

## CHAPTER 6

### MULTI PLEXI NG

Dalam chapter 5, telah dibahas teknik efisiensi penggunaan data link pada beban yang berat.

Sekarang pertimbangkan problem sebaliknya. 2 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 radio 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 ke dalam frekuensi carrier yang berbeda dan frekuensi carrier tersebut terpisah dimana bandwidth dari sinyal-sinyal tersebut tidak overlap.

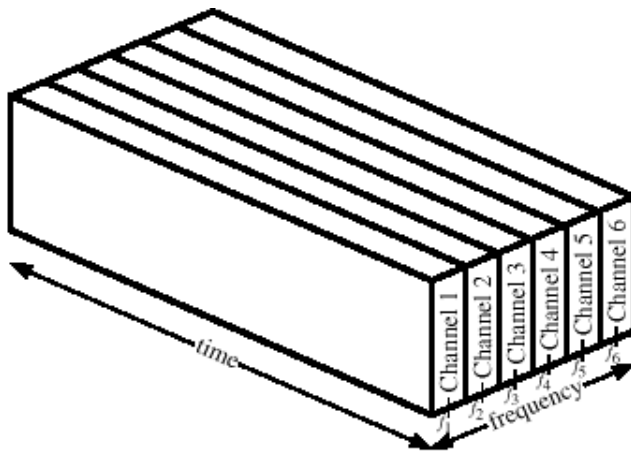
Gambar 6.2a menunjukkan kasus umum dari FDM. Enam sumber sinyal dimasukkan ke dalam suatu multiplexer, yang memodulasi tiap sinyal ke dalam frekuensi yang berbeda ( $f_1, \dots, f_6$ ). Tiap sinyal modulasi memerlukan bandwidth center tertentu disekitar frekuensi carriernya, dinyatakan sebagai suatu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

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

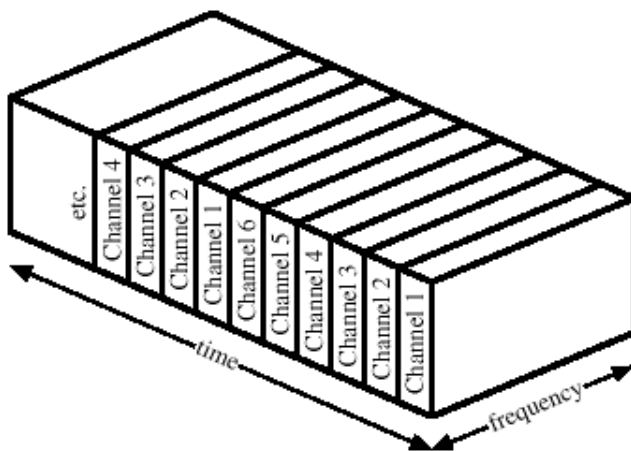
Contoh sederhana dari FDM yaitu transmisi full-duplex FSK (Frequency Shift Keying). Contoh lainnya yaitu broadcast dan TV kabel.

Sinyal video hitam putih adalah modulasi AM pada sinyal carrier  $f_{cv}$ . Karena baseband dari sinyal video = 4 MHz maka sinyalnya sekarang menjadi  $f_{cv} - 0,75$  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 = 50 KHz. Dengan demikian sinyal TV dapat di-multiplex dengan FDM pada kabel CATV dengan bandwidth = 6 MHz.



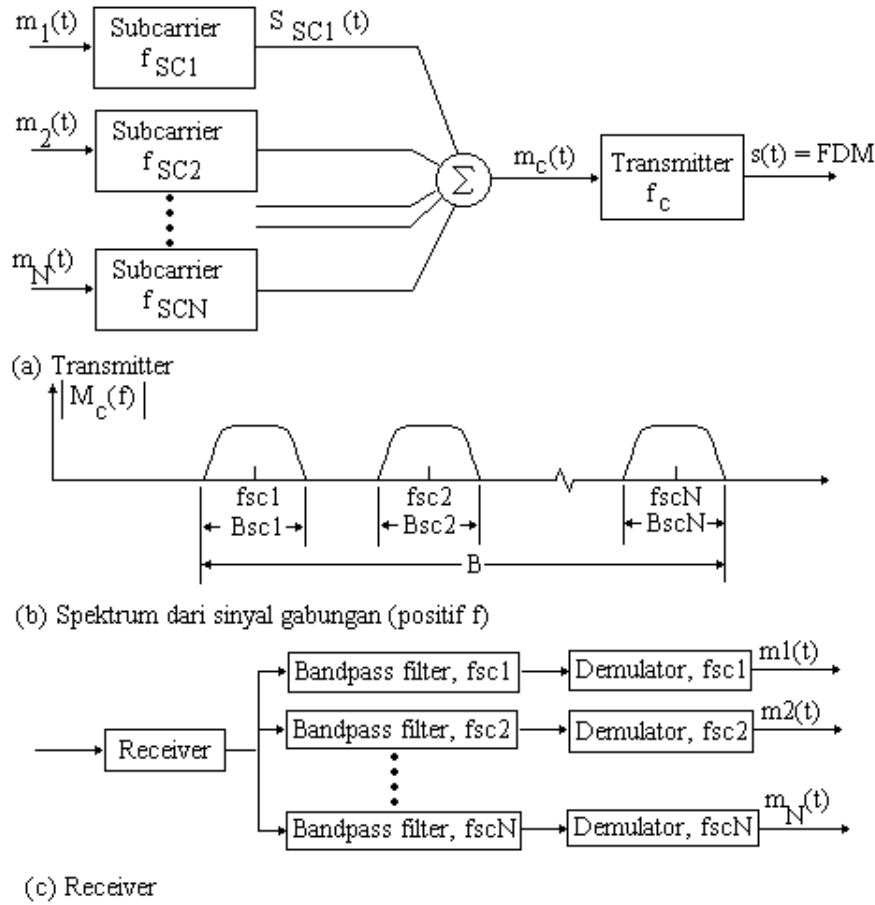
(a) Frequency-division multiplexing



(b) Time-division multiplexing

**Gambar 6.2. FDM dan TDM**

Gambar 6.4 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 6.4b menunjukkan hasilnya.

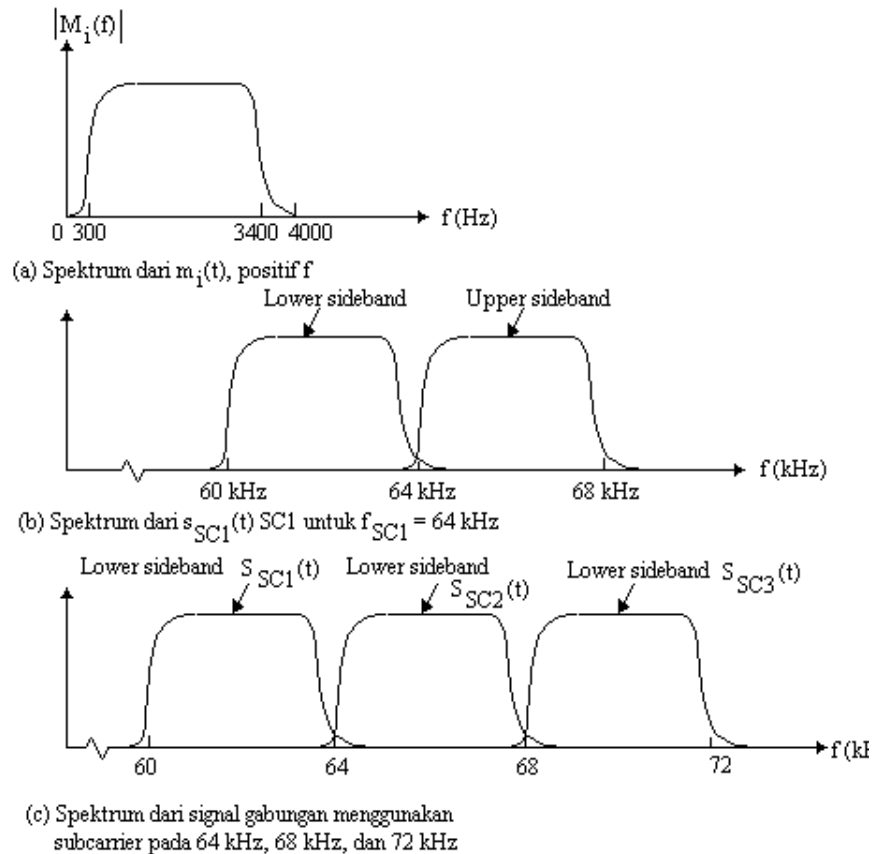


**Gambar 6.4. Frequency division Multiplexing.**

Sinyal gabungan tersebut mempunyai total bandwidth  $B$ , dimana

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

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 6.5. FDM dari tiga sinyal band suara.**

Gambar 6.5a menggambarkan spektrum sinyal suara (voice) dari 300 sampai 3400 Hz. Bila suatu sinyal diamplitudo modulasi pada carrier 64 KHz maka gambar spektrumnya seperti gambar 6.5b. Sinyal termodulasi mempunyai bandwidth 8 KHz dari 60 sampai 68 KHz. Tetapi yang digunakan hanya lower sideband-nya sehingga didapat gambar 6.5c, 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.

### *Carrier system*

Tiga level pertama dari definisi hierarki AT&T, dimana 12 channel voice dikombinasikan untuk menghasilkan suatu **group** sinyal dengan bandwidth  $12 \times 4$  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 552 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*

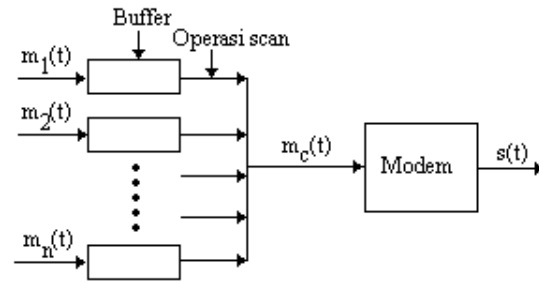
Digunakan ketika data rate dari medium melampaui data rate dari sinyal digital yang ditransmisi.

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.

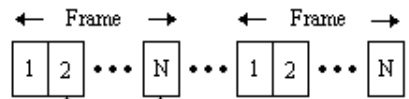
Gambar 6.7 memperlihatkan system synchronous TDM.

Gambar 6.7a, 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 6.7b 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.

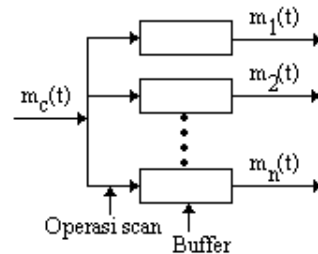


(a) Transmitter



Time slot : mungkin kosong atau diperkerjakan

(b) Frame-frame TDM



(c) Receiver

**Gambar 6.7. Synchronous time-division multiplexing.**

**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 6.7c, 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.

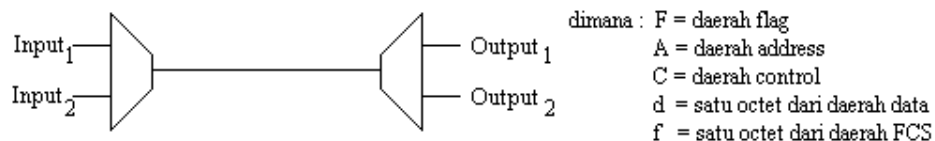
Ada 2 kunci mekanisme kontrol data link : flow control dan error control. Tetapi flow control tidak diperlukan bila multiplexer dan demultiplexer dihubungkan seperti gambar 6.1, data rate dari multiplexer tetap dan keduanya beroperasi pada kecepatan tersebut. Bila dihubungkan ke line output yang tidak 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 6.8, 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 interlaving 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 6.8. Konfigurasi pemakaian data link control pada Channel 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 :

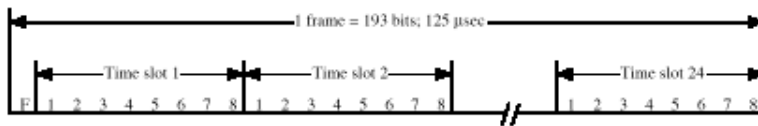
- Jika tiap sumber mempunyai clock yang terpisah, variasi antar clock-clock akan menyebabkan hilangnya synchronisasi.
- Data rate dari input data tidak bertalian dengan angka rasional sederhana.

Sehingga :

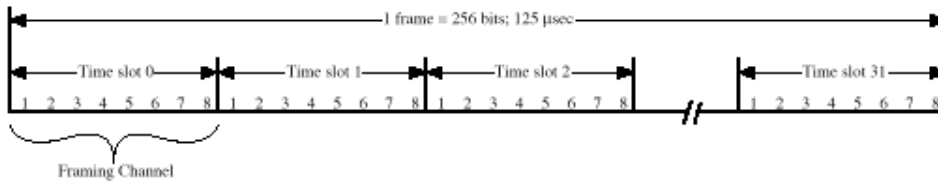
- Data rate yang keluar dari multiplexer, termasuk framing bit, lebih tinggi daripada jumlah maximum kecepatan yang masuk.
- Kapasitas ekstra dipakai oleh **stuffing extra dummy bit-bit** atau pulsa-pulsa ke dalam tiap sinyal yang masuk sampai kecepatannya naik ke clock sinyal yang dibangkitkan.
- Pulsa-pulsa stuffing dimasukkan ke lokasi yang tertentu didalam format frame multiplexer sehingga dapat dikenali dan dipindah ke demultiplexer.

### *Sistim-sistim Carrier*

Dasar dari hierarki TDM adalah format transmisi DS-1 (gambar 6.10) 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 6.10. 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 =  $8000 \times 193 = 1,544$  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 1,544 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 = 56 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.

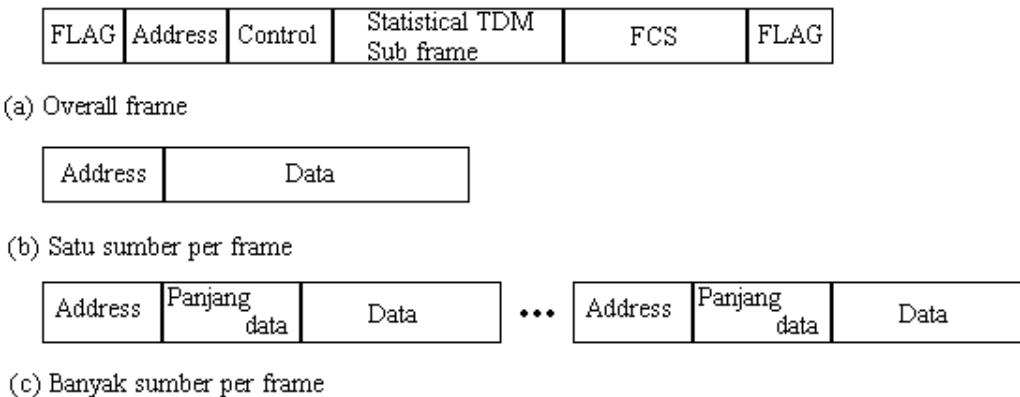
Untuk input, fungsi multiplexer ini untuk men-scan buffer-buffer input, mengumpulkan data sampai penuh, dan kemudian mengirim frame tersebut.

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.

Struktur framenya padat.

Sistemnya membuahi synchronous protokol seperti HDLC dimana data frame harus mengandung bit-bit kontrol untuk operasi multiplexing. Gambar 6.13 menunjukkan 2 format yang mungkin.



**Gambar 6.13. Format-format frame dari Statistical TDM.**

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].

### *Performa*

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.

Pertimbangan ukuran buffer dan data rate dari line ditentukan untuk menentukan waktu respon sistim dan kecepatan line multiplex. Semakin besar buffer, delay-nya 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

$\alpha$  = 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

$S = \frac{1}{M}$  = waktu yang dipakai untuk transmisi 1 bit, sec

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

$t_q$  = ukuran rata-rata delay oleh sumber input

Dianggap bahwa data yang sedang ditransmisi dalam 1000 bit frame. Bagian (a) dari gambar menunjukkan rata-rata frame yang harus disimpan sebagai fungsi dari rata-rata pemakaian line multiplex yang dinyatakan sebagai persen dari kapasitas total line.

Bagian (b) dari gambar memperlihatkan rata-rata delay yang dialami oleh sebuah frame sebagai fungsi dari pemakaian dan data rate. Kenaikan pemakaian, sebanding dengan keperluan buffer dan delay. Rata-rata delay akan kecil, jika kapasitas link dinaikkan, untuk pemakaian yang tetap.