

Komunikasi Data

Untuk Kalangan Sendiri

Mifta Nur Farid

Januari 2021

Daftar Isi

1	Pengantar Komunikasi Data	1
2	Arsitektur Protokol	3
3	Data Transmisi	5
3.1	Konsep dan Terminologi	5
3.2	Transmisi Data Analog dan Digital	5
3.3	Gangguan Transmisi	5
3.4	Kapasitas Kanal	5
3.4.1	Nyquist Bandwidth	6
3.4.2	Shannon Capacity Formula	6
4	Media Transmisi	11
4.1	Media Transmisi Terpandu/ Guided Transmission Media	12
4.1.1	Twisted-pair	14
4.2	Transmisi Nirkabel	14
4.3	Propagasi Nirkabel	14
4.4	Transmisi Line-of-sight	14
5	Error Detection and Correction	15
5.1	Asynchronous dan Synchronous Transmission	15
5.2	Frequency-Division Multiplexing	15
5.3	Synchronous Time-Division Multiplexing	15
5.4	Cable Modem	15

5.5	Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)	15
5.6	xDSL	15
6	Data Link Control Protocol	17
6.1	Key Points	17
6.2	Pengantar	17
6.3	Flow Control	18
6.3.1	Stop-and-Wait Flow Control	19
6.4	Error Control	22
6.5	High-Level Data Link Control (HDLC)	22
7	Multiplexing	23
7.1	Frequency-Division Multiplexing	23
7.2	Synchronous Time-Division Multiplexing	23
7.3	Cable Modem	23
7.4	Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)	23
7.5	xDSL	23

Bab 1

Pengantar Komunikasi Data

Bab 2

Arsitektur Protokol

Bab 3

Data Transmisi

3.1 Konsep dan Terminologi

3.2 Transmisi Data Analog dan Digital

3.3 Gangguan Transmisi

3.4 Kapasitas Kanal

Kita sudah mempelajari bahwa terdapat berbagai jenis gangguan (impairment) yang dapat merusak sinyal. Sejauh mana gangguan tersebut dapat membatasi data rate pada data digital. Data rate maksimum yang dapat dicapai disebut kapasitas kanal (channel capacity).

Terdapat empat konsep yang perlu dipahami:

1. Data Rate: Laju dimana data dapat dikomunikasikan dengan satuan bps atau bits per second.
2. Bandwidth: Bandwidth dari sinyal yang ditransmisikan yang dibatasi oleh transmitter atau sifat media transmisinya
3. Noise: Level rata-rata dari noise sepanjang jalur transmisi
4. Error rate: Rate dimana error dapat terjadi. Error di sini adalah ketika yang diterima adalah 1 sedangkan yang dikirimkan adalah 0 atau sebaliknya

Permasalahan yang dialami adalah semakin besar bandwidth maka semakin besar ongkosnya. Sehingga semua kanal transmisi memiliki bandwidth yang terbatas. Batasan ini disebabkan oleh sifat-sifat fisis dari media transmisinya atau dari transmitter-nya untuk menghindari terjadinya interferensi dari sumber lain. Berdasarkan hal ini maka sepatutnya kita memakai bandwidth seefisien mungkin. Jika di dalam data digital maka kita akan

memakai data rate sebesar mungkin pada batas error rate dari bandwidth yang tersedia. Kemudian kendala terbesar untuk mencapai efisiensi ini adalah noise.

3.4.1 Nyquist Bandwidth

Pertama, anggaplah ada sebuah kanal transmisi yang bebas dari noise. Pada kondisi seperti ini, keterbatasan dari data rate adalah bandwidth dari sinyal itu sendiri. Berdasarkan Nyquist, persamaan dari keterbatasan ini adalah sebagai berikut. Jika laju transmisi sinyal adalah $2B$, maka sinyal dengan frekuensi tidak lebih besar dari B sudah cukup untuk membawa laju sinyal. Begitu juga sebaliknya, jika diketahui bandwidth sebesar B , maka laju sinyal tertinggi yang dapat dibawa adalah $2B$.

Jika sinyal yang akan ditransmisikan adalah biner (2 level tegangan), maka data rate yang dapat didukung oleh B Hz adalah $2B$ bps. Misalkan, jika menggunakan empat level tegangan maka setiap elemen sinyal dapat direpresentasikan sebagai 2 bits. Dengan multilevel signaling, persamaan Nyquist menjadi

$$C = 2B \log_2 M \quad (3.1)$$

Dimana M adalah banyaknya sinyal diskret atau level tegangan.

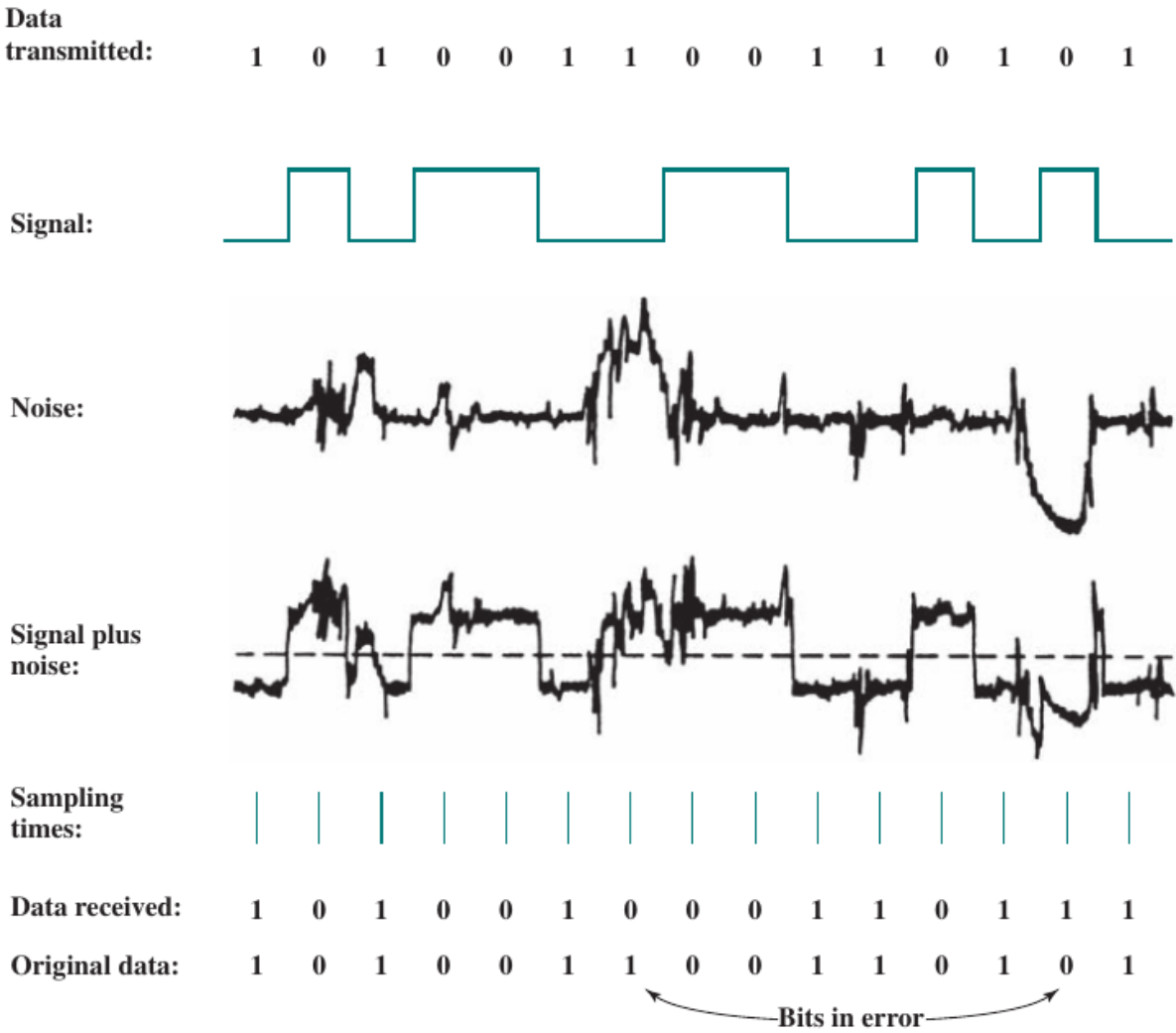
Dari Persamaan (3.1) dapat kita simpulkan bahwa data rate dapat ditingkatkan dengan meningkatkan jumlah perbedaan dari elemen sinyalnya / banyaknya level tegangannya. Namun dengan meningkatkan elemen sinyal maka akan membuat beban dari receiver juga meningkat.

Misal, diketahui bahwa data digital akan ditransmisikan menggunakan modem. Bandwidth yang digunakan adalah 3100 Hz. Maka Nyquist capacity (C) dari kanalnya adalah $2B = 6200$ bps. Jika $M = 8$, maka C menjadi 18.600 bps dengan bandwidth sebesar 3100 Hz.

3.4.2 Shannon Capacity Formula

Berdasarkan persamaan Nyquist sebelumnya, kita mengetahui bahwa dengan meningkatkan bandwidth sebesar 2 kalinya maka data rate juga akan meningkat sebesar 2 kalinya. Sekarang asumsikan bahwa terdapat noise dan error rate. Dengan adanya noise maka 1 atau lebih bits akan rusak. Jika data rate meningkat maka bits semakin pendek. Akibatnya akan lebih banyak bits yang akan dipengaruhi oleh pattern/pola dari noise tersebut seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.1.

Jika data rate ditingkatkan maka lebih banyak bits yang akan terjadi selama interval noise spike-nya, sehingga lebih banyak error yang terjadi. Untuk level noise tertentu, dengan kekuatan sinyal yang lebih besar dapat meningkatkan kemampuan untuk menerima data dengan benar meskipun ada noise. Parameter yang menyatakan hal ini adalah **signal-to-noise-ratio** (SNR) yaitu rasio dari daya sinyal terhadap daya dari noise. Biasanya SNR diukur di receiver dan dalam bentuk desibel



Gambar 3.1: Akibat dari Noise terhadap Sinyal Digital

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \frac{\text{signal power}}{\text{noise power}} \quad (3.2)$$

Semakin tinggi nilai SNR maka semakin tinggi kualitas sinyal dan semakin sedikit repeater yang dibutuhkan.

SNR sangat penting dalam transmisi data digital karena SNR yang menentukan batas atas dari data rate yang dapat dicapai. Shannon menyatakan bahwa kapasitas kanal maksimum, dalam bits per second (bps), adalah

$$C = B \log_2(1 + \text{SNR}) \quad (3.3)$$

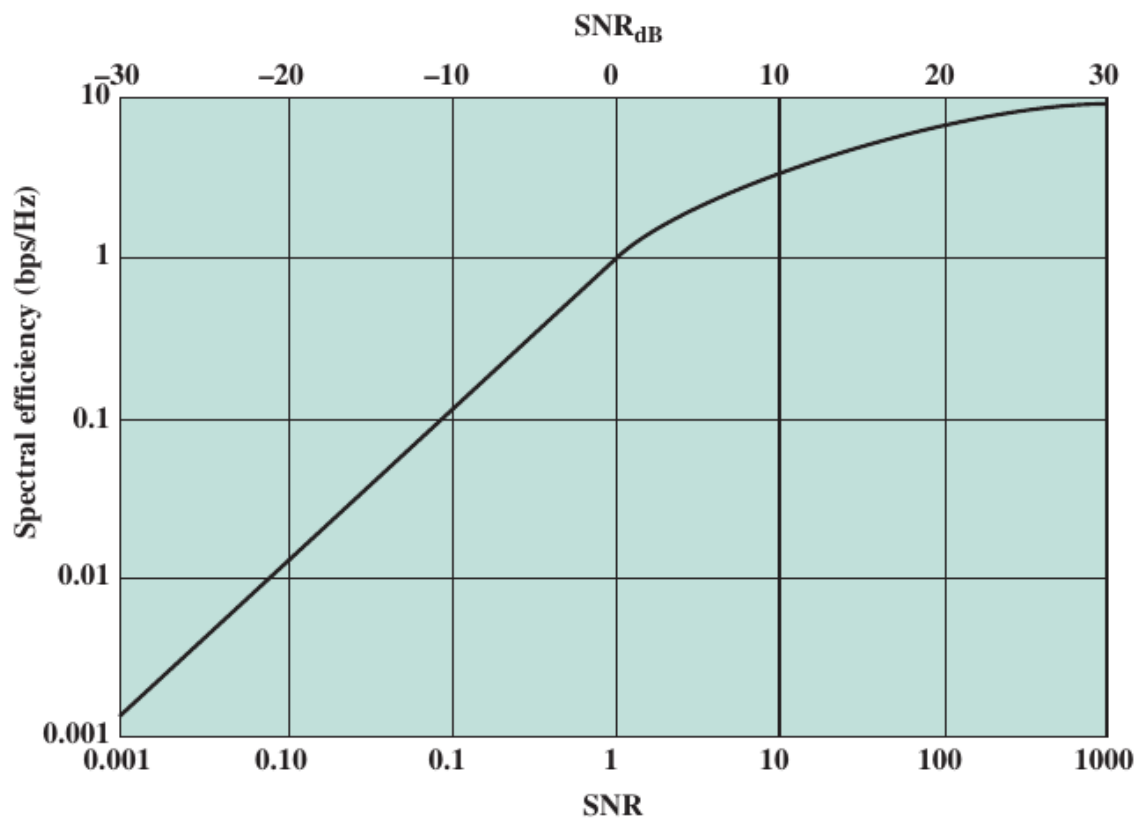
Dimana C adalah kapasitas kanal dalam bits per second (bps) dan B adalah bandwidth kanal dalam hertz (Hz). Persamaan (3.3) hanya menyatakan maksimum data rate yang dapat dicapai secara teoritis, sedangkan pada penerapannya/prakteknya data rate yang dapat dicapai lebih kecil dari nilai tersebut. Hal tersebut dikarenakan pada Persamaan 3.3 mengasumsikan noise yang terjadi adalah white noise atau thermal noise dan tidak memperhatikan impulse noise maupun attenuation distortion maupun delay distortion.

Nilai kapasitas yang ditunjukkan dari hasil Persamaan (3.3) adalah **error free capacity**. Shannon menunjukkan bahwa jika data rate dari informasi di kanal kurang dari **error free capacity** maka secara teoritis memungkinkan untuk menggunakan kode sinyal yang sesuai untuk mendapatkan transmisi bebas error (error-free transmission) melalui kanal tersebut.

Spectral efficiency atau **bandwidth efficiency** dari transmisi digital adalah jumlah bits per second dari data yang dapat didukung oleh setiap 1 Hz bandwidth. Spectral efficiency dapat dihitung dengan menurunkan Persamaan (3.3)

$$\text{Spectral efficiency} = \frac{C}{B} = \log_2(1 + \text{SNR}) \quad (3.4)$$

Gambar 3.2 menunjukkan hasil log/log scale dari Persamaan (3.4).



Gambar 3.2: Grafik spectral efficiency terhadap SNR

Bab 4

Media Transmisi

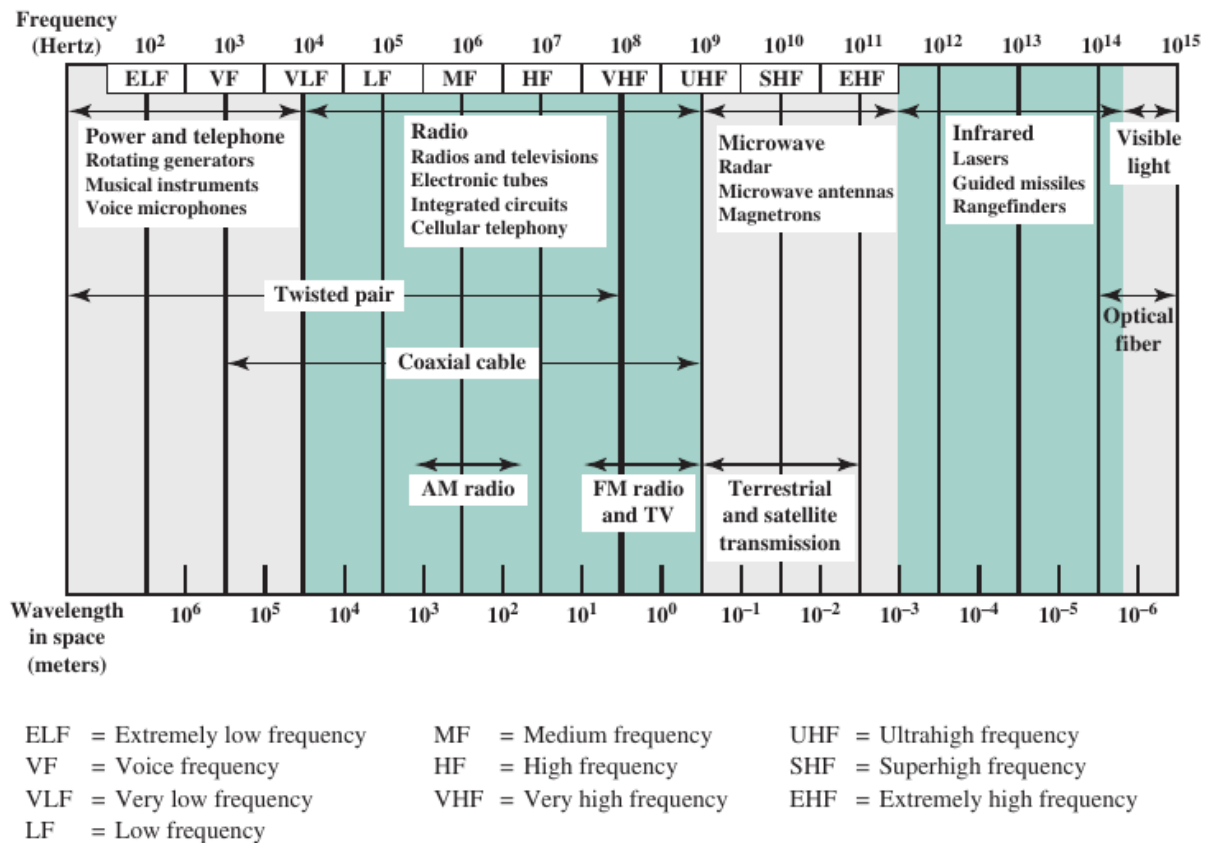
Media transmisi adalah jalur fisik antara transmitter dan receiver di sistem transmisi data. Pada bab sebelumnya telah dijelaskan bahwa gelombang elektromagnetik dipandu sepanjang media solid di media terpandu (**guided media**). Contohnya seperti copper twisted pair, copper coaxial cable dan fiber optik. Sedangkan transmisi nirkabel terjadi melalui atmosfer, luar angkasa atau air di media tak terpandu (**unguided media**)

Karakteristik dan kualitas dari transmisi data ditentukan oleh katakteristik medium dan karakteristik sinyalnya. Pada media terpandu, medium itu sendiri merupakan hal terpenting yang dapat menentukan batasan transmisi. Pada media tak terpandu, bandwidth dari sinyal yang dihasilkan oleh antena transmisi lebih penting dari pada medium dalam penentuan karakteristik transmisi.

Salah satu sifat sinyal yang ditransmisikan melalui antena adalah directionality. Secara umum, sinyal pada frekuensi lebih rendah adalah omni-directional artinya sinyal berpropagasi ke segala arah. Sedangkan pada frekuensi lebih tinggi, sinyal dapat difokuskan menjadi directional beam.

Data rate dan jarak menjadi salah satu pertimbangan dalam desain sistem transmisi data. Tujuannya adalah dicapainya data rate yang tinggi dan jarak jangkauannya yang jauh. Beberapa faktor dari media transmisi dan sinyal yang menentukan data rate dan jarak jangkauannya adalah sebagai berikut

- **Bandwidth:** Semakin besar bandwidth sinyalnya maka semakin besar data rate yang dapat dicapai.
- **Transmission impairment/ kerusakan transmisi:** Impairments seperti atenuasi dapat membatasi jarak. Pada media terpandu, twisted pair umumnya lebih rentan terhadap impairment daripada coaxial cable dan coaxial cable lebih rentan terhadap impairment daripada fiber optic.
- **Interference:** Interference dari sinyal lain pada overlapping frequency band dapat mendistorsi atau meng-cancel out sinyal tersebut. Umumnya interference terjadi di media tak terpandu, tapi juga terkadang di media terpandu. Pada media terpandu, interference dapat disebabkan alien crosstalk (antar kabel) maupun internal crosstalk (antar konduktor dalam satu cable sheath). Sedangkan pada media tak



Gambar 4.1: Spektrum gelombang elektromagnetik dari telekomunikasi

terpandu, interference disebabkan oleh electromagnetic coupling. Untuk meminimalkan interference pada media terpandu, gunakan shield yang baik.

- **Jumlah receiver:** Media terpandu dapat digunakan untuk membangun transmisi point-to-point link atau shared link dengan banyak attachment. Setiap attachment ini yang akan memberikan atenuasi maupun distorsi, batasan jarak dan/atau data rate.

Gambar 4.1 menunjukkan grafik spektrum gelombang elektromagnetik dimana setiap media transmisi, baik media terpandu maupun tak terpandu, beroperasi.

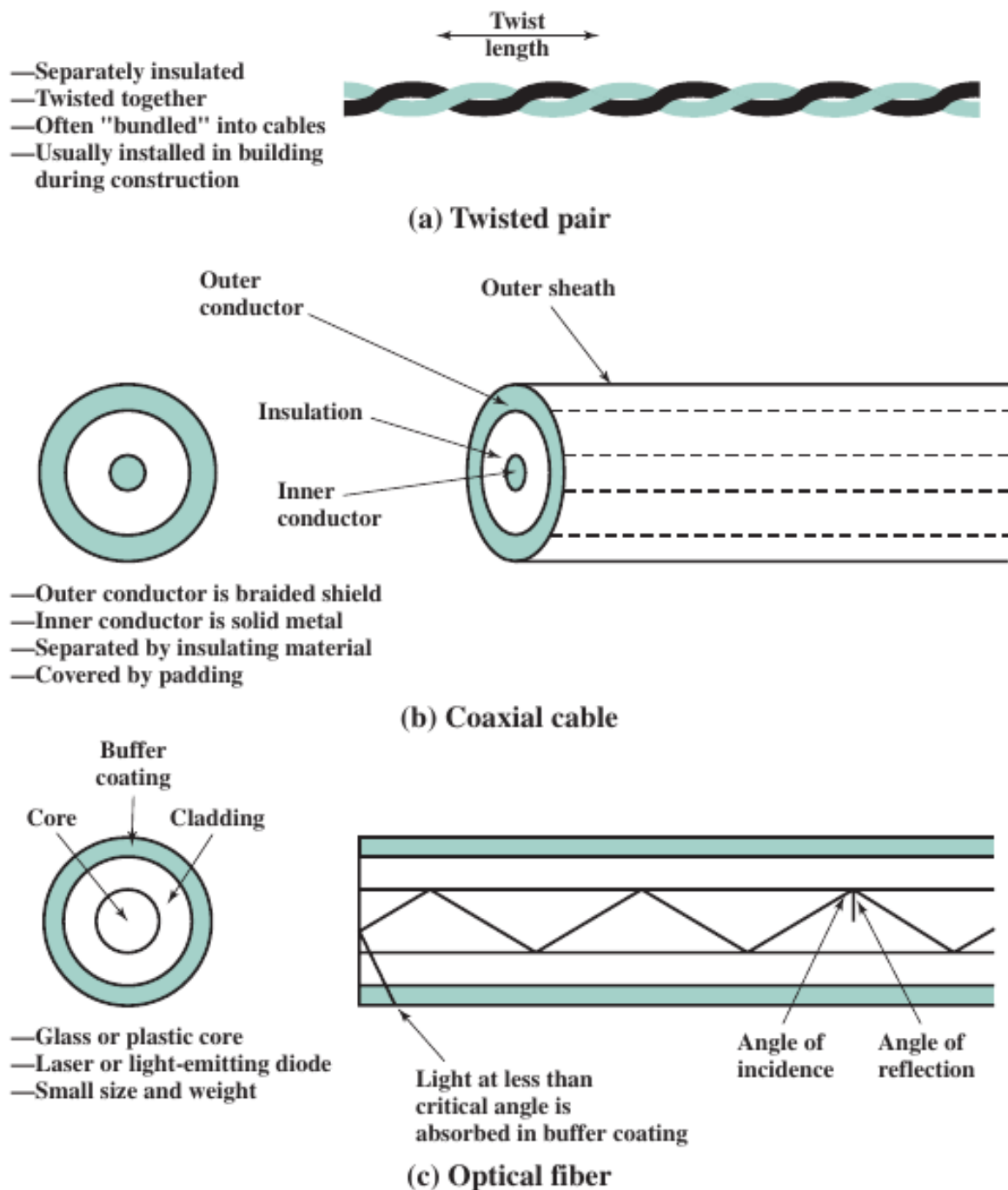
4.1 Media Transmisi Terpandu/ Guided Transmission Media

Pada media transmisi terpandu, kapasitas transmisi, baik dalam data rate maupun bandwidth, bergantung pada jarak dan bentuk transmisinya, apakah point-to-point atau multipoint seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2. Tiga media terpandu yang biasanya digunakan adalah twisted pair, kabel koaksial, dan fiber optik seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.3

	Frequency Range	Typical Attenuation	Typical Delay	Repeater Spacing
Twisted pair (with loading)	0 to 3.5 kHz	0.2 dB/km @ 1 kHz	50 μ s/km	2 km
Twisted pairs (multipair cables)	0 to 1 MHz	0.7 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
Optical fiber	186 to 370 THz	0.2 to 0.5 dB/km	5 μ s/km	40 km

THz = terahertz = 10^{12} Hz

Gambar 4.2: Karakteristik transmisi point-to-point dari media terpandu



Gambar 4.3: Media transmisi terpandu

4.1.1 Twisted-pair

Twisted-pair paling banyak digunakan di media transmisi terpandu dan harganya murah.

Deskripsi fisik

Twisted pair terdiri dari 2 insulated copper wire yang diatur dengan pola spiral. Setiap twisted-pair bertindak sebagai satu communication link. Twisted-pair dibungkus bersama di dalam protective sheath/jacket. Untuk mendapatkan jarak yang lebih jauh, biasanya terdiri dari ratusan twister-pair. Twisting dilakukan untuk meminimalkan crosstalk. A

4.2 Transmisi Nirkabel

4.3 Propagasi Nirkabel

4.4 Transmisi Line-of-sight

Bab 5

Error Detection and Correction

5.1 Asynchronous dan Synchronous Transmission

5.2 Frequency-Division Multiplexing

5.3 Synchronous Time-Division Multiplexing

5.4 Cable Modem

5.5 Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)

Dalam mengimplementasikan dan menyebarkan high-speed wide area public digital network, bagian yang paling menantang adalah link antara subscriber dan network: digital subscriber line. Dengan jutaan potensial endpoint di seluruh dunia, prospek menginstal kabel baru untuk masing-masing pelanggan baru adalah hal yang menakutkan. Sebagai gantinya, network designer

5.6 xDSL



Gambar 5.1: Synchronous Frame Format

Bab 6

Data Link Control Protocol

6.1 Key Points

- Karena kemungkinan kesalahan transmisi, dan karena penerima data (*receiver*) mungkin perlu mengatur kecepatan kedatangan data (*data rate*), maka tidak cukup hanya dengan teknik sinkronisasi dan antarmuka (*interface*). Perlu untuk menerapkan lapisan kontrol (*layer of control*) di setiap perangkat komunikasi yang menyediakan fungsi seperti kontrol aliran (*flow control*), deteksi kesalahan (*error detection*), dan kontrol kesalahan (*error control*). Lapisan kontrol (*layer of control*) ini dikenal sebagai *data link control protocol*.
- *Flow control* memungkinkan penerima (*receiver*) untuk mengatur aliran data dari pengirim sehingga *buffer* penerima tidak meluap (*overflow*).
- Dalam *data link control protocol*, *error control* dicapai dengan transmisi ulang *frame* rusak yang belum diakui atau yang meminta transmisi ulang oleh pihak lain.
- *High-level data link control* (HDLC) adalah *data link control protocol* yang banyak digunakan. Ini berisi hampir semua fitur yang ditemukan di *data link control protocol* lainnya.

6.2 Pengantar

Diskusi kita sejauh ini berkaitan dengan pengiriman sinyal melalui tautan transmisi (*transmission link*). Untuk komunikasi data digital yang efektif, lebih banyak yang dibutuhkan untuk mengontrol dan mengelola pertukaran data. Dalam bab ini, kami mengalihkan penekanan kami ke pengiriman data melalui tautan komunikasi data (*data communication link*). Untuk mencapai kontrol yang diperlukan, lapisan logika (*layer of logic*) ditambahkan di atas *physical layer* yang dibahas dalam Bab 5; logika ini disebut sebagai *data link control* atau *data link control protocol*. Ketika *data link control protocol* digunakan, media transmisi antar sistem disebut sebagai *data link*.

Untuk melihat kebutuhan terhadap *data link control*, kami membuat daftar beberapa persyaratan dan tujuan untuk komunikasi data yang efektif antara dua stasiun pemancar dan penerima yang terhubung langsung:

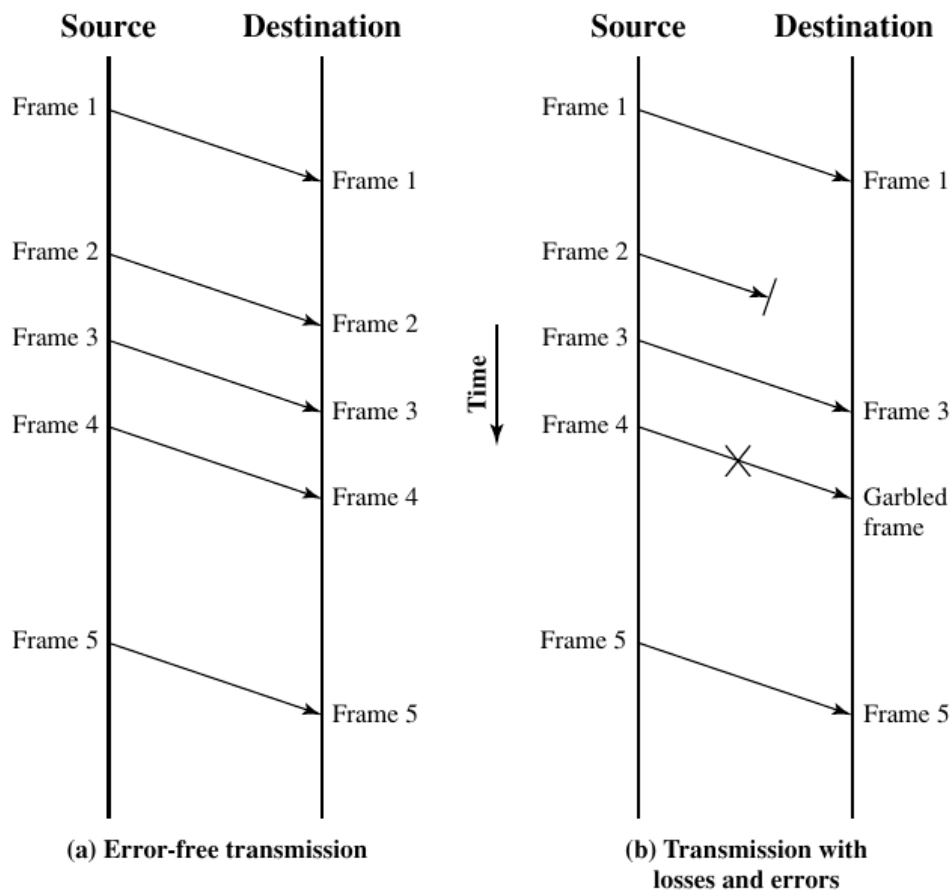
- *Frame synchronization*: Data dikirim dalam blok yang disebut *frame*. Bagian awal dan akhir setiap *frame* harus dapat dikenali. Kami secara singkat memperkenalkan topik ini dengan diskusi tentang *synchronous frames* (Gambar 5.1).
- *Flow control*: Stasiun pengirim tidak boleh mengirim *frame* dengan kecepatan yang lebih cepat daripada yang dapat diserap oleh stasiun penerima.
- *Error control*: *Bit error* yang diperkenalkan oleh sistem transmisi harus diperbaiki.
- *Addressing*: Pada sebuah *shared link*, seperti *local area network* (LAN), identitas dari dua stasiun yang terlibat dalam transmisi harus ditentukan.
- *Control dan data pada link yang sama*: Biasanya tidak diinginkan untuk memiliki jalur komunikasi yang terpisah secara fisik untuk *control information*. Oleh karena itu, penerima harus dapat membedakan *control information* dari data yang dikirim.
- *Link management*: Inisiasi, pemeliharaan, dan penghentian pertukaran data yang berkelanjutan membutuhkan koordinasi dan kerja sama yang cukup di antara stasiun. Prosedur untuk pengelolaan pertukaran ini diperlukan.

Tak satu pun dari persyaratan ini dipenuhi oleh teknik yang dijelaskan dalam Bab 5. Kita akan melihat dalam bab ini bahwa *data link protocol* yang memenuhi persyaratan ini adalah hal yang agak rumit. Kami mulai dengan melihat dua mekanisme utama yang merupakan bagian dari *data link control*: *flow control* dan *error control*. Mengikuti latar belakang ini, kami melihat contoh terpenting dari *data link control protocol*: HDLC (*high-level data link control*). Protokol ini penting karena dua alasan: Pertama, ini adalah standar *data link control protocol* yang banyak digunakan. Kedua, HDLC berfungsi sebagai *baseline* yang mana hampir semua *data link control protocol* penting lainnya diturunkan. Akhirnya, lampiran bab ini membahas beberapa masalah kinerja yang berkaitan dengan *data link control*.

6.3 Flow Control

Flow control adalah teknik untuk memastikan bahwa entitas pengirim tidak membanjiri entitas penerima dengan data. Entitas penerima biasanya mengalokasikan *buffer data* dengan beberapa panjang maksimum untuk transfer. Saat data diterima, penerima harus melakukan sejumlah pemrosesan sebelum meneruskan data ke *software* tingkat yang lebih tinggi. Jika tidak ada *flow control*, *buffer* penerima mungkin terisi dan meluap saat memproses data lama.

Untuk memulai, kami memeriksa mekanisme *flow control* jika tidak ada *error*. Model yang akan kita gunakan digambarkan pada Gambar 6.1a, yang merupakan diagram urutan waktu vertikal. Ini memiliki keuntungan dalam menunjukkan ketergantungan waktu dan menggambarkan hubungan kirim-terima yang benar. Setiap panah mewakili satu *frame* yang menghubungkan tautan data antara dua stasiun. Data dikirim dalam urutan bingkai, dengan setiap bingkai berisi sebagian data dan beberapa informasi kontrol. Waktu yang dibutuhkan stasiun untuk memancarkan semua bit *frame* ke medium adalah waktu transmisi; ini sebanding dengan panjang *frame*. Waktu propagasi adalah waktu yang dibutuhkan sedikit untuk melintasi tautan antara sumber dan tujuan. Untuk bagian ini, kami berasumsi bahwa semua *frame* yang dikirimkan berhasil diterima; tidak ada



Gambar 6.1: Model dari Frame Transmission

bingkai yang hilang dan tidak ada yang datang dengan kesalahan. Selain itu, bingkai tiba dalam urutan yang sama seperti saat dikirim. Namun, setiap frame yang ditransmisikan mengalami jumlah penundaan yang berubah-ubah dan variabel sebelum penerimaan.¹

6.3.1 Stop-and-Wait Flow Control

Flow control yang paling sederhana adalah **stop-and-wait flow control**. Cara kerja dari *flow control* ini adalah sebagai berikut. Sebuah sumber akan mentransmisikan sebuah *frame*. Setelah sebuah penerima memperoleh *frame* tersebut, penerima ini akan menunjukkan kesediaan untuk menerima *frame* yang lain dengan cara mengirimkan kembali *acknowledgment* ke *frame* yang baru saja diterima. Sumber tersebut harus menunggu hingga *acknowledgment* ia terima sebelum mengirimkan *frame* selanjutnya. Penerima dapat menghentikan aliran data dengan cara menahan *acknowledgment*. Prosedur ini bekerja dengan baik dan berat untuk ditingkatkan ketika pesan yang dikirim dalam ukuran *frame* yang besar. Namun untuk beberapa kasus, sumber akan memecah blok data yang besar menjadi blok data yang lebih kecil dan mentransmisikan data dalam *frame* yang banyak. Hal ini dilakukan karena alasan sebagai berikut:

- Ukuran *buffer* dari *receiver* itu terbatas.

¹Pada direct point-to-point link, jumlah *delay* telah ditetapkan sebelumnya, bukan suatu variabel. Namun, *data link control protocol* dapat digunakan melalui koneksi jaringan, seperti *circuit-switched* atau jaringan ATM, dalam hal ini penundaan dapat bervariasi.

- Semakin lama transmisinya, semakin besar kemungkinan terjadinya *error*, yang mengharuskan keseluruhan frame untuk ditransmisikan kembali. Dengan *frame* yang lebih kecil, *error* dapat dideteksi lebih awal, dan jumlah data yang lebih kecil yang perlu ditransmisikan kembali.
- Pada *shared medium*, seperti LAN, biasanya diinginkan untuk tidak mengizinkan satu *station* menempati media dalam waktu yang lama, sehingga menyebabkan penundaan yang lama di *station* pengirim lainnya.

Dengan menggunakan *multiple frame* untuk satu pesan, prosedur *stop-and-wait* mungkin tidak cukup. Karena permasalahannya adalah hanya satu frame yang dapat ditransmisikan pada satu waktu. Lebih jelasnya, pertama-tama kita tentukan panjang bit dari link-nya:

$$B = R \times \frac{d}{V} \quad (6.1)$$

dimana

B = Panjang dari *link* dalam bit; ini adalah jumlah bit yang ada di link pada saat stream dari bit sepenuhnya menempati link.

R = *Data rate* dari link, dalam bps.

d = Panjang, atau jarak, dari link, dalam bps.

V = Kecepatan propagasi, dalam m/s.

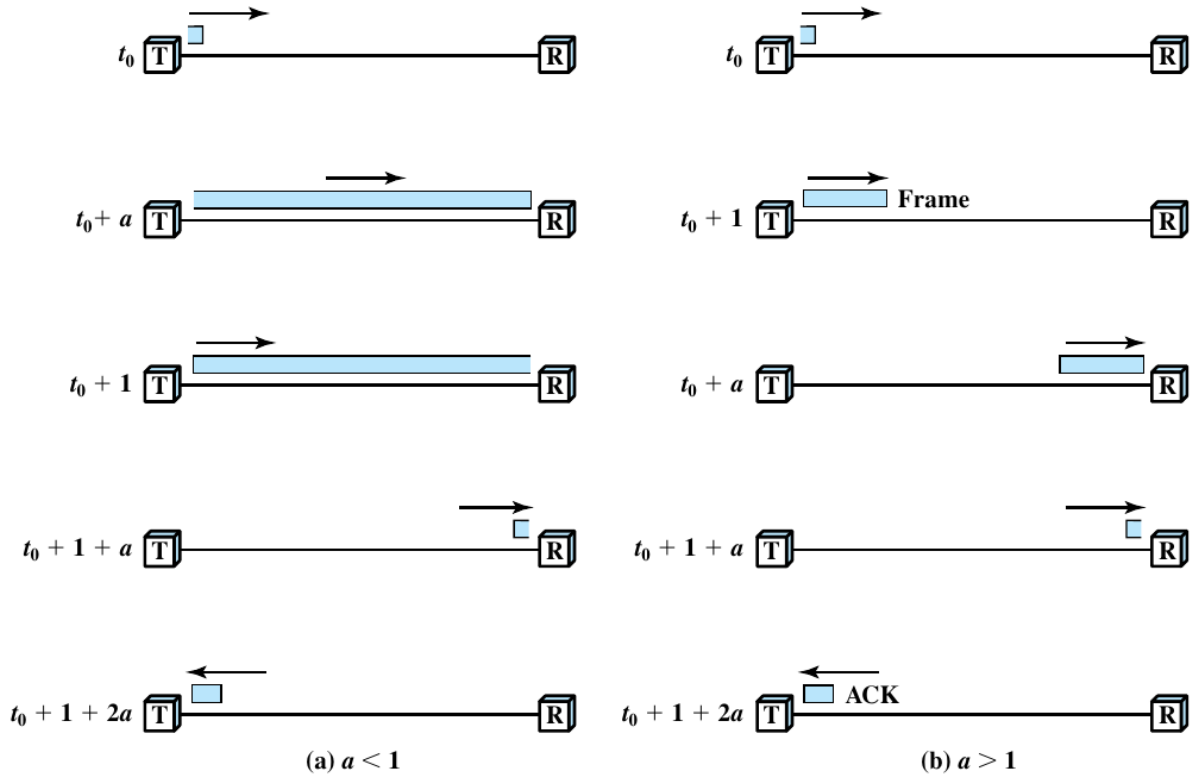
Ketika panjang bit dari link lebih besar daripada panjang frame, maka dapat menghasilkan ketidakefisien yang serius. Seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6.2, waktu transmisi (waktu yang dibutuhkan untuk station mentransmisikan sebuah frame) dinormalisasikan ke 1, dan delay propagasi (waktu yang dibutuhkan sebuah bit berjalan dari pengirim ke penerima) yang diekspresikan sebagai variabel a . Sehingga,

$$a = \frac{B}{L} \quad (6.2)$$

dimana L adalah jumlah bit dalam sebuah frame (panjang dari sebuah frame dalam bit).

Ketika a bernilai kurang dari 1, maka waktu propagasi lebih kecil dari waktu transmisi. Dalam hal ini, *frame* cukup panjang sehingga bit pertama dari *frame* tersebut tiba di tujuan sebelum sumber selesai mentransmisikan *frame*. Ketika a bernilai lebih besar dari 1, waktu propagasi lebih besar dari waktu transmisi. Dalam hal ini, pengirim menyelesaikan transmisi seluruh *frame* sebelum bit terdepan dari *frame* tersebut tiba di penerima. Dengan kata lain, nilai a yang lebih besar konsisten dengan *data rate* dan/atau jarak yang lebih jauh antar *station*.

Kedua bagian dari Gambar 6.2 (a dan b) terdiri dari urutan (*sequence*) *snapshot* dari proses transmisi dari waktu ke waktu. Dalam kedua kasus, empat *snapshot* pertama menunjukkan proses transmisi *frame* yang berisi data, dan *snapshot* terakhir menunjukkan



Gambar 6.2: Penggunaan Stop-and-Wait Link (waktu transmisi = 1; waktu propagasi = a)

kembalinya *acknowledgment frame*. Perhatikan saat $a > 1$, saluran selalu kurang dimanfaatkan dan bahkan saat $a < 1$, saluran digunakan secara tidak efisien. Intinya, untuk *data rate* yang sangat tinggi, untuk jarak yang sangat jauh antara pengirim dan penerima, *stop-and-wait flow control* menyediakan penggunaan jalur yang tidak efisien.

Contoh 6.3.1. Diketahui sepanjang 200 m jalur fiber optik yang beroperasi pada 1 Gbps. Kecepatan propagasi dari fiber optik adalah 2×10^8 m/s. Dengan menggunakan Persamaan 6.1, $B = (10^9 \times 200) / (2 \times 10^8) = 1000$ bits. Kita asumsikan bahwa sebuah *frame* yang berukuran 8000 bits akan ditransmisikan. Dengan menggunakan Persamaan 6.2, $a = 1000 / 8000 = 0.125$. Berdasarkan Gambar 6.2a, asumsikan transmisi dimulai saat $t = 0$. Setelah $1 \mu\text{s}$ (normalisasi waktu dari 0.125 waktu *frame*), bit pertama dari *frame* telah mencapai R, dan 1000 bits pertama dari *frame* telah tersebar disepanjang jalur atau *link*.

Pada saat $t = 8 \mu\text{s}$, bit terakhir dari *frame* baru saja selesai ditransmisikan oleh T dan akhir 1000 bit dari *frame* telah tersebar sepanjang *link*. Saat $t = 9 \mu\text{s}$, bit terakhir dari *frame* tiba di R. R sekarang mengirimkan kembali ACK *frame*. Jika kita asumsikan bahwa waktu transmisi *frame* dapat diabaikan (ACK *frame* sangat kecil), dan ACK dikirim segera, ACK tiba di T pada $t = 10 \mu\text{s}$. Pada titik ini, T dapat memulai untuk mengirimkan *frame* yang baru. Waktu transmisi aktual dari *frame* ini adalah $8 \mu\text{s}$, tetapi total waktu untuk mentransmisikan *frame* pertama dan diterima dan ACK adalah $10 \mu\text{s}$.

Sekarang anggaplah sebuah 1-Mbps link antara 2 *ground station* yang berkomunikasi melalui *satellite relay*. Sebuah *geosynchronous satellite* memiliki altitude 36.000 km. Sehingga $B = (10^6 \times 2 \times 36.000.000) / (3 \times 10^8) = 240.000$ bit. Untuk sebuah *frame* yang panjangnya 8000 bit, $a = (240.000 / 8000) = 30$. Berdasarkan Gambar 6.2b, kita dapat melakukan hal yang sama seperti contoh sebelumnya. Pada kasus ini, dibutuhkan 240 ms untuk bit pertama dari *frame* untuk tiba dan tambahan 8 ms untuk keseluruhan *frame*

untuk tiba. ACK tiba saat $t = 488$ ms. Waktu transmisi aktual untuk *frame* pertama adalah 8 ms. tapi waktu keseluruhan untuk mentransmisikan *frame* pertama dan menerima ACK adalah 488 ms.

6.3.2 Sliding-Window Flow Control

Inti dari permasalahan yang telah dijelaskan sejauh ini adalah bahwa hanya satu *frame* pada satu waktu yang dapat transit. Di dalam situasi dimana panjang bit dari link lebih besar daripada panjang *frame* ($a > 1$)

6.4 Error Control

6.5 High-Level Data Link Control (HDLC)

Bab 7

Multiplexing

7.1 Frequency-Division Multiplexing

7.2 Synchronous Time-Division Multiplexing

7.3 Cable Modem

7.4 Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)

Dalam mengimplementasikan dan menyebarkan high-speed wide area public digital network, bagian yang paling menantang adalah link antara subscriber dan network: digital subscriber line. Dengan jutaan potensial endpoint di seluruh dunia, prospek menginstal kabel baru untuk masing-masing pelanggan baru adalah hal yang menakutkan. Sebagai gantinya, network designer

7.5 xDSL

