame) membawa data untuk ditransmisikan kepada pengguna (logika di atas HDLC yang menggunakan HDLC). Selain itu, data kontrol kesalahan dan arus menggunakan mekanisme ARQ, yang piggybacked pada frame informasi. Unnumbered frames (U-frames) menyediakan fungsi kontrol jalur tambahan. Sedangkan bit pertama dan kedua dari kontrol digunakan untuk menentukan tipe frame. Posisi bit berikutnya disusun ke dalam subbagian u yang ditunjukkan pada gambar 7.10c dan 7.10d. penggunaannya akan dijelaskan pada pembahasan mengenai operasi HDLC di bagian bab ini.

Seluruh format kontrol memuat poll/final (P/F) bit. Penggunaannya tergantung pada konteksnya. Biasanya, dalam frame perintah, ditunjukkan sebagai bit P dan disiapkan untuk satu fungsi yaitu: mengumpulkan (menanyai) respons frame dari peer HDLC entity. Pada frame response yang ditransmisikan sebagai hasil perintah pengumpulan.

Perlu dicatat bahwa kontrol dasar untuk S-frame dan I-frame menggunakan nomor urut 3-bit. Dengan perintah set mode yang tepat, kontrol yang diperluas bisa dipergunakan untuk frame S dan I yang memakai nomor urut 7. U-frame selalu memuat kontrol 8-bit.

Bidang Informasi

Bidang informasi hanya tersedia pada I-frame dan U-frame. Bidang ini terdiri dari beberapa deretan bit namun harus memuat nomor oktet yang lengkap. Panjang bidang informasi mulai dari variabel sampai jumlah maksimum yang ditetapkan sistem.

Bidang Frame Check Sequence

Bidang Frame Check Sequence (FCS) merupakan kode pendeteksian kesalahan yang dikalkulasikan dari bit frame yang tersisa, eksklusif ataupun tanda. Kode normalnya adalah 16-bit CRC-CCITT yang dijelaskan di bagian 7.2. Pilihan 32-bit, menggunakan CRC-32, bisa dipakai bila panjang frame atau jalur dinyatakan cukup memadai untuk pilihan ini.

Operasi

Operasi HDLC terdiri dari I-frame, S-frame, dan U-frame di antara dua station. Berbagai perintah dan respon yang ditetapkan untuk frame-frame ini ditunjukkan dalam table 7.1. Operasi HDLC terdiri dari tiga 3 tahap. Pertama, salah satu pihak atau pihak lainnya mengawali jalur data sehingga frame-frame tersebut bisa dipindahkan dengan cara yang tepat. Selama tahap ini, pilihan yang dipergunakan disepakati berdasarkan hal itu. Setelah inisialisasi ini, kedua pihak memindahkan data user dan kontrol informasi untuk menjalankan flow dan pengontrolan kesalahan. Terakhir, salah satu pihak member sinyal penghentian operasi.

Inisialisasi

Inisialisasi bisa diminta oleh salah satu dari kedua pihak tersebut dengan cara mengeluarkan salah satu dari keenam perintah set mode. Perintah-perintah ini dimaksudkan untuk:

1. Memberi tanda pada pihak lain bahwa inisialisasi telah diajukan.
2. Menentukan salah satu dari ketiga model (NRM, ABM, ARM) yang diminta.
3. Menentukan apakah nomor urut 3- atau 7-bit yang digunakan.

Bila pihak lain menerima permintaan ini, maka modul HDLC pada ujung tersebut mentransmisikan frame Unnumbered Acknowledgement (UA) kembali ke pihak yang mengawali. Bila permintaan ditolak, maka frame disconnected mode (DM) dikirim.

Transfer Data

Bila inisialisasi diterima dan ditolak, kemudian dibentuk koneksi logik. Kedua pihak bisa mulai mengirimkan data dalam I-frame, diawali dengan nomor urut 0. Bidang N(S) dan N(R) dari I-frame merupakan nomor urut yang mendukung control flow dan kontrol kesalahan. Modul HDLC yang mengirim deretan I-frame akan menomorinya berurutan, modulo 8 atau 128, tergantung pada apakah nomor urut 3- atau 7-bit yang dipergunakan, serta menempatkan nomor urut pada N(S). N(R) adalah balasan untuk I-frame yang diterima; yang memungkinkan modulo HDLC dapat menentukan I-frame nomor berapa yang diharapkan diterima

selanjutnya.

S-frame juga dipergunakan untuk control flow dan kontrol kesalahan. Frame Received Ready (RR) membalas I-frame terakhir yang diterima dengan cara menunjukkan I-frame berikutnya yang diinginkan. RR dipergunakan bila tidak ada pembalikan lalu lintas data user (I-frame) untuk membawa balasan. Received not ready (RNR) membalas I-frame, sama seperti RR, namun sekaligus meminta peer entity supaya menunda transmisi I-frame. Bila entitas yang mengeluarkan RNR siap kembali, RR dikirim lagi. REJ mengawali go-back-N ARQ. Ini menunjukkan bahwa I-frame terakhir yang diterima telah ditolak dan diperlukan transmisi ulang seluruh I-frame yang dimulai dengan nomor N(R). Sedangkan selective reject (SREJ) dipergunakan untuk meminta transmisi ulang frame tunggal.

Tabel 7.1 Perintah dan Respon HDLC

Nama	Perintah dan Respons	Deskripsi
Informasi (I)	C/R	Pertukaran Data User
Pengawasan (S)		
Siap menerima (RR)	C/R	Balasan positif; siap menerima I-frame
Tidak siap menerima (RNR)	C/R	Balasan positif; tidak siap menerima
Menolak	C/R	Balasan negatif; go back N
Penolakan selektif	C?R	Balasan negatif; penolakan selektif
Tak Bernomor		
Set normal response/extended mode	C	Setting mode dan pengembangannya = nomor urut 7-bit
Set asynchronous response/extended mode	C	Setting mode dan pengembangannya = nomor urut 7-bit
Set asynchronous balanced/extended mode	C	Setting mode dan pengembangannya = nomor urut 7-bit
Set initialization mode	C	Mengawali fungsi kontrol jalur pada station yang dialamatkan
Diskoneksi	C	Menghentikan koneksi jalur logis
Balasan tak terbalas	R	Penerimaan balasan dari salah satu perintah set mode
Disconnected mode	R	Pemberi respons berada pada disconnected mode
Request disconnected	R	Permintaan akan perintah DISC
Request initialization mode	R	Diperlukan inisialisasi; permingtaan akan perintah SIM
Informasi tak bernomor	C/R	Dipergunakan untuk memindah informasi control
Poll tak bernomor	C	Dipergunakan untuk mengumpulkan informasi control
Reset	C	Dipergunakan untuk perbaikan; melakukan reset
Pertukaran identifikasi	C/R	Dipergunakan untuk meminta/melaporkan status
Tes	C/R	Memindah bidang informasi yang sama untuk pengujian
Penolakan frame	R	Member laporan frame yang tak diterima

Diskoneksi (tak tersambung)

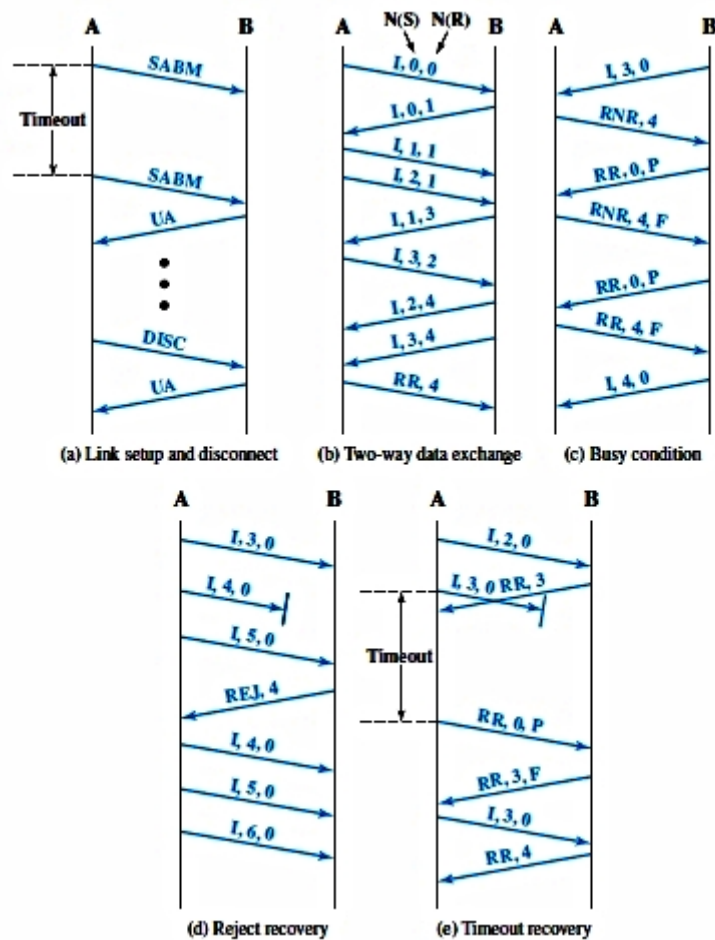
Salah satu modul HDLC bisa mengawali diskoneksi, baik atas inisiatifnya sendiri bila terdapat suatu kegagalan, maupun atas permintaan pengguna pada lapisan yang lebih tinggi. HDLC mengeluarkan diskoneksi dengan cara mengirimkan frame diskoneksi (DISC). Entitas remote harus menerima diskoneksi tersebut dengan cara menjawab lewat UA dan memberi tahu pengguna pada lapisan yang lebih tinggi bahwa koneksi dihentikan. I-frame tak terbalas yang belum diselesaikan bisa saja hilang dan perbaikannya akan menjadi

tanggung jawab lapisan yang lebih tinggi.

Contoh Operasi

Agar bisa lebih memahami operasi HDLC, beberapa contoh yang berkaitan dengan hal itu ditampilkan dalam gambar 7.12. pada diagram-diagram contoh, masing-masing anak panah termasuk kolom keterangan yang menentukan nama frame, susunan P/F bit, dan bila sesuai, nilai N(R) dan N(S). susunan bit F atau P adalah bila ada tanda penandaan dan 0 bila tidak ada.

Gambar 7.1a menunjukkan frame-frame yang terlibat dalam diskoneksi dan susunan jalur. Entitas protocol HDLC untuk salah satu pihak mengeluarkan perintah SABM ke pihak yang lain dan pencatat waktu mulai berjalan. Pihak yang lain dengan menerima SABM, mengembalikan respons UA dan menyusun variabel-variabel local dan penjumlahan ke nilai-nilai awal mereka. Entitas pemula menerima respons UA, menyusun variabel dan penjumlahannya, serta menghentikan pewaktu. Koneksi logik sekarang diaktifkan, dan kedua belah pihak mulai mentransmisikan frame. Sewajarnya waktu dari pencatat waktu berhenti tanpa respons terhadap SABM, pengirim akan mengirim ulang SABM, sebagaimana yang digambarkan. Ini akan diulangi kembali sampai UA atau DM diterima, atau setelah beberapa kali mencoba, entitas mengupayakan inisiasi berhenti dan melaporkan kegagalan tersebut ke entitas manajemen. Dalam kasus seperti itu, diperlukan intervensi dari lapisan yang lebih tinggi. Gambar yang sama (gambar 7.12a) menunjukkan prosedur diskoneksi. Salah satu pihak menggunakan perintah DISC, dan pihak yang lain meresponnya dengan UA.



Gambar 7.12 Contoh – contoh Operasi HDLC

Gambar 7.12b menyajikan ilustrasi mengenai perpindahan I-frame full-duplex. Bila sebuah entitas mengirim sejumlah I-frame dalam suatu deretan tanpa data yang datang, maka nomor urut yang diterima kembali diulang. Perlu dicatat, bahwa sebagai tambahan untuk I-frame, perpindahan data bisa melibatkan frame-frame yang pengawas (misalnya, I,1,1 ; I,2,1 pada arah A-menuju-B). Bila entitas menerima nomor I-frame dalam suatu deretan tanpa frame yang keluar, maka nomor urut yang diterima pada frame yang keluar berikutnya harus merefleksikan aktivitas kumulatifnya (misalnya, I,1,3 pada arah B-menuju-A).

Gambar 7.12c menunjukkan operasi yang menyangkut ‘kondisi sibuk’. Kondisi semacam itu terjadi karena entitas HDLC tidak mampu memproses I-frame ketika mereka datang, atau user yang dituju tidak mampu menerima data ketika mereka tiba di I-frame. Di salah satu dari kedua kasus tersebut, penyangga penerima dari entitas menjadi penuh dan harus menghentikan aliran I-frame yang datang, dengan menggunakan perintah RNR. Pada contoh ini, A mengeluarkan RNR, yang memerlukan B untuk menghentikan transmisi I-frame. Station yang menerima RNR biasanya akan selalu menanyakan station yang sibuk pada beberapa interval periodik dengan cara mengirimkan RR dengan P bit set. Hal ini memerlukan salah satu pihak merespon baik dengan RR ataupun dengan

RNR. Bila kondisi sibuk sudah dihapus, A mengembalikan RR, dan transmisi I-frame dari B bisa dilanjutkan kembali.

Sebuah contoh tentang perbaikan kesalahan dengan menggunakan perintah REJ ditunjukkan pada gambar 7.12d. Pada contoh tersebut, A mentransmisikan I-frame nomor 5, B membuang frame ini karena tidak beres dan lalu mengirimkan REJ dengan $N(R)4$. Hal ini menyebabkan A melakukan transmisi ulang seluruh I-frame yang telah dikirim, dimulai dengan frame 4. Ini diteruskan dengan mengirim frame-frame tambahan setelah transmisi ulang frame-frame.

Sedangkan contoh mengenai perbaikan kesalahan menggunakan waktu habis (timeout) ditunjukkan dalam gambar 7.12e. Pada contoh ini, A mentransmisikan I-frame nomor 3 sebagai urutan terakhir dari deretan I-frame. Frame tersebut mengalami kesalahan. B mendeteksi kesalahan itu dan membuangnya. Namun, B tidak dapat mengirim REJ karena tidak ada cara untuk mengetahui apakah frame ini merupakan I-frame. Bila suatu kesalahan dideteksi dalam sebuah frame, seluruh bit dalam frame tersebut dicurigai, dan receiver tidak tahu tindakan apa yang harus dilakukan. Bagaimanapun juga, A sudah menyebabkan berjalannya pencatat waktu sejak saat frame ditransmisikan. Pencatat waktu ini memiliki durasi yang cukup panjang untuk mencapai waktu respons yang diharapkan. Saat waktu berakhir, A mulai melakukan tindakan perbaikan. Ini biasanya dilakukan dengan cara menanyai salah satu pihak dengan sebuah perintah RR dengan P bit set, untuk menentukan status pihak yang lain. Karena pengirim meminta repon, entitas akan menerima frame yang berisikan bidang $N(R)$ dan menjadi mampu untuk diterima. Dalam hal ini, respon tersebut menunjukkan bahwa frame 3 telah hilang, yang ditransmisikan kembali oleh A.

Contoh-contoh ini tidaklah mendalam. Bagaimanapun juga, contoh-contoh tersebut cukup memperjelas pembahasan mengenai HDLC.

7.5 PROTOCOL DATA LINK CONTROL LAINNYA

Sebagai tambahan untuk HDLC, terdapat sejumlah protocol data link control penting lainnya. Gambar 7.13 menyajikan ilustrasi mengenai format-format frame, sedangkan bagian ini menggunakan ulasan sekilas.

LAPB

LAPB (Link Access Procedure Balance) dikeranakan oleh ITU-T sebagai bagian dari standar interface jaringan packet-switching X.25. Ini merupakan sub bagian dari HDLC yang hanya menyajikan asynchronous balanced mode (ABM); serta dirancang untuk jalur ujung-ke-ujung antara system pengguna dan simpul jaringan packet-switching. Format frame-nya sama dengan format frame HDLC.

LAPD

LAPD (Link Access Procedure, D-channel) dikeluarkan oleh ITU-T sebagai bagian dari susunan rekomendasi untuk ISDN (Integrated Service Digital Network). LAPD menyajikan control data link sepanjang channel D, yang merupakan channel logic pada interface ISDN-use.

Terdapat beberapa perbedaan mendasar antara LAPD dan HDLC. Sama seperti LAPB, LAPD dibatasi untuk ABM. LAPD selalu menggunakan nomor urut 7-bit; sedangkan 3-BIT tidak dibiarkan. FCS untuk LAPD selalu CRC 16-bit. Terakhir, bidang alamat untuk LAPD adalah bidang 16-bit yang sebenarnya berisikan dua subalamat: satu dipergunakan untuk menentukan salah satu perangkat multiple yang mendukung yaitu: disisi pengguna, sedangkan yang lain dipergunakan untuk menentukan salah satu pengguna logic yang ada dari LAPD di interface pengguna.

Logical Link Control (LLC)

LLC merupakan bagian dari kelompok standar IEEE 802 untuk mengontrol operasi pada Local Area Network (LAN). LLC tidak memiliki beberapa bentuk seperti yang ditemukan dalam HDLC namun memiliki bentuk yang tidak ada pada HDLC.

Perbedaan yang paling jelas antara LLC dan HDLC adalah dalam hal format frame. Fungsi control jalur dalam LLC dibagi bagi antara dua lapisan, yakni: Lapisan Medium Access Control (MAC) dan lapisan LLC, yang beroperasi pada bagian atas lapisan MAC.

Gambar 7.13c menunjukkan struktur kombinasi frame MAC/LLC, bagian yang diarsir berhubungan dengan bidang yang dihasilkan pada lapisan LLC, sedangkan bagian yang tidak diarsir merupakan header yang gandengan frame MAC. Lapisan MAC meliputi alamat sumber dan tujuan untuk perangkat – perangkat yang dihubungkan ke LAN. Diperlukan dua alamat karena tidak ada konsep primer dan sekunder dalam lingkup LAN. Karenanya, baik pengirim maupun penerima harus diidentifikasi. Pendeteksian kesalahan dilakukan pada lebel MAC, menggunakan 32-bit CRC. Terakhir, terdapat beberapa fungsi control yang nampak ganjil pada control akses media yang bias dimasukkan dalam bidang control MAC.

Secara operasional, LLC menawarkan tiga jenis layanan. The connection-mode service sama dengan ABM pada HDLC. Sedangkan dua layanan lainnya, unacknowledgment connectionless dan acknowledgment connectionless digambarkan di Bab empat.

Frame Relay

Frame relay adalah fasilitas data link control yang dirancang untuk menyediakan kapasitas aliran untuk penggunaan jaringan packet-switched berkecepatan tinggi. Dipergunakan di tingkat X.25 yang terdiri dari protocol data link control (LAPD) dan protocol network-layer (disebut X.25 packet layer). Frame relay dijelaskan di Bab Tiga.

Protocol data link control yang ditetapkan untuk frame relay adalah LAPB (Link Access Procedure for Frame-Mode Bearer Service). Sebenarnya ada dua protocol: yakni, protocol control, yang memiliki bentuk yang sama dengan HDLC, dan protocol inti (core protocol), yang merupakan subbagian protocol control.

Terdapat beberapa perbedaan kunci antara protocol control LAPF dan HDLC. Sebagaimana LAPB, control LAPF dibatasi untuk ABM. Kontrol LAPF selalu menggunakan nomor urut 7-bit; sedangkan nomor urut 3-bit tidak dipergunakan. FCS untuk control LAPF juga selalu CRC 16-bit. Terakhir, bidang alamat untuk control LAPF adalah dua, tiga, atau empat octet panjangnya, memuat 10-bit, 16-bit,

atau 13-bit DLCI (Data Link Connection Identifier). DLCI menentukan koneksi logic di antara system sumber dan tujuan. Selain itu, bidang alamat memuat beberapa bit control yang berguna untuk hal-hal yang berhubungan dengan control arus.

Inti LAPF(LAPF core) terdiri dari tandan, alamat, informasi, dan bidang FCS yang sama seperti pada control LAPF. Perbedaanya adalah tidak ada bidang control untuk LAPF inti. Jadi, tidak ada alat melakukan control arus dan control kesalahan, yang memungkinkan operasi yang lebih lancar.

Asynchronous Transfer Mode (ATM)

Sebagaimana frame relay, ATM dirancang untuk menyediakan kemampuan pengalihan data yang lancar melalui jaringan berkecepatan tinggi. Namun tidak seperti frame relay, ATM tidak didasarkan atas HDLC. ATM didasarkan atas format frame yang benar0benar baru, yang disebut dengan cell, yang menyediakan overhead pengolahan minimum.

Cell ATM memiliki panjang 53 octet, atau 424 bit. Detail-detail mengenai cell ATM dibahas di Bab Tiga.

7.6 BACAAN YANG DISARANKAN

Laporan yang sangat baik dan detail mengenai control arus dan control kesalahan dapat ditemukan di [BERT92]. Sedangkan survey protocol data link control ada dalam [BLAC93]. [FIOR95] menekankan pada beberapa problem di dunia nyata dengan HDLC.

7.7 PERMASALAHAN

- 7.1. Amati jalur ujung-ke-ujung half-duplex menggunakan skema stop-and-wait, dimana sederetan pesan dikirimkan, dengan setiap pesan yang disegmentasikan ke dalam sejumlah frame. Abaikan kesalahan dan overhead frame.
 - a. Apa dampaknya terhadap jalur dengan penggunaan ukuran pesan yang diperbesar sehingga lebih sedikit pesan yang diperlukan (factor-faktor yang lain tetap konstan)?
 - b. Apa dampaknya terhadap jalur dengan penggunaan nomor frame yang semakin besar untuk ukuran pesan yang tetap konstan?
 - c. Apa dampaknya terhadap jalur dengan penggunaan ukuran frame yang semakin besar?
- 7.2. Sebuah canel memiliki data rate sebesar 4 kbps dan penundaan rambatan sebesar 20ms. Untuk beberapa rentang ukuran frame yang memberlakukan stop-and-wait yang memberikan tingkat efisiensi sedikitnya 50 persen?
- 7.3. Amati penggunaan frame 1000 bit pada sebuah canel satelit 1-Mbps dengan penundaan 270ms. Berapa penggunaan jalur maksimum untuk
 - a. Stop-and0wait control arus?
 - b. Kontrol arus kuntu dengan ukuran jendela sebesar 7?

- c. Kontrol arus kontinu dengan ukuran jendela sebesar 127?
 - d. Kontrol arus kontinu dengan ukuran jendela sebesar 255?
- 7.4. Pada Gambar 7.14 frame-frame dibangkitkan pada simpul A dan dikirim kesimpul C melalui simpul B. Tentukan rate transmisi minimum yang diperlukan antara simpul B dan C sehingga penyangga simpul B tidak meluap, dengan didasarkan atas:
- ☐ Rate data antara A dan B adalah 100 kbps
 - ☐ Penundaan perambatan $5\mu\text{s}$ / km untuk kedua jalur
 - ☐ Terdapat jalur full-duplex diantara simpul simpul
 - ☐ Semua frame data memiliki panjang 1000 bit; frame ACK merupakan frame terpisah yang panjangnya diabaikan
 - ☐ Antara A dan B, dipergunakan protocol jendela pergeseran dengan ukuran jendela sebesar 3
 - ☐ Antara A dan B, dipergunakan stop-and-wait
 - ☐ Tidak terdapat kesalahan
- Petunjuk: Agar tidak membanjiri penyangga B, nomor rata-rata frame yang memasuki dan meninggalkan B harus sama sepanjang interval yang panjang.
- 7.5. Sebuah canel memiliki data rate sebesar R bps dan penundaan perambatan sebesar t detikperkilometer. Jarak antar simpul pengirim dan penerimaadalah L kilometer. Simpul – simpul tersebut memindahkan frame-frame yang ukurannya sudah ditentukan sebesar B bit. Temukan rumus yang memberikan ukuran deretan minimum frame sebagai fungsi R, t, B , dan I (berdasarkan penggunaan maksimum). Asumsikan bahwa frame ACK ukurannya diabaikan dan proses pada simpul-simpul terjadi secara instant.
- 7.6. Apakah anda mengharapkan bahwa pencantuman bit paritas dengan masing masing karakter mengubah probabilitas penerimaan pesan secara benar?
- 7.7. Apa kelebihan penggunaan modula 2 aritmetik dibandingkan biner aritmetik dalam penghitungan FCS?
- 7.8. Amati sebuah frame yang terdiri dari dua karakter dengan masing-masing sebesar empat bit. Asumsikan probabilitas bit kesalahan sebesar 10^{-3} dan bahwa probabilitas tersebut bebas untuk setiap bit.
- a. Berapa probabilitas yang menyatakan bahwa frame-frame yang diterima berisikan sedikitnya satu kesalahan?
 - b. sekarang tambahkan sebuah bit paritas untuk masing-masing karakter, Berapa probabilitasnya?
- 7.9. Dengan menggunakan polynomial CRC-CCITT, gunakan kode CRC 16-bit untuk suatu pesan yang memuat 1 diikuti dengan 15 nol.
- a. gunakan bagian yang panjang.
 - b. gunakan mekanisme register-penggeser seperti yang ditunjukkan dalam gambar 7.6.

- 7.10. Jelaskan dengan kata-kata mengapa implementasi register-penggeser CRC akan menghasilkan semua 0 pada receiver bila tidak terdapat kesalahan samasekali. Tunjukkan dengan contoh.
untuk $P=110011$ dan $M = 11100011$, temukan CRC.
- 7.11. sebuah CRC disusun untuk membangkitkan FCS 4-bit untuk sebuah pesan 11 bit Polynomial pembangkitnya adalah X^4+X^3+1
- Gambarkan rangkaian register-penggeser yang menampilkan fungsi ini (lihat gambar 7.6)
 - Tuliskan kode deretan bit data 10011011100 (bit paling kiri paling tidak signifikan) menggunakan pembangkit polynomial dan berikankata kodenya.
 - Sekarang asumsikan bahwa bit 7 (dihitung dari LSB) dalam kata kode mengalami kesalahan dan tunjukkan bahwa algoritma pendeteksian mendeteksi adanya kesalahan.
- 7.12. Prosedur CRC yang sudah dimodifikasi biasanya dipergunakan dalam standar-standar komunikasi. Ini ditentukan sebagai berikut:
- Gambarkan dengan kata-kata efek prosedur seperti ini.
 - Jelaskan keuntungannya yang potensial.
 - Tunjukkan implementasi register-penggeser untuk $P(X)=X^{16}+X^{12}+X^5+1$
- 7.13. Tidak disebutkan mengenai penolakan (REJ) frame dalam pembahasan stop and-wait ARQ. Mengapa tidak diperlukan REJ0 dan REJ1 untuk stop-and-wait ARQ?
- 7.14. Anggap digunakan selective-reject ARQ, dimana $N=4$. Tunjukkan, melalui contoh, bahwa suatu nomor urut 3-bit diperlukan.
- 7.15. Dengan menggunakan asumsi yang sama seperti dalam Gambar 7.17 lampiran 7A. penggunaan plot line sebagai fungsi P , probabilitasnya sebuah frame tunggal mengalami kesalahan untuk teknik-teknik control kesalahan berikut ini.
- stop-and-wait
 - Go-back-N dengan $N=7$
 - Go-back-N dengan $N=127$
 - Selective reject dengan $N=7$
 - Selective reject dengan $N=127$
- Semuanya diikuti dengan nilai-nilai a : 0.1, 1, 10, 100. Gambarkan kesimpulannya dimana tekniknya sesuai untuk range a .
- 7.16. Dua simpul yang berdekatan (A dan B) menggunakan protocol jendela pergeseran dengan nomor urut 3-bit. Sebagaimana mekanisme ARQ. Dipergunakan go-back-N dengan ukuran jendela sebesar 4. Asumsikan A yang melakukan transmisi dan B yang menerima, tunjukkan posisi jendela hal-hal berikut ini:

- a. sebelum A mengirim frame-frame
 - b. sebelum A mengirim frame 0,1,2 dan B membalas 0,1 dan ACK diterima oleh A.
 - c. setelah A mengirim frame 3,4 dan 5, dan B membalas 4 kemudian ACK diterima oleh A.
- 7.17. Balasan out-of- sequence tidak dapat dipergunakan untuk selective-reject ARQ. Maksudnya, bila frame 1 ditolak oleh station X, semua subbagian 1 frame dan frame RR yang dikirim oleh X harus memiliki $N(R) = I$ sampai frame I diterima dengan baik, bahkan bila frame-frame yang lain dengan $N(R) > I$ bias diterima dengan baik dalam waktu yang ditentukan. Salah satu perbaikannya yang mungkin adalah sebagai berikut. $N(R) = j$ dalam I-frame atau frame RR diterjemahkan bahwa frame $j - 1$ dan semua frame sebelumnya diterima kecuali untuk frame-frame yang secara eksplisit ditolak dengan menggunakan frame SREJ. Beri ulasan mengenai kekurangan-kekurangan skema ini.
- 7.18. Standar ISO untuk prosedur HDLC (ISO 43335) meliputi defines-definisi berikut. (1) kondisi REJ dianggap terhapus dengan diterimanya I-frame yang datang dengan $N(S)$ setara terhadap $N(R)$ dari frame SREJ. Standar tersebut mencakup aturan – aturan yang berkaitan dengan hubungan antara frame REJ dan SREJ. Aturan-aturan tersebut menunjukkan apa-apa yang diperbolehkan (dalam hal penransmisian frame REJ dan SREJ) bila kondisi REJ belum dihapus dan apa pula yang diperbolehkan bila kondisi SREJ belum dihapus. Buat kesimpulan dari aturan- aturan tersebut dan pertegas jawaban anda.
- 7.19. Dua station melakukan komunikasi melalui jalur satelit 1 Mbps dengan penundaan perambatan sebesar 270ms. Satelit tersebut hanya melakukan transmisi ulang untuk data yang diterima dari satu station ke station yang lain, dengan waktu penundaan yang sedikit. Dengan menggunakan frame HDLC sebesar 1024 bit dengan nomor urut 3-bit, berapa maksimum data yang memungkinkan; maksudnya, what is the through put of data bits carried in HDLC frames?
- 7.20. Sudah jelas bahwa bit isi diperlukan untuk bidang alamat, data dan FCS pada frame HDLC. Apakah bit isi juga diperlukan untuk bidang control?
- 7.21. Beri saran untuk peningkatan algoritma bit-isi untuk mengatasi problem kesalahan bit tunggal.
- 7.22. Dengan menggunakan deretan bit dari gambar 7.11, tunjukkan pola sinyal pada garis dengan menggunakan pengkodean NRZ-L. Apakah saran tersebut merupakan kelebihan bit isi?
- 7.23. Asumsikan bahwa station primer HDLC dalam NRM mengirim enam I frame ke station sekunder. Penghitungan station primer $N(S)$ adalah tiga (biner 011) berkaitan dengan pengiriman enam frame. Bila poll not berada pada frame

keenam, apa yang akan menjadi perhitungan $N(R)$ lagi dari station sekunder setelah frame terakhir asumsikan operasi ini bebas-kesalahan.

- 7.24. Amati, beberapa jalur fisik menghubungkan dua station. Kita akan menggunakan multi-link HDLC yang menjadikan penggunaan jalur-jalur ini menjadi efisien dengan cara mengirim frame-frame pada basis FIFO pada jalur berikutnya. Perbaikan apa lagi yang diperlukan untuk HDLC?
- 7.25. Server World Wide Web biasanya menerima pesan-pesan yang relatif kecil dari klien-kliennya, namun mentransmisikan pesan dalam jumlah besar kepada klien. Jelaskan, tipe protocol ARQ yang mana (selective-reject, Go-back-N) yang mampu menyediakan keleluasaan, utamanya bagi server WWW yang populer.

LAMPIRAN 7 A KINERJA

Dalam lampiran ini, kita mengamati beberapa kinerja yang berkaitan dengan penggunaan control arus jendela penggeseran.

Flow Control Stop-and-Wait

Mari kita menentukan efisiensi maksimum dari jalur ujung-ke-ujung half-duplex dengan menggunakan skema stop-and-wait seperti yang digambarkan di bagian 7.1. Anggap saja bahwa sebuah pesan yang panjang telah dikirim sebagai deretan frame $F_1, F_2, \dots, F_n$ dalam model-model berikut:

- ☐ Station S_1 mengirim F_1
- ☐ Station S_2 mengirim suatu balasan
- ☐ Station S_1 mengirim F_2
- ☐ Station S_2 mengirim suatu balasan
- ☐ Station S_1 mengirim F_n
- ☐ Station S_2 mengirim suatu balasan

Total waktu yang dibutuhkan untuk mengirim data, T , dinyatakan sebagai $T = nT_F$, dimana T_F adalah waktu untuk mengirim satu frame dan menerima balasan. Kita dapat menyatakan T_F sebagai berikut:

$$T_F = t_{\text{prop}} + t_{\text{frame}} + t_{\text{proc}} + t_{\text{prop}} + t_{\text{ack}} + t_{\text{proc}}$$

Dimana,

- t_{prop} = waktu perambatan dari S_1 ke S_2
- t_{frame} = waktu untuk mentransmisikan sebuah frame (waktu bagi transmitter untuk mengirim seluruh bit dalam frame)
- t_{proc} = waktu pemrosesan pada masing-masing stasiun untuk bereaksi terhadap kedatangan
- t_{ack} = waktu untuk mentransmisikan suatu balasan

Kita asumsikan bahwa waktu pemrosesan relative dapat diabaikan, dan frame balasan terlalu kecil bila dibandingkan dengan frame data, keduanya merupakan asumsi yang cukup beralasan. Maka kita dapat menyatakan total waktu yang dibutuhkan untuk mengirim data sebagai

$$T = n(2t_{prop} + t_{frame}) \quad (7.1)$$

Dari waktu tersebut, hanya $n \times t_{frame}$ yang benar-benar dihabiskan untuk mentransmisikan data dan sisanya merupakan overhead. Penggunaan, atau efisiensi, dari jalur tersebut adalah

$$\mu = \frac{n \times T_{frame}}{n(2t_{prop} + t_{frame})} = \frac{T_{frame}}{2t_{prop} + t_{frame}} \quad (7.2)$$

Akan berguna untuk menetapkan parameter $a = t_{prop} / t_{frame}$ (lihat gambar 7.2), Maka

$$u = \frac{1 - P}{1 + 2a} \quad (7.3)$$

Ini merupakan penggunaan jalur yang maksimum. Karena frame berisikan overhead bit, penggunaan sebenarnya jadi lebih rendah. Parameter a menjadi konstan bila t_{prop} dan t_{frame} juga konstan, yang biasanya merupakan kasus khusus: frame-frame dengan panjang tertentu sering dipergunakan untuk seluruh frame kecuali frame urutan terakhir, sedangkan penundaan perambatan konstan untuk jalur ujung-ke-ujung.

Agar mendapat kejelasan dari persamaan (7.2), kita peroleh pernyataan yang berbeda untuk a , yakni

$$a = \frac{\text{propagation time}}{\text{transmission time}}$$

Waktu perambatan setara terhadap jarak d dari jalur yang dibagi dengan kecepatan perambatan V . Untuk transmisi unguided melalui udara atau angkasa, V adalah kecepatan cahaya kira-kira 3×10^8 m/s. Sedangkan untuk transmisi guided, V kira-kira 0,67 kali kecepatan cahaya untuk serat optik dan media dari tembaga. Waktu transmisi setara terhadap panjang frame dalam bit, L , dibagi dengan data rate R . Jadi,

$$a = \frac{d/V}{L/R} = \frac{Rd}{VL}$$

Sehingga, untuk frame dengan panjang tertentu, a sebanding dengan rate data kali panjang media. Cara yang baik untuk melihat a adalah tampilan panjang media dalam bit ($R \times \frac{d}{V}$) dibandingkan dengan panjang frame (L).

Dengan penafsiran seperti ini, gambar 7.2 mengilustrasikan persamaan (7.2). Dalam gambar ini, waktu transmisi dinormalkan ke 1 dan waktu perambatan, melalui persamaan (7.3) adalah a . Dalam hal $a < 1$, panjang bit jalur kurang dari panjang frame. Station T mulai mentransmisikan frame pada waktu t_0 . Pada $t_0 + a$, ujung frame yang mengawali mencapai stasiun penerima R, sementara T sendiri masih dalam proses pentransmisian frame. Pada $t_0 + 1$, T melengkapi transmisi. Pada $t_0 + 1 + a$, R telah menerima seluruh frame dan segera mentransmisikan frame balasan kecil. Balasan ini tiba kembali di T pada $t_0 + 1 + 2a$. total waktu yang dilewati: $1 + 2a$. total waktu transmisi: 1. Penggunaannya $1/(1 + 2a)$. Hasil yang sama diperoleh dengan $a > 1$, sebagaimana yang ditunjukkan dalam gambar 7.2.

Kita beralih ke beberapa contoh kecil. Pertama, anggap saja Wide Area Network (WAN) menggunakan ATM (Asynchronous transfer mode, digambarkan di Bab Tiga), dengan dua stasiun yang terpisah ribuan kilometer. Ukuran frame ATM standar sebesar 424 bit dan salah satu rate data yang distandarkan sebesar 155,52 Mbps. Jadi, waktu transmisi setara dengan $424/(155,52 \times 10^6) = 2,7 \times 10^{-6}$ detik. Bila kita mengasumsikan sebuah jalur serat optic, maka waktu perambatannya adalah $(10^6 \text{ meter}) / (2 \times 10^8 \text{ m/s}) = 0,5 \times 10^{-2}$ detik. Jadi, $a = (0,5 \times 10^{-2}) / (2,7 \times 10^{-6}) = 1850$, dan tingkat efisiensinya hanya $1/3701 = 0,00027$.

Kebalikannya yang lain, dalam hal jarak, adalah Local Area Network (LAN). Kisaran jarak dari 0,1 sampai 10 km, dengan rate data sebesar 10 Mbps sampai 1 Gbps; rate data yang lebih tinggi cenderung diasosiasikan dengan jarak yang lebih pendek. Dengan menggunakan nilai $v = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$, ukuran frame sebesar 1000 bit, dan rate data sebesar 10 Mbps, nilai a berada dalam kisaran 0,005 sampai 0,5. Ini menyebabkan penggunaan kisaran 0,5 sampai 0,99. Untuk LAN sebesar 100 Mbps, jarak tertentu yang lebih pendek, dimungkinkan penggunaannya yang sebanding.

Dapat kita lihat betapa LAN benar-benar efisien, sedangkan WAN yang berkecepatan tinggi tidak. Sebagai contoh terakhir, kita amati transmisi data digital melalui modem. Bahkan dalam jarak yang panjang, misalnya $d = 5000 \text{ nm}$ juta dapatkan $a = (56.000 \times 5 \times 10^6) / (2 \times 10^8 \times 1000 \text{ bit}) = 1,4$ dan tingkat efisiensinya sama dengan 0,26.

Flow Control jendela Penggeseran Bebas-Kesalahan

Untuk kontrol arus, laju penyelesaian untuk jalur tergantung pada ukuran jendela W dan nilai a . Untuk lebih jelasnya kita normalkan lagi waktu transmisi frame

dengan nilai 1: sehingga, waktu perambatannya adalah a . Gambar 7.15 mengilustrasikan tingkat efisiensi jalu ujung-ke-ujung full-duplex.³⁾ Station A memancarkan dereta frame pada waktu $t=0$. Ujung frame pertama yang mengawali mencapai stasiun B pada $t = a$. Frame pertama diserap seluruhnya oleh $t=a+1$. Dengan mengabaikan waktu pemrosesan, B dapat segera membalas frame pertama (ACK). Diasumsikan pula bahwa frame balasan ini begitu kecil sehingga waktu transmisi diabaikan juga kemudian ACK mencapai A pada $t=2a+1$. Untuk mengevaluasi kinerja, kita perlu mempertimbangkan dua kasus ini:

- Kasus 1: $W \geq 2a + 1$. Balasan untuk frame 1 mencapai A sebelum A menyelesaikan jendelanya. Sehingga, A dapat terus melakukan transmisi tanpa sekalipun berhenti laju penyelesaian normalnya adalah 1,0.
- Kasus 2: $W < 2a + 1$. A menyelesaikan jendelnya pada $t= W$ dan tidak dapat mengirim frame-frame tambahan sampai $t=2a+1$. Sehingga, laju penyelesaian normalnya adalah satuan waktu W diluar periode unit waktu $(2a+1)$

Karenanya kita dapat menyatakan penggunaannya sebagai

$$U = \begin{cases} 1 & W \geq 2a + 1 \\ \frac{W}{2a + 1} & W < 2a + 1 \end{cases} \quad (7.4)$$

Biasanya, nomor urut disediakan untuk bidang n -bit dan ukuran jendelanya adalah $W = 2^n - 1$ (bukan 2^n ; mengenai ini dijelaskan dalam bagian 7.3) Gambar 7.16 menunjukkan penggunaan maksimum yang bisa dicapai untuk jendela berukuran 1,7, dan 127 sebagai fungsi a . Ukuran jendela sebesar 1 berhubungan dengan stop-and-wait. Ukuran jendela sebesar 127(7bit) sesuai untuk nilai a yang lebih besar, seperti yang bias ditemui dalam WAN berkecepatan tinggi.

ARQ

Kita sudah melihat bahwa control arus jendela pergeseran lebih efisien dibanding kontrol arus stop-and-wait. Kita harapkan bahwa bila fungsi kontrol kesalahan ditambahkan, tetap saja go-back-N dan selective-reject ARQ masih lebih efisien stop-and-wait ARQ. Kita kembangkan beberapa perkiraan untuk menentukan derajat peningkatan yang diharapkan.

Pertama, amatai stop-and-wait ARQ. Dengan tanpa kesalahan, penggunaan maksimumnya adalah $1/(1+2a)$ seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (7.2) kita ingin menghitung kemungkinan beberapa frame mengalami pengulangan karena adanya kesalahan bit. Untuk mengawalinya, perlu dicatat bahwa penggunaan U bias ditetapkan sebagai

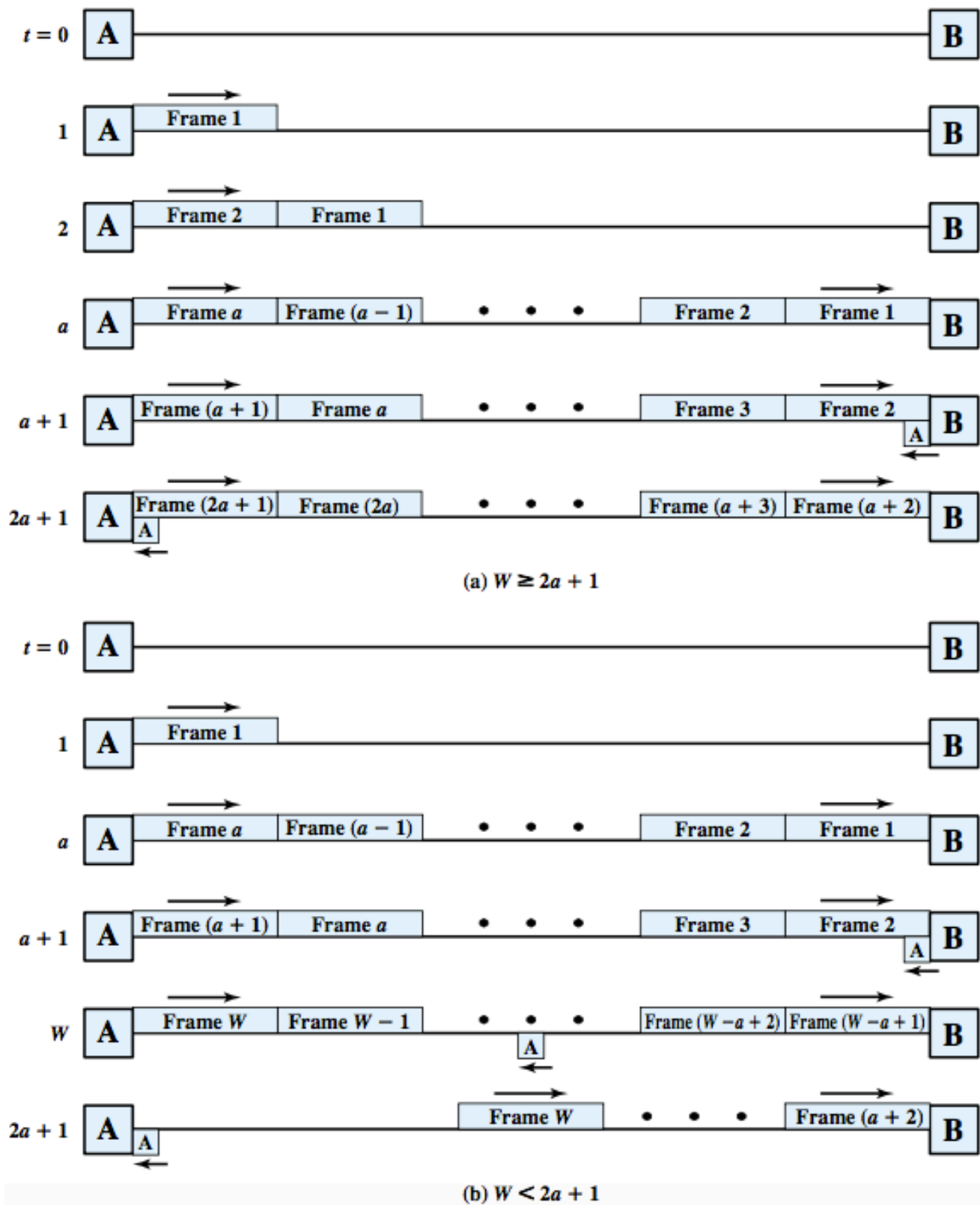
$$u = \frac{Tf}{Tt} \quad (7.5)$$

Dimana

T_f =waktu bagi transmitter untuk memancarkan frame tunggal

T_t =total waktu dimana jalur dipergunakan untuk mentransmisikan frame tunggal

Untuk operasi bebas-kesalahan menggunakan stop-and-wait ARQ,



Gambar 7.15 Perwaktuan untuk Protocol Jendela Penggeseran Frame

$$U = \frac{T_f}{T_f + 2T_p}$$

dimana T adalah waktu perambatan. Dipisahkan oleh T_f dan mengingat bahwa $a = T_p/T_f$, kita peroleh lagi persamaan (7.2). Bila terjadi kesalahan, kita mengubah persamaan (7.5) menjadi

$$U = \frac{T_f}{N_r T_f}$$

dimana N_r adalah jumlah transmisi frame yang diharapkan, jadi, untuk stop-and-wait ARQ, kita peroleh

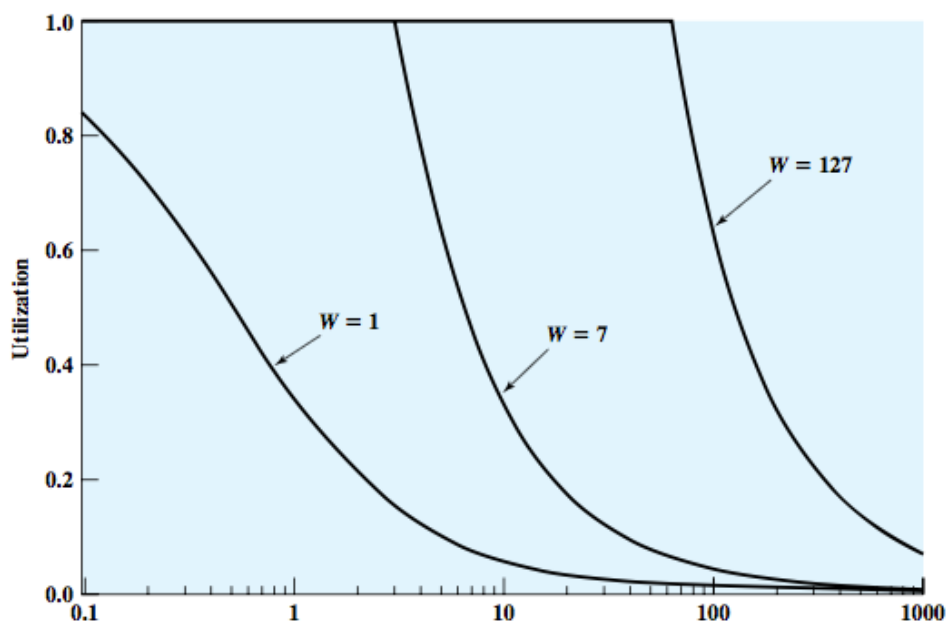
$$U = \frac{1}{N_r(1 + 2a)}$$

dimana N_r adalah jumlah transmisi frame yang diharapkan, jadi, untuk stop-and-wait ARQ, kita peroleh pernyataan sederhana untuk N_r , bisa diperoleh dengan mempertimbangkan probabilitas P yang menyatakan bahwa frame tunggal mengalami kesalahan. Bila kita mengasumsikan bahwa ACK dan NAK tidak pernah mengalami kesalahan, probabilitasnya adalah k akan berupaya mentransmisikan frame sebaik-baiknya bila $P^{k-1}(1 - P)$. maksudnya, kita telah berupaya namun tidak berhasil $(k - 1)$ kemudian kita berupaya lagi dan berhasil; dan probabilitas dari kejadian ini hanya merupakan akibat dari probabilitas kejadian yang muncul terpisah maka⁴⁾

$$N_r = E[\text{transmissions}] = \sum_{i=1}^{\infty} (i \times \Pr[i \text{ transmissions}]) = \sum_{i=1}^{\infty} (i P^{i-1} (1 - P)) = \frac{1}{1 - P}$$

*Diperoleh dari persamaan $\sum_{i=1}^{\infty} (i X^{i-1}) = \frac{1}{(1 - X)^2}$ for $(-1 < X < 1)$.

*Diperoleh dari persamaan $\sum_{i=0}^{\infty} X^i = \frac{1}{1 - X}$ for $(-1 < X < 1)$



Gambar 7.16

sehingga kita dapatkan

$$\text{Stop-and-Wait : } u = \frac{1-P}{1+2a}$$

Untuk protocol jendela pergeseran, persamaan (7.4) diterapkan untuk operasi bebas-kesalahan. Sedangkan untuk selective-reject ARQ, kita dapat menggunakan alasan yang sama seperti yang diterapkan untuk stop-and-wait ARQ. Maksudnya, persamaan-persamaan bebas-kesalahan harus dibagi dengan $N_r = 1/(1 - P)$, jadi,

$$\text{Selective Reject: } U = \begin{cases} \frac{1-P}{1+2a} & W \geq 2a+1 \\ \frac{W(1-P)}{2a+1} & W < 2a+1 \end{cases}$$

Alasan yang sama diterapkan untuk go-back-N ARQ, namun kita harus lebih hati-hati dalam memperkirakan N_r . Setiap kesalahan menimbulkan syarat-syarat tertentu untuk bias melakukan transmisi ulang frame k dibandingkan untuk transmisi ulang satu frame saja. Sehingga

$N_r = E[\text{jumlah frame-frame yang ditransmisikan agar berhasil mentransmisikan satu frame}]$

$$= \sum_{i=1}^{\infty} f(i) P^{i-1} (1-P)$$

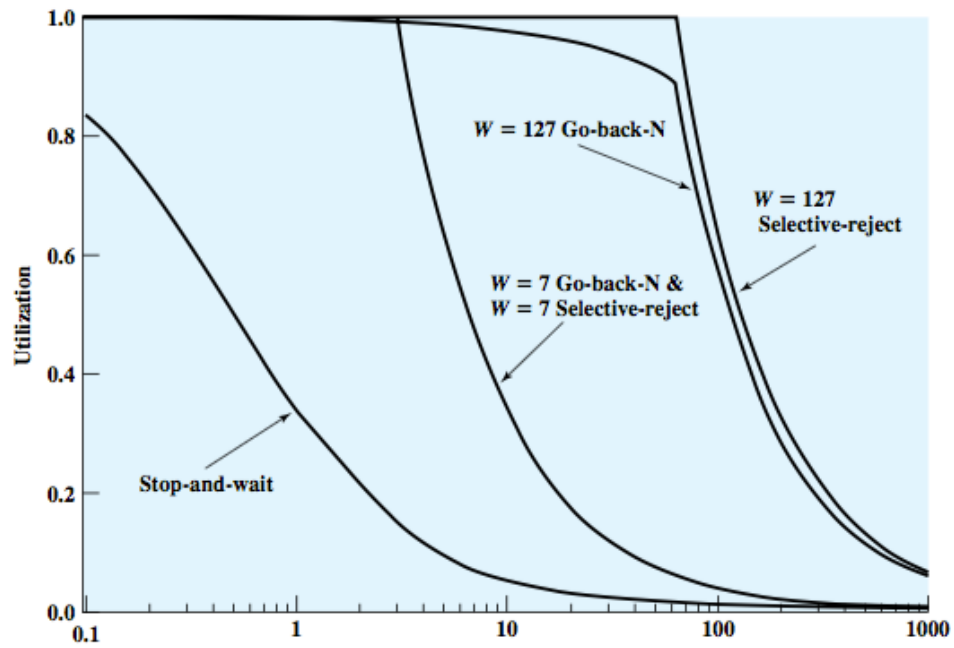
dimana $f(i)$ adalah total jumlah frame yang ditransmisikan bila frame yang asli harus ditransmisikan 1 kali. Hal ini bias dinyatakan dengan

$$\begin{aligned} N_r &= (1-K) \sum_{i=1}^{\infty} P^{i-1} (1-P) + K \sum_{i=1}^{\infty} i P^{i-1} (1-P) \\ &= 1 - K + \frac{K}{1-P} \\ &= \frac{1-P + KP}{1-P} \end{aligned}$$

Dengan mempelajari gambar 7.15, pembaca bias menyimpulkan bahwa K kira-kira setara dengan $(2a+1)$ untuk $W \geq (2a+1)$, dan $K = W$ untuk $W < (2a+1)$. Jadi,

$$\text{Go-back-N: } U = \begin{cases} \frac{1-P}{1+2aP} & W \geq 2a+1 \\ \frac{W(1-P)}{(2a+1)(1-P+WP)} & W < 2a+1 \end{cases}$$

Perlu dicatat bahwa untuk $W = 1$, baik selective-reject maupun go-back-N ARQ menurunkan stop-and-wait. Gambar 7.16⁶⁾ membandingkan ketiga teknik kontrol kesalahan saja. Sebagai contoh, kita lebih mengabaikan kesalahan dalam frame-frame balasan dan, dalam kasus go-back-N, kesalahan yang terjadi pada frame yang diretransmisi lainnya, dibandingkan frame yang mengalami kesalahan sejak awal. Bagaimanapun juga, hasilnya bias menunjukkan kinerja relative dari ketiga teknik tersebut



Gambar 7.17 Penggunaan ARO sebagai fungsi a ($P=10^{-3}$)