

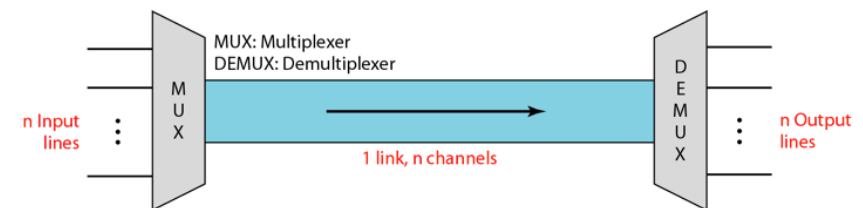


- Dalam komunikasi, sinyal yang telah dimultipleks disalurkan ke sebuah saluran komunikasi, yang mungkin juga merupakan medium transmisi fisik. Multipleksing membagi kapasitas saluran komunikasi tingkat-rendah menjadi beberapa saluran logik tingkat-tinggi, masing-masing satu untuk setiap sinyal pesan atau aliran data yang ingin disalurkan. Sebuah proses kebalikannya, dikenal dengan demultipleksing, dapat mengubah data asli di sisi penerima.
- Sebuah alat yang melakukan multipleksing disebut **Multiplekser (MUX)** dan alat yang melakukan proses yang berlawanan disebut **Demultiplekser (DEMUX)**.

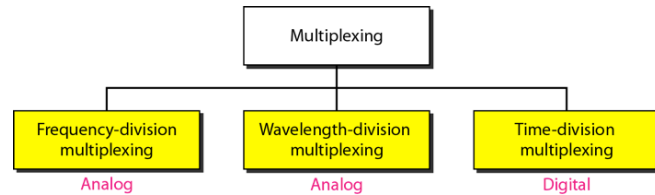
Multiplexing

- **Multiplexing** adalah suatu teknik mengirimkan lebih dari satu (banyak) informasi melalui satu saluran.
- Tujuan utamanya adalah untuk menghemat jumlah saluran fisik misalnya kabel, pemancar & penerima (transceiver), atau kabel optik.
- Contoh aplikasi dari teknik multiplexing ini adalah pada jaringan transmisi jarak jauh, baik yang menggunakan kabel maupun yang menggunakan media udara (wireless atau radio).
- Sebagai contoh, satu helai kabel optik Surabaya-Jakarta bisa dipakai untuk menyalurkan ribuan percakapan telepon. Idenya adalah bagaimana menggabungkan ribuan informasi percakapan (*voice*) yang berasal dari ribuan pelanggan telepon tanpa saling bercampur satu sama lain

Multiplexer - Demultiplexer



Jenis-jenis Multiplexing



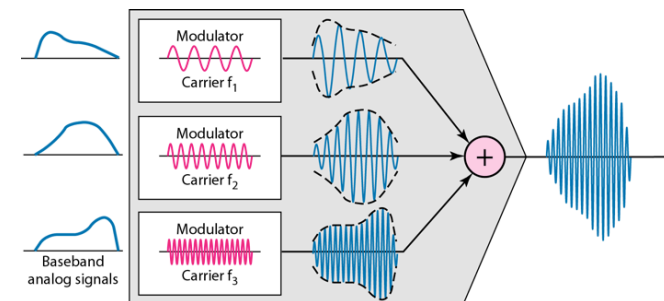
- Ilustrasi FDM, dimana jalur transmisi dibagi menjadi tiga bagian, dimana masing-masing mewakili saluran yang membawa satu transmisi.



Frequency Division Multiplexing (FDM)

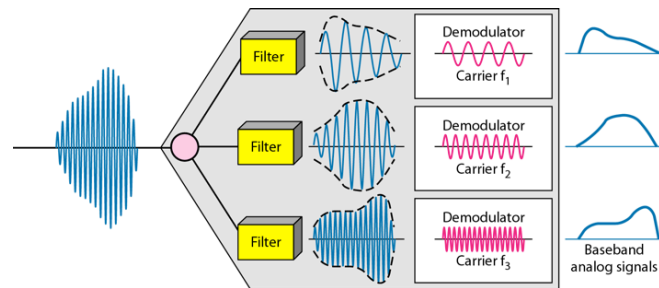
- **Frequency Division Multiplexing (FDM)** adalah teknik multiplexing analog yang menggabungkan sinyal analog. Teknik ini dapat diterapkan ketika bandwidth dari link (dalam Hertz) lebih besar dari bandwidth gabungan sinyal yang akan dikirim .
- Dalam FDM , sinyal yang dihasilkan oleh masing-masing perangkat pengirim memodulasi frekuensi pembawa yang berbeda. Sinyal-sinyal termodulasi kemudian digabungkan menjadi sinyal komposit tunggal yang dapat dibawa oleh link. Frekuensi pembawa (carrier) dipisahkan oleh bandwidth yang cukup untuk mengakomodasi sinyal termodulasi. Saluran dapat dipisahkan oleh **guard band** untuk mencegah sinyal dari tumpang tindih. Selain itu, frekuensi carrier tidak boleh mengganggu frekuensi data asli .

Multiplexer



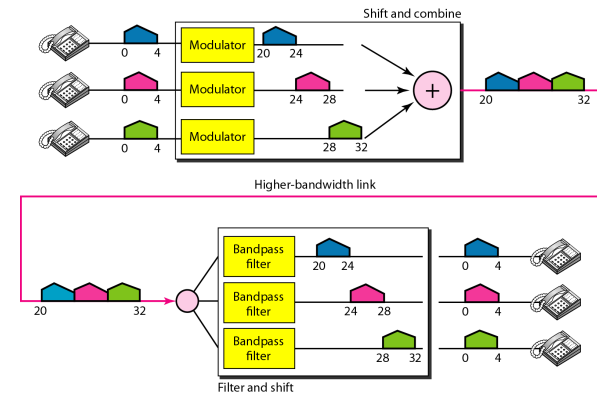
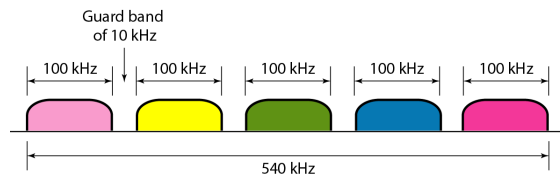
- Di dalam multiplexer, sinyal dimodulasi dengan frekuensi pembawa yang berbeda (f_1 , f_2 dan f_3). Sinyal termodulasi yang dihasilkan kemudian digabungkan menjadi sinyal komposit tunggal yang dikirim melalui link media yang memiliki bandwidth yang cukup untuk mengakomodasi itu

Demultiplexer

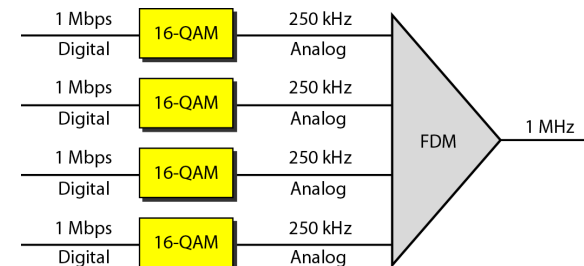


- Contoh FDM adalah siaran radio dan televisi, di mana beberapa sinyal radio pada frekuensi yang berbeda melewati udara pada waktu yang sama.
- Contoh lain adalah televisi kabel, di mana banyak saluran televisi yang dilakukan secara bersamaan pada satu kabel

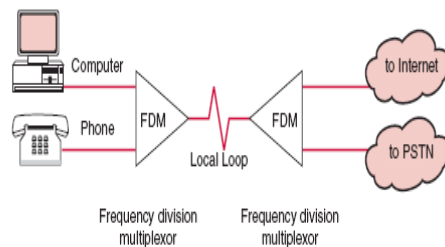
Guardband



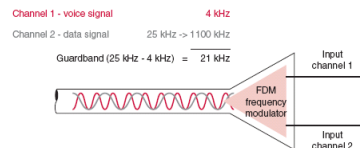
- Diketahui kanal satelit adalah analog, terdiri dari 4 buah kanal, setiap kanal memiliki bandwidth sebesar 250kHz. Setiap kanal berasal dari data digital dengan data rate sebesar 1Mbps yang dimodulasikan menggunakan modulasi 16QAM. Keempat kanal tersebut dimultiplex menggunakan FDM



Overall Configuration



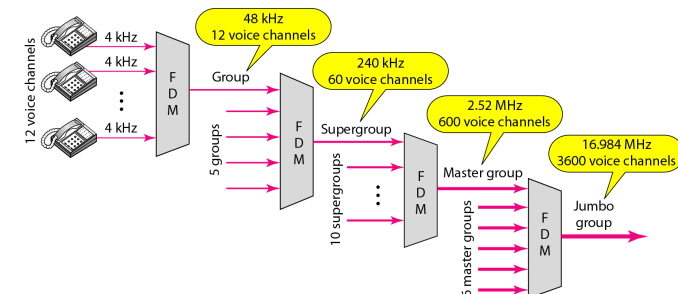
Inside the Local Loop



Aplikasi dari FDM

- Salah satu implementasi FDM adalah siaran radio, yang menggunakan udara sebagai media transmisinya. Untuk radio AM menempati band mulai dari 530 - 1700kHz. Tiap stasiun radio AM menempati bandwidth sebesar 10kHz. FDM juga digunakan pada siaran radio FM yang menempati band dari 88 - 108 MHz, masing-masing stasiun menempati bandwidth sebesar 200kHz.
- Contoh lain implementasi FDM adalah stasiun TV, dimana masing-masing stasiun TV menempati sebesar 6 MHz.
- Telepon generasi pertama (1G) juga menggunakan FDM. Masing-masing user menempati bandwidth sebesar 30kHz untuk masing-masing arah (Full-duplex). Suara dengan frekuensi 3kHz dimodulasi menggunakan FM, menghasilkan sinyal termodulasi sebesar 30kHz untuk masing-masing arah. (Berapa banyak pengguna yang dapat menggunakan telepon selular mereka secara bersamaan?)

Hirarki Analog

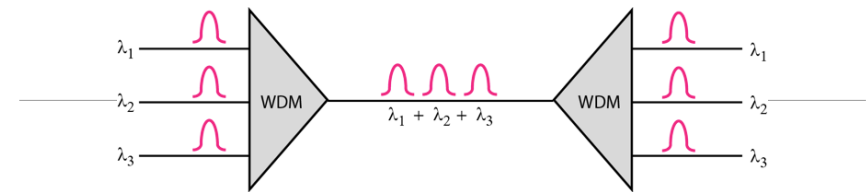


Kelebihan dan Kekurangan FDM

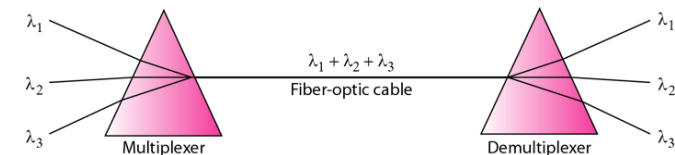
- Kelebihan, FDM tidak sensitif terhadap delay. Teknik untuk menyamakan kanal (**channel equalization**) yang diperlukan untuk sistem FDM tidak sekompleks seperti yang digunakan pada sistem TDM.
- Kekurangan, adanya kebutuhan untuk memfilter bandpass, yang harganya relatif mahal dan rumit untuk dibangun (penggunaan filter tersebut biasanya digunakan dalam transmitter dan receiver).
Penguat daya (**power amplifier**) di transmitter yang digunakan memiliki karakteristik nonlinear (penguat linear lebih kompleks untuk dibuat), dan penguatan nonlinear mengarah kepada pembuatan komponen spektral out-of-band yang dapat mengganggu saluran FDM yang lain.

Wavelength Division Multiplexing

- WDM dirancang untuk menggunakan kemampuan high-data-rate dari kabel serat optik. Kabel serat optik menyediakan **data rate** yang lebih besar dibanding dari data rate kabel tembaga. Penggunaan kabel optik secara *single-line* akan menyebabkan pemborosan terhadap bandwidth yang ada. Multiplexing memungkinkan untuk menggabungkan beberapa jalur (line) menjadi satu jalur.
- Konsep WDM sama seperti FDM, kecuali Multiplexing dan Demultiplexing melibatkan sinyal yang ditransmisikan melalui serat optik. Idennya adalah kita menggabungkan sinyal yang berbeda dari frekuensi yang berbeda. Perbedaannya adalah bahwa frekuensi yang digunakan sangat tinggi.



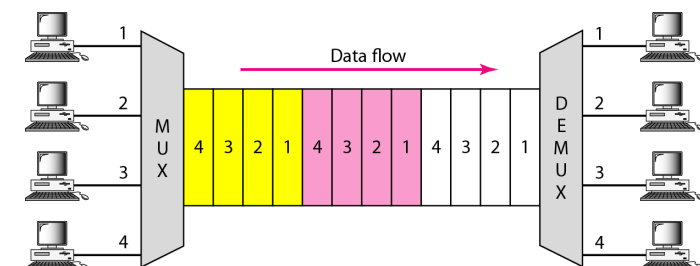
- Ide dasarnya adalah sederhana, hanya menggabungkan beberapa sumber cahaya menjadi satu pada multiplexer dan diuraikan kembali oleh demultiplexer.
- Untuk dapat menggabungkan dan memisahkan sumber cahaya ditangani dengan menggunakan prisma.



- Salah satu aplikasi dari WDM adalah jaringan SONET
- Metode yang terbaru disebut DWDM (Dense WDM), dimana jaringan ini memiliki jarak saluran yang sangat dekat satu sama lain.

Time Division Multiplexing (TDM)

- TDM adalah sesuatu proses digital yang memungkinkan beberapa koneksi untuk berbagi bandwidth yang tinggi dari link.
- Pembagian kanal-kanal menjadi sebuah keseluruhan output berdasarkan waktu
- Kanal TDM disebut juga timeslot.
- Selain kanal untuk user, diperlukan juga sinkronisasi agar receiver (demux) dapat menentukan awal dari channel pertama dari TDM, beberapa user dapat mengakses jaringan pada frekuensi yang sama tetapi pada waktu yang berlainan (bergiliran).



TDM is a digital multiplexing technique for combining several low-rate channels into one high-rate one.

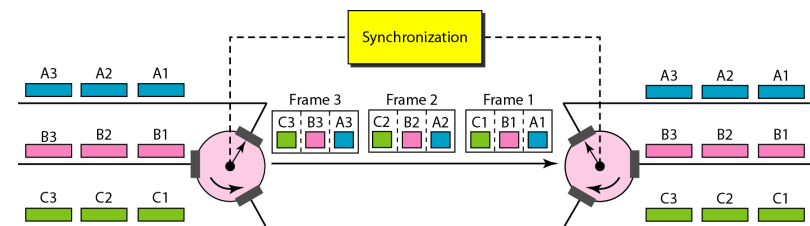
-
- Prinsip TDM adalah menerapkan prinsip penggiliran waktu pemakaian saluran transmisi dengan mengalokasikan satu slot waktu (time slot) bagi setiap pemakai saluran (user).
 - TDM biasanya digunakan untuk komunikasi point to point. Pada TDM, penambahan peralatan pengiriman data lebih mudah dilakukan.
 - TDM lebih efisien daripada FDM

Interleaving

- TDM menggunakan teknik interleaving yaitu menyelipkan satu atau sejumlah bit dari sejumlah sumber sinyal informasi dan menyalurkannya melalui satu saluran komunikasi. Hasilnya ialah aliran bit yang berasal dari sejumlah sumber informasi . Pengirim dan penerima harus sinkron agar informasi dari satu kanal dapat diterima oleh kanal yang tepat pada penerima.

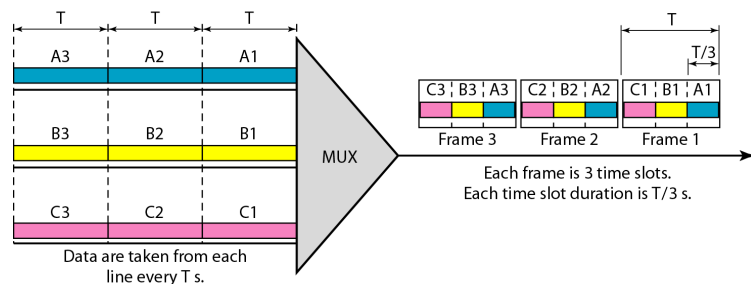
Contoh TDM

- PDH (Plesiochronous digital hierarchy) dan digantikan oleh SDH synchronous digital hierarchy (SDH) atau synchronous optical networking (SONET)
- GSM



- Implementasi TDM dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu secara **asinkron** dan secara **sinkron**.
- Waktu dibagi menjadi sejumlah time slot.
- Pada sistem sinkron waktu yang diberikan (time slot) kepada tiap pengirim (perangkat) lamanya tetap dan tidak dapat dipakai oleh pengirim lain. Giliran bagi pengirim tersebut tetap disediakan walaupun tidak dipakai sehingga time slot tersebut terbuang. Akibatnya saluran pada keluaran dapat tidak terpakai keseluruhan kapasitasnya

Synchronous Time Division Multiplexing



In synchronous TDM, the data rate of the link is n times faster, and the unit duration is n times shorter.

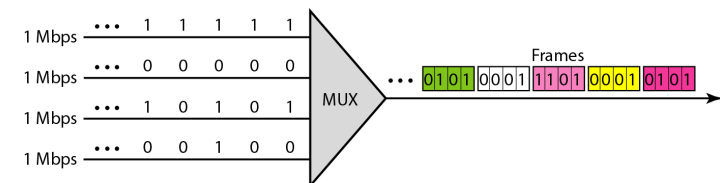
Jenis-jenis TDM

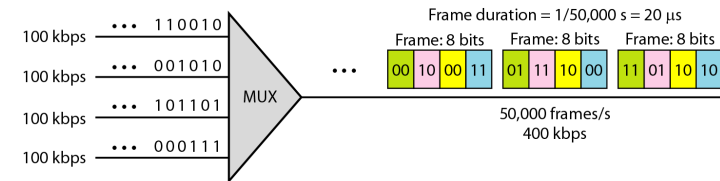
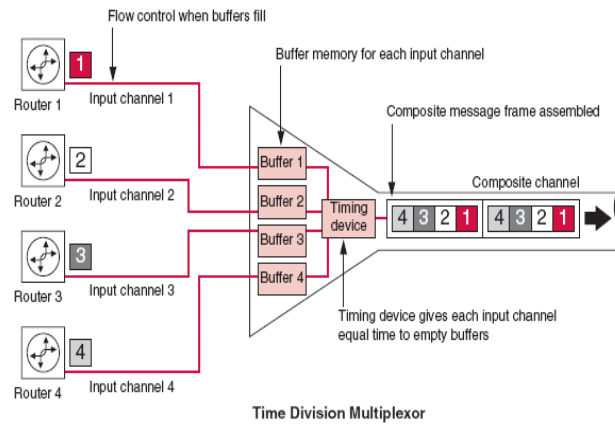
• Synchronous TDM

Disebut synchronous karena time slot-nya di alokasikan ke sumber-sumber tertentu dimana time slot untuk tiap sumber ditransmisikan. Dan dapat mengendalikan sumber-sumber dengan kecepatan yang berbeda-beda.

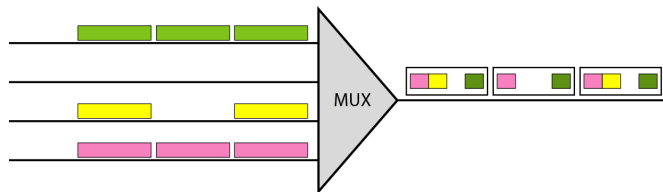
• Asynchronous TDM

Untuk mengoptimalkan penggunaan saluran dengan cara menghindari adanya slot waktu yang kosong akibat tidak adanya data (atau tidak aktifnya pengguna) pada saat sampling setiap input line, maka pada Asynchronous TDM proses sampling hanya dilakukan untuk input line yang aktif saja. Konsekuensi dari hal tersebut adalah perlunya menambahkan informasi kepemilikan data pada setiap slot waktu berupa identitas pengguna atau identitas input line yang bersangkutan.



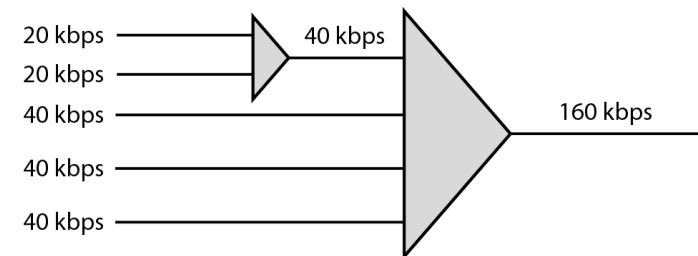


Empty Slots

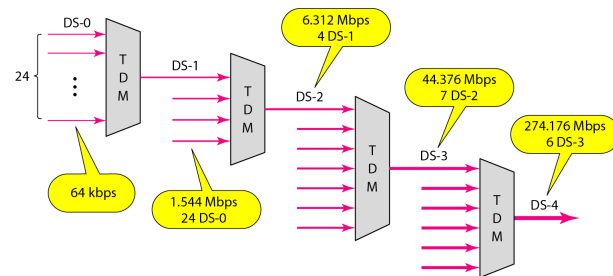


Multilevel Multiplexing

- Multilevel multiplexing adalah teknik yang digunakan ketika data rate dari masing-masing input adalah kelipatan daripada line yang lainnya.

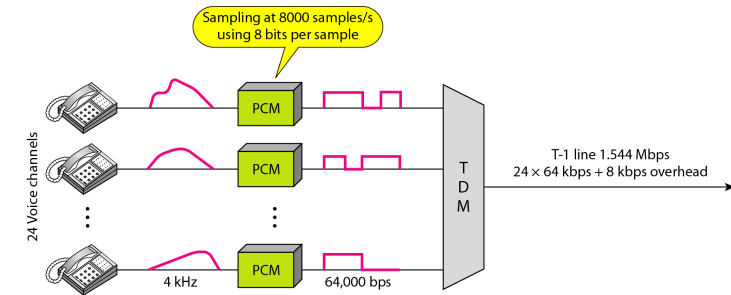


Digital Hierarchy



Service	Line	Rate (Mbps)	Voice Channels
DS-1	T-1	1.544	24
DS-2	T-2	6.312	96
DS-3	T-3	44.736	672
DS-4	T-4	274.176	4032

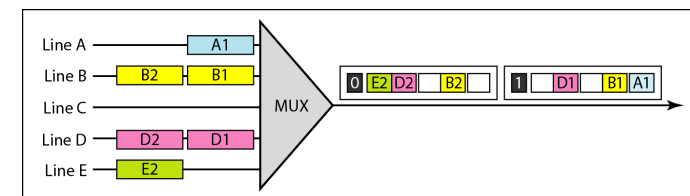
T-line Multiplexing untuk line Telepon



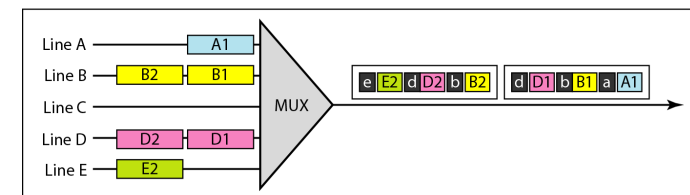
TDM Slot Comparison

Line	Rate (Mbps)	Voice Channels
E-1	2.048	30
E-2	8.448	120
E-3	34.368	480
E-4	139.264	1920

- T-1 digunakan di Amerika sedangkan E-1 digunakan di Eropa.



a. Synchronous TDM



b. Statistical TDM