

BAB VII

MULTIPLEXING

Dua stasiun komunikasi tidak akan memakai kapasitas penuh dari suatu data link untuk efisiensi, karena itu sebaiknya kapasitasnya dibagi. Pembagian ini diistilahkan sebagai ***multiplexing***.

Contoh sederhananya yaitu multidrop line, dimana sejumlah perangkat secondary (misal : terminal) dan sebuah primary (misal : komputer host) saling berbagi pada jalur/line yang sama.

Keuntungannya :

- Komputer host hanya butuh satu port I/O untuk banyak terminal
- hanya satu line transmisi yang dibutuhkan.

Pada chapter ini dibahas 3 teknik multiplexing :

- frequency-division multiplexing (FDM), paling umum dipakai untuk radion atau TV
- time-division multiplexing (TDM) atau synchronous TDM, dipakai untuk multiplexing digital voice.
- peningkatan efisiensi synchronous TDM dengan variasi sebagai berikut :
 - Statistical TDM
 - Asynchronous TDM
 - Intelligent TDM

Gambar 6.1 menyatakan fungsi multiplexing secara umum. Multiplexer mengkombinasikan (me-multiplex) data dari n input dan mentransmisi melalui kapasitas data link yang tinggi. Demultiplexer menerima aliran data yang di-multiplex (pemisahan (demultiplex) dari data tersebut tergantung pada channel) dan mengirimnya ke line output yang diminta.



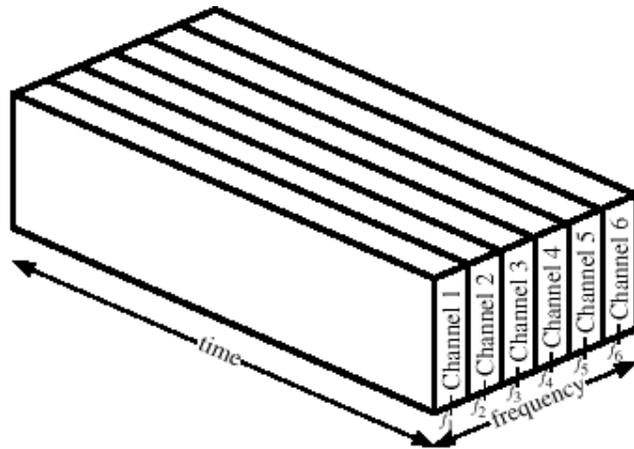
Gambar 6.1 Multiplexing

6.1 Frequency Division Multiplexing

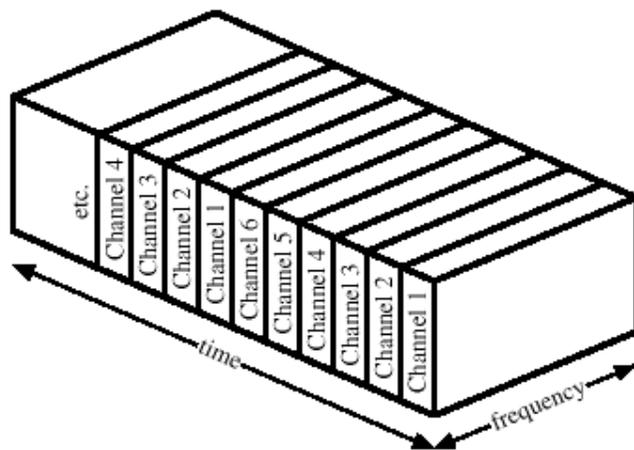
Karakteristik

- Digunakan ketika bandwidth dari medium melebihi bandwidth sinyal yang diperlukan untuk transmisi.

- Tiap sinyal dimodulasikan kedalam frekuensi carrier yang berbeda dan frekuensi carrier tersebut terpisah dimana bandwidth dari sinyal-sinyal tersebut tidak overlap.



(a) Frequency-division multiplexing



(b) Time-division multiplexing

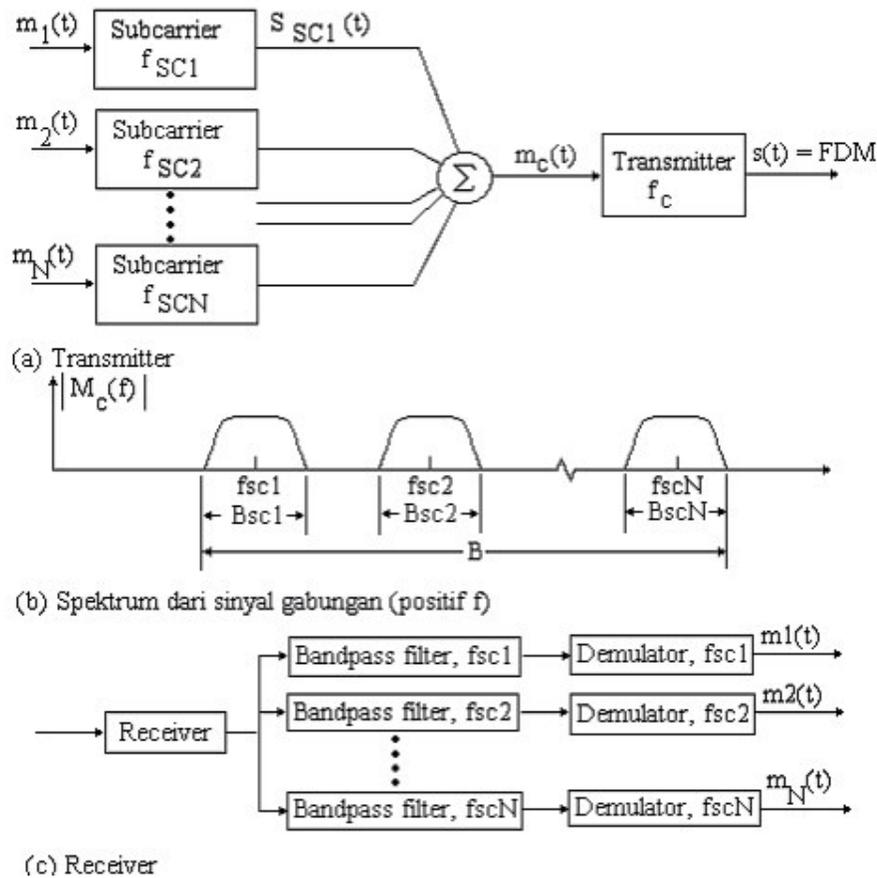
Gambar 6.2 FDM dan TDM

Gambar 6.2a menunjukkan kasus umum dari FDM. Enam sumber sinyal dimasukkan ke dalam suatu multiplexer, yang memodulasi tiap sinyal ke dalam frekuensi yang berbeda (f_1, \dots, f_6). Tiap sinyal modulasi memerlukan bandwidth center tertentu disekitar frekuensi carriernya, dinyatakan sebagai suatu **channel**.

Sinyal input baik analog maupun digital akan ditransmisikan melalui medium dengan sinyal analog.

Contoh sederhana dari FDM yaitu transmisi full-duplex FSK (Frequency Shift Keying). Contoh lainnya yaitu broadcast dan TV kabel.

Gambar 6.3 memperlihatkan transmisi sinyal TV dan bandwidth-nya.



Gambar 6.3 Frequency Division Multiplexing

Sinyal video hitam putih adalah modulasi AM pada sinyal carrier f_{cv} . Karena baseband dari sinyal video = 4 MHz maka sinyalnya sekarang menjadi $f_{cv} - 0,76$ MHz sampai dengan $f_{cv} - 4,2$ MHz. f_{cc} sebagai color subcarrier mentransmisi informasi warna. Sedangkan sinyal audio dimodulasi pada f_{ca} , diluar bandwidth efektif dari 2 sinyal lainnya. Bandwidth audio = 60 KHz. Dengan demikian sinyal TV dapat di-multiplex dengan FDM pada kabel CATV dengan bandwidth = 6 MHz.

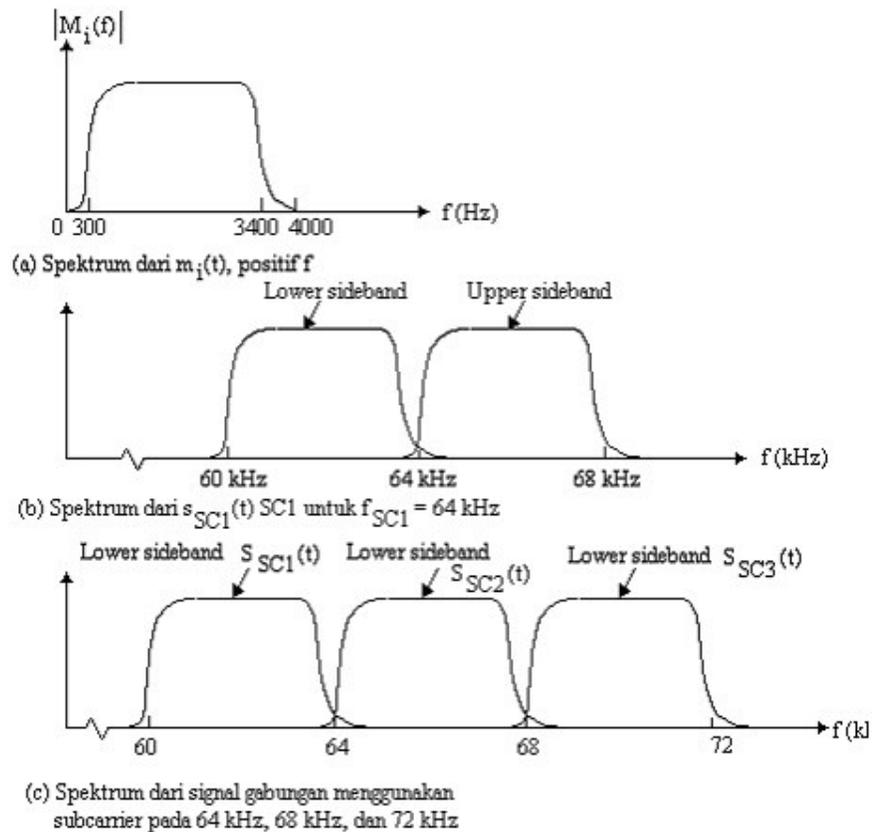
Gambar 6.3 memperlihatkan sistim FDM secara umum. Sejumlah sinyal digital atau analog [$m_i(t)$, $i = 1, N$] di-multiplex ke dalam medium transmisi yang sama. Tiap sinyal $m_i(t)$ dimodulasi dalam carrier f_{sci} ; karena digunakan multiple carrier maka masing-masing dinyatakan sebagai **sub carrier**. Modulasi apapun dapat dipakai. Kemudian sinyal termodulasi dijumlah untuk menghasilkan sinyal gabungan $m_c(t)$. Gambar 6.3b menunjukkan hasilnya.

Sinyal gabungan tersebut mempunyai total bandwidth B , dimana

$$B > \sum_{i=1}^N B_{si}$$

Sinyal analog ini ditransmisikan melalui medium yang sesuai. Pada akhir penerimaan, sinyal gabungan tersebut lewat melalui N bandpass filter, dimana tiap filter berpusat pada f_{sci} dan

mempunyai bandwidth B_{sci} , untuk $1 < i < N$. Dari sini, sinyal diuraikan menjadi bagian-bagian komponennya. Tiap komponen kemudian dimodulasi untuk membentuk sinyal asalnya. Contoh sederhananya : transmisi tiga sinyal voice (suara) secara simultan melalui suatu medium.



Gambar 6.4 FDM dari 3 sinyal band suara

Gambar 6.4a menggambarkan spektrum sinyal suara dari 300 sampai 3400 Hz. Bila suatu sinyal diamplitudo modulasi pada carrier 64 KHz maka gambar spektrumnya seperti gambar 6.4b. Sinyal termodulasi mempunyai bandwidth 8 KHz dari 60 sampai 68 KHz. Tetapi yang digunakan hanya lower sideband-nya sehingga didapat gambar 6.4c, dimana ketiga sinyal voice tersebut dipakai untuk memodulasi carrier pada 64,68 dan 72 KHz. Sinyal suara ini ditransmisi melalui modem dan sudah cukup memakai bandwidth 4 KHz. Tetapi masalahnya jika melalui jarak yang jauh maka akan timbul intermodulasi noise dan efek nonlinear dari amplifier pada salah satu channel yang akan menghasilkan komponen-komponen frekuensi pada channel-channel yang lain.

Gambar 6.4 menunjukkan tiga level pertama dari definisi hierarki AT&T, dimana 12 channel voice dikombinasikan untuk menghasilkan suatu **group** sinyal dengan bandwidth 12×4 KHz = 48 KHz dalam range 60 – 108 KHz. Kemudian dibentuk blok dasar berikutnya 60 channel supergroup, yang dibentuk oleh FDM lima group sinyal. Sinyal yang dihasilkan antara 312 sampai 662 KHz.

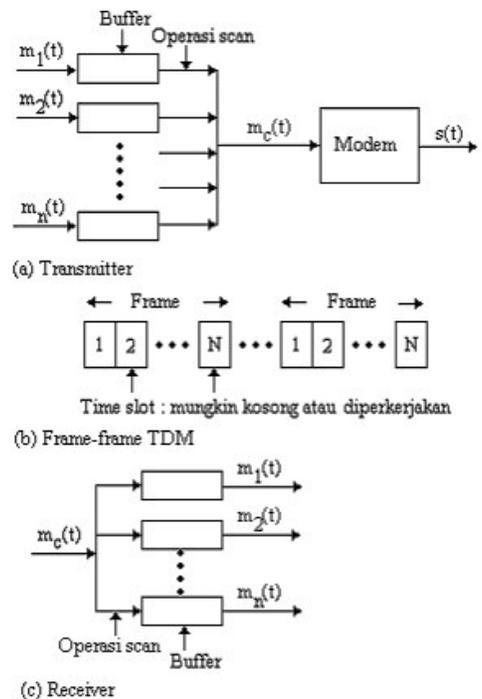
Variasi lainnya, yaitu dengan kombinasi 60 channel voice band langsung dalam suatu supergroup, dimana akan mengurangi biaya karena interface dengan group multiplex tidak diperlukan. Hierarki dari level berikutnya adalah **master group** dengan 10 supergroup input.

Catatan : suara asal atau sinyal data mungkin dimodulasi berulang kali. Tiap tingkatan dapat mengubah data asal; hal ini misalnya jika modulator/multiplexer mengandung non linearitas atau menghasilkan noise.

6.2 Synchronous Time-Division Multiplexing

Karakteristik

- Digunakan ketika data rate dari medium melampui data rate dari sinyal digital yang ditransmisi.
- Sinyal digital yang banyak (atau sinyal analog yang membawa data digital) melewati transmisi tunggal dengan cara pembagian (=interlaving) porsi yang dapat berupa level bit atau dalam blok-blok byte atau yang lebih besar dari tiap sinyal pada suatu waktu.



Gambar 6.5 system synchronous TDM.

Gambar 6.5a, sejumlah sinyal digital ($m_i(t)$, $i = 1, N$) di-multiplex ke dalam medium transmisi yang sama. Data yang masuk dari masing-masing sumber disimpan dalam buffer yang biasanya berukuran 1 bit atau 1 karakter. Buffer tersebut di-scan secara sequential untuk membentuk komposisi aliran data digital $m_c(t)$ yang dapat ditransmisi langsung atau melalui modem, biasanya transmisi synchronous. Operasi scan tersebut berjalan cepat dimana buffer terlebih dulu dikosongkan untuk dapat menerima data. Dengan demikian data rate $m_c(t)$ harus sama dengan jumlah data rate $m_i(t)$.

- Gambar 6.5b memperlihatkan format data yang ditransmisi. Data-data tersebut dikumpulkan dalam frame-frame . Tiap frame mengandung cycle dari time slot dimana tiap slot mewakili tiap sumber data.

Channel adalah serangkaian slot-slot yang mewakili satu sumber, dari frame ke frame.

Panjang slot sama dengan panjang buffer transmitter yaitu 1 bit atau 1 karakter.

Dalam hal ini dipakai 2 teknik interleaving :

- Character-interlaving :
 - Dipakai dengan sumber asynchronous.
 - Tiap time slot mengandung 1 karakter dari data.
- Bit-interlaving :
 - Dipakai dengan sumber synchronous dan boleh juga dengan sumber asynchronous.
 - Tiap time slot mengandung hanya 1 bit.

Gambar 6.5c, pada receiver, data $m_c(t)$ di-demultiplex dan diarahkan ke buffer tujuan yang sesuai. Untuk tiap sumber input $m_i(t)$, ada sumber output identik yang akan menerima data input pada kecepatan yang sama dengan pada waktu ditimbulkan.

Synchronous TDM :

- Disebut synchronous karena time slot-time slot-nya di-alokasikan ke sumber-sumber dan tertentu dimana time slot untuk tiap sumber ditransmisi. Biar bagaimanapun sumber mempunyai data untuk dikirim.
- Dapat mengendalikan sumber-sumber dengan kecepatan yang berbeda-beda.

TDM Link Control

Mekanisme kontrolnya tidak diperlukan protokol data link maka aliran data yang ditransmisikan tidak mengandung header dan trailer.

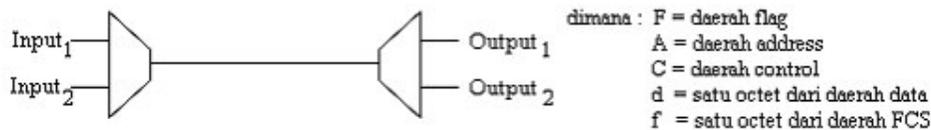
Ada 2 kunci mekanisme kontrol data link : flow control dan error control. Tetapi flow control tidak diperlukan bila multiplexer dan demultiplexer dihubungkan seperti gambar 6.1, data rate dari multiplexer tetap dan keduanya beroperasi pada kecepatan tersebut. Bila dihubungkan ke line output yang tidak dapat menerima data, maka untuk sementara, channel akan membawa slot-slot kosong, tetapi frame-frame keseluruhan akan mempertahankan kecepatan transmisi yang sama.

Untuk error control, transmisi ulang hanya dilakukan pada satu channel dimana terjadi error jadi error control ada per-channel.

Agar flow control, error control dapat dilengkapi per basis channel, dipakai protokol data link misalnya HDLC per basis channel.

Lihat gambar 6.6, dua sumber data, masing-masing memakai HDLC. Yang satu mentransmisi frame-frame HDLC yang mengandung 3 octet data, yang lain mengandung 4 octet data. Kita memakai multiplexing interleaving karakter. Maka octet-octet dari frame-frame HDLC dari 2 sumber dicampur aduk bersama untuk transmisi melalui line multiplex. Operasi multiplexing/demultiplexing adalah transparant untuk mencapai stasiun; untuk tiap pasang stasiun komunikasi, mempunyai link tersendiri.

Pada akhir kedua line perlu suatu kombinasi multiplexer/demultiplexer dengan line full duplex diantaranya. Kemudian tiap channel terdiri dari 2 set slot, satu menuju ke masing-masing arah.



Gambar 6.6 Konfigurasi Pemakaian DLC pada Chanel TDM

Framing

Frame TDM tidak memakai karakter SYNC atau flag untuk synchronisasi frame tetapi **added-digit framing**.

Pada cara ini, satu kontrol bilangan ditambahkan ke tiap frame TDM. Juga memakai pola bit identitas dari frame ke frame. Synchronisasi dilakukan dengan cara, receiver membandingkan bit-bit yang masuk dari posisi satu frame untuk memperoleh pola. Jika polanya tidak sama, posisi bit berurutan di cari sampai pola didapat. Sekali synchronisasi frame tercapai, receiver melanjutkan memonitor channel framing bit. Jika pola terputus, receiver harus masuk lagi ke mode framing search.

Pulse Stuffing (= pulsa pengisi)

Dipakai untuk mengatasi problem :

- Jika tiap sumber mempunyai clock yang terpisah, variasi antar clock-clock akan menyebabkan hilangnya synchronisasi.
- Data rate dari input data tidak bertalian dengan angka rasional sederhana.

Sehingga :

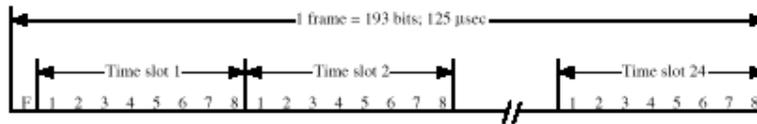
- Data rate yang keluar dari multiplexer, termasuk framing bit, lebih tinggi daripada jumlah maximum kecepatan yang masuk.
- Kapasitas ekstra dipakai oleh **stuffing extra dummy bit-bit** atau pulsa-pulsa ke dalam tiap sinyal yang masuk sampai kecepatannya naik ke clock sinyal yang dibangkitkan.
- Pulsa-pulsa stuffing dimasukkan ke lokasi yang tertentu didalam format frame multiplexer sehingga dapat dikenali dan dipindah ke demultiplexer.
- Sumber 1 : Analog, bandwidth 2 KHz
- Sumber 2 : Analog, bandwidth 4 KHz
- Sumber 3 : Analog, bandwidth 2 KHz
- Sumber 4-11 : Digital, synchronous 7200 bps

Sumber 1, 2, 3 di-scan untuk diambil sinyal PAM-nya dimana kecepatan scan 4 KHz untuk sumber 1 dan 3, untuk satu sampel PAM, dan 2 sampel PAM untuk sumber 2 per scan. Keempat sampel ini diubah ke 4 bit sampel PCM. Dengan demikian total 16 bit dihasilkan dengan kecepatan 4000 kali per detik, untuk komposisi bit rate 64 Kbps. Untuk sumber-sumber digital, **pulse stuffing** dipakai untuk menaikkan kecepatan masing-masing sumber

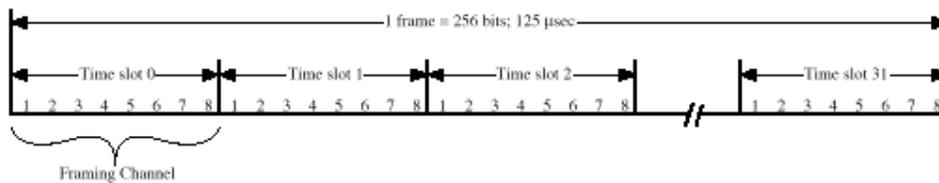
menjadi 8 Kbps, untuk kumpulan data rate 64 Kbps. Sebuah frame dapat terdiri dari beberapa cycle dari 32 bit, yang masing-masing mengandung 16 bit PCM dan 2 bit dari masing-masing ke delapan sumber digital tersebut.

Sistim-sistim Carrier

Dasar dari hierarki TDM adalah format transmisi DS-1 yang memultiplex 24 channel. Tiap frame mengandung 8 bit/channel plus framing bit untuk $24 \times 8 + 1 = 193$ bit.



(a) Interface at 1.544 Mbps



(b) Interface at 2.048 Mbps

Gambar 6.7 Format Transmisi DS 1

Untuk transmisi suara (voice), dimana bandwidth voice = 4 KHz sehingga diperlukan 8000 sampel/detik. Dengan panjang frame 193 bit, maka data rate-nya = $8000 \times 193 = 1,644$ Mbps. Untuk lima dari enam frame, dipakai 8 bit PCM. Untuk setiap bit ke enam tiap channel mengandung 7 bit PCM plus bit pensinyalan.

Untuk data digital, dipakai data rate yang sama dengan voice yaitu 1,644 Mbps. Untuk data disediakan 23 channel. Channel ke 24 disimpan untuk byte SYNC khusus yang menyebabkan lebih cepat dan framing ulang yang lebih baik untuk suatu framing error. Untuk tiap channel, 7 bit/channel dan tiap channel diulang 8000 kali/detik, maka data rate/channel = 66 Kbps. Untuk data rate yang lebih rendah dipakai teknik subrate multiplexing dimana bit tambahan diambil dari tiap channel untuk indikasi speed subrate multiplexing yang sedang dipakai sehingga kapasitas total per channel = $6 \times 8000 = 48$ Kbps.

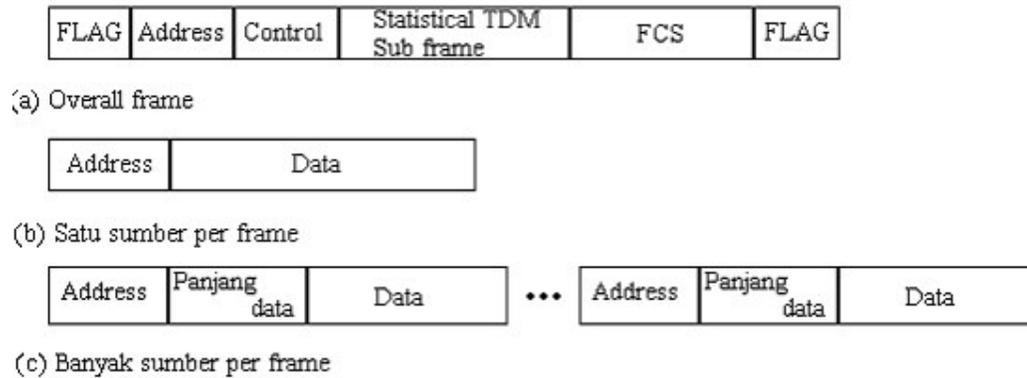
6.3 Statistical Time-Division Multiplexing

Karakteristik

- Statistical TDM yang dikenal juga sebagai asynchronous TDM dan intelligent TDM, sebagai alternative synchronous TDM.
- Mempunyai sejumlah line I/O pada satu sisi dan line multiplex kecepatan tinggi pada sisi lainnya. Dimana ada n line I/O, tetapi hanya k ($k < n$) time slot yang sesuai pada frame TDM.
- Untuk input, fungsi multiplexer ini untuk men-scan buffer-buffer input, mengumpulkan data sampai penuh, dan kemudian mengirim frame tersebut.

- Untuk output, multiplexer menerima suatu frame dan mendistribusikan slot-slot data ke buffer output tertentu.
- Data rate pada line multiplex lebih rendah daripada jumlah data rate dari device masukan sehingga statistical multiplexer dapat menggunakan data rate yang rendah untuk mendukung sebanyak device yang sama dengan synchronous multiplexer.
- Gambar 6.7 membandingkan statistical dan synchronous TDM dimana terdapat 4 sumber data dan menunjukkan produksi data dalam 4 time epoch (t_0, t_1, t_2, t_3). Untuk synchronous multiplexer, selama tiap epoch, data dikumpulkan dari keempat sumber dan dikirim. Misal pada epoch pertama, sumber C dan D tidak menghasilkan data, maka 2 dari 4 time slot yang ditransmisi oleh multiplexer adalah kosong.

Untuk statistical multiplexer, tidak mengirim slot-slot kosong jika ada data untuk dikirim sehingga selama epoch pertama, hanya slot A dan B yang dikirim. Karena data tiba dan didistribusikan ke line I/O yang tidak di perkirakan, sehingga informasi address diperlukan untuk meyakinkan pengiriman. Maka dari itu overhead atau slot untuk statistical TDM lebih banyak karena tiap slot membawa sebuah address.



Gambar 6.8 Format frame dari statistical TDM

- Strukturnya padatnya.
- Sistemnya membuah synchronous protokol seperti HDLC dimana data frame harus mengandung bit-bit kontrol untuk operasi multiplexing. Untuk (a) hanya 1 sumber data yang dimasukkan per frame. Sumber diidentifikasi oleh suatu address. Panjang daerah data adalah variabel dan diakhiri oleh akhir dari overall frame. Cara ini dapat bekerja baik dibawah beban yang ringan, tetapi kurang efisien untuk beban yang berat.

Untuk efisiensi :

- Dengan menggunakan multiple data source yang dibentuk dalam suatu frame tunggal.
- Daerah address dapat dikurangi dengan memakai pengalamatan relatif dimana tiap address menunjukkan sumber aliran relatif terhadap sumber terdahulu.
- Memakai 2 bit label untuk panjang daerah [SEID78].

Performansi

Data rate dari output statistical multiplexer lebih rendah daripada jumlah data rate input. Hal ini dimungkinkan karena rata-rata jumlah dari input kurang daripada kapasitas line multiplex. Tetapi masalah yang timbul yaitu terjadinya periode peak ketika input melampaui kapasitas.

Solusinya : dengan memasukkan suatu buffer dalam multiplexer untuk menahan sementara kelebihan input.

Contohnya dapat dilihat pada tabel 6.6 dimana untuk tiap kapasitas, ketika input melampaui output, pembentukkan back lop yang harus disimpan. Tabel ini menunjukkan sejumlah bit-bit input dari 10 device tiap milisecond dan output dari multiplexer.

Pertimbangan ukuran buffer dan data rate dari line ditentukan untuk menentukan waktu respon sistim dan kecepatan line multiplex. Semakin besar buffer, delaynya semakin panjang.

Parameter-parameter untuk statistical TDM :

N = jumlah dari sumber input

R = data rate tiap sumber, bps

M = kapasitas efektif dari line multiplex, bps = kecepatan maksimum dimana bit-bit data dapat ditransmisikan

α = waktu tengah tiap sumber yang sedang transmisi, $0 < \alpha < 1$

$k = M/(NR)$ = ratio kapasitas line multiplex terhadap total input maksimum, $\alpha \leq k \leq 1$ = ukuran kompresi oleh multiplexer

$k=1$ berhubungan dengan synchronous TDM

$k < \alpha$ input akan melampaui kapasitas multiplexer

$\lambda = \alpha N R$ = rata-rata kecepatan untuk tiba, bps

	1	
S =	----	dipakai untuk transmisi 1 bit, sec
	M	

$\rho = \lambda S = \alpha N R / M = \alpha / k = \lambda / M$ = pemakaian total kapasitas link

t_q = ukuran rata-rata delay oleh sumber input