

Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) sebagai Solusi Krisis Kapasitas *Bandwidth* pada Transmisi Data

Endah Sudarmilah
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Antisipasi kebutuhan kapasitas *bandwidth* yang besar dan kualitas yang tinggi untuk transmisi data sangat diperlukan. Hal ini merupakan akibat tuntutan kehandalan jaringan yang memadai, dan persaingan antar pemberi layanan telekomunikasi semakin ketat. DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) merupakan salah satu solusi. Teknologi ini merupakan teknologi penjamakan yang mengoptimalkan pemanfaatan *bandwidth* pada serat optis. Teknologi ini paling prospektif untuk memultipleks beberapa kanal dalam serat optis, karena teknologi ini membagi kanal dalam daerah panjang gelombang.

Kata Kunci: Teknologi DWDM, kapasitas *bandwidth*, transmisi data, penjamakan.

1. Pendahuluan

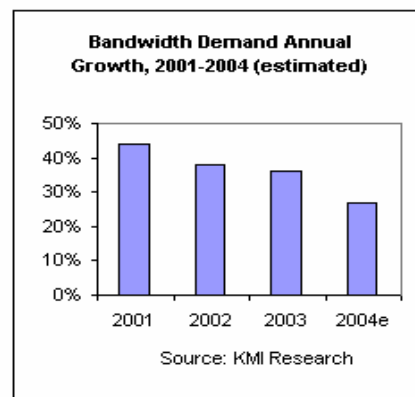
Semakin beragamnya layanan informasi, tuntutan kehandalan jaringan yang memadai, dan persaingan antar pemberi layanan telekomunikasi yang semakin ketat berakibat pada meningkatnya tuntutan sistem transmisi yang memiliki kapasitas *bandwidth* besar dan kualitas yang tinggi. Tingginya permintaan atas layanan transmisi data ini dapat ditunjukkan dengan Gambar 1.

Antisipasi kebutuhan *bandwidth* yang besar ini telah diupayakan dengan meningkatkan kualitas media transmisi yang digunakan, di antaranya dengan menggunakan serat optis. Serat optis digunakan sebagai media transmisi pilihan, karena memiliki beberapa keunggulan, antara lain memiliki *bandwidth* yang besar (25 THz), redaman transmisi kecil, ukuran kecil, dan tidak terpengaruh oleh gelombang elektromagnetis. Namun dengan teknologi serat optis konvensional, *bandwidth* potensial tersebut belum dapat dimanfaatkan secara optimal.

Saat ini muncul teknologi untuk memanfaatkan *bandwidth* serat optis yang besar ini dengan metode penjamakan. Pada komunikasi serat optis terdapat beberapa metode penjamakan, yaitu TDM (*Time Division Multiplexing*) dan WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) yang selanjutnya berkembang menjadi DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*). Saat ini teknologi DWDM merupakan teknologi paling prospektif untuk memultipleks beberapa kanal dalam serat optis, karena teknologi ini membagi kanal dalam daerah panjang gelombang, sehingga lebih mudah diakses dalam serat optis dibandingkan pembagian atas waktu pada TDM.

2. Solusi Peningkatan kapasitas Bandwidth

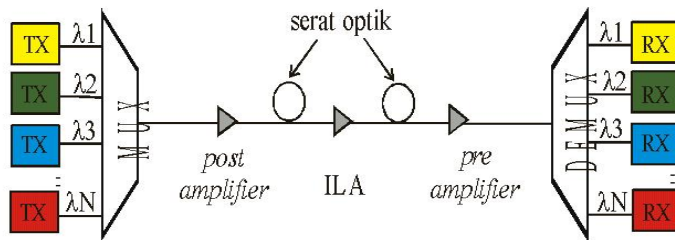
Perubahan infrastruktur telekomunikasi yang sangat mendasar terjadi pada awal tahun 1980, yaitu penggunaan komputer dan kabel-serat optis, menggantikan fungsi *switch CO* (*central office*) dan saluran kabel tembaga. SONET/SDH diterima sebagai standar pembangkitan sinyal bagi industri telekomunikasi. SONET/SDH merupakan suatu kumpulan standar yang mampu meningkatkan keamanan, *bandwidth*, efisiensi, dan kehandalan jaringan. Dengan menggunakan teknologi SONET/SDH, perusahaan telekomunikasi dapat meningkatkan kapasitas transmisi menjadi 2.5 Gbps untuk standar STM-16/OC-48, bahkan 10 Gbps untuk STM-64/OC-192. Meskipun SONET/SDH



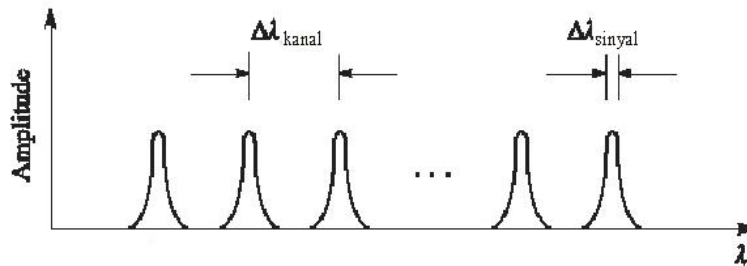
Gambar 1. Pertumbuhan permintaan Bandwidth



Gambar 2. Piramida evolusi DWDM



Gambar 3. Sistem DWDM



Gambar 4. Spasi kanal pada sistem DWDM

telah mampu meningkatkan kecepatan transmisi secara dramatis, dan memanfaatkan jaringan serat optis dengan sangat efektif, namun permintaan pasar terhadap *bandwidth* melebihi kapasitas jaringan yang tersedia.

Metode untuk mendapatkan kapasitas transmisi yang lebih tinggi, dijalankan seperti berikut.

1. Pengadaan jaringan serat optis baru.
Metode ini memerlukan biaya investasi yang sangat besar, perkiraan biaya yang diperlukan untuk membangun sebuah jaringan serat optis adalah \$70.000/mil.
2. Investasi untuk teknologi TDM yang memiliki kapasitas yang lebih tinggi.
Teknologi TDM mampu melewati sinyal pada kecepatan 2.4 Gbps per serat, bahkan 10 Gbps per serat. Namun terdapat hambatan fisis pada serat yang menyulitkan untuk mendapatkan kecepatan transmisi yang lebih tinggi.

3. Penerapan teknologi DWDM.
Metode ini sangat efektif dan efisien untuk meningkatkan kapasitas *bandwidth* jaringan. Teknologi DWDM mampu melewati sinyal dalam jumlah yang sangat besar. Sebuah ilustrasi, jaringan DWDM 40 kanal, dengan masing-masing kanal digunakan untuk melewati sinyal STM 16 (2,5 Gbps) mampu menghasilkan kapasitas total 100 Gbps per serat.

3. DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)

Pada awal tahun 1980 diperkenalkan teknologi WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), yang mampu memanfaatkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda (tiap panjang gelombang mengandung sinyal informasi yang berbeda) yang kemudian dimultipleks menjadi satu

sinyal agar dapat dikirimkan dalam satu utas serat optis secara simultan. WDM pada saat itu hanya mempunyai 2 kanal yang terletak pada panjang gelombang 1310 dan 1550 nm.

Teknologi DWDM merupakan perbaikan teknologi WDM yang telah dikembangkan sebelumnya, yaitu memperkecil spasi antar kanal, sehingga terjadi peningkatan jumlah kanal yang mampu dimultipleks. Inti perbaikan terdapat pada infrastruktur yang digunakan, seperti jenis laser, tapis, dan penguat. Perbaikan teknologi ini dipicu dengan adanya perkembangan teknologi fotonik, seperti penemuan EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) sebagai penguat optis, dan laser dengan presisi yang lebih tinggi yang disebut teknologi DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*). Penemuan EDFA memungkinkan DWDM beroperasi pada daerah 1550 nm yang memiliki atenuasi rendah, sementara sebagian besar sistem WDM konvensional masih beroperasi pada daerah 1310 nm dengan tingkat atenuasi lebih tinggi.

3.1. Konsep Dasar DWDM

Masukan sistem DWDM berupa trafik yang memiliki format data dan pesat bit yang berbeda dihubungkan dengan laser DWDM. Laser tersebut akan mengubah masing-masing sinyal informasi dan memancarkan dalam panjang gelombang yang berbeda-beda $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_N$. Kemudian masing-masing panjang gelombang tersebut dimasukkan ke dalam MUX (*multiplexer*), dan keluaran disuntikkan ke dalam sehelai serat optis. Selanjutnya keluaran MUX ini akan ditransmisikan sepanjang jaringan serat. Untuk mengantisipasi pelemahan sinyal, maka diperlukan penguatan sinyal sepanjang jalur transmisi. Sebelum ditransmisikan sinyal ini diperkuat terlebih dahulu dengan menggunakan penguat akhir (*post-amplifier*) untuk mencapai tingkat daya sinyal yang cukup. ILA digunakan untuk menguatkan sinyal sepanjang saluran transmisi. Sedangkan penguat awal (*pre-amplifier*) digunakan untuk menguatkan sinyal sebelum dideteksi. DEMUX (*demultiplexer*) digunakan pada ujung penerima untuk memisahkan panjang gelombang-panjang gelombang, yang selanjutnya akan dideteksi menggunakan foto-detektor. *Multiplexing* serentak kanal masukan dan *demultiplexing* kanal keluaran dapat dilakukan oleh komponen yang sama, yaitu *multi/demultiplexer*.

Sistem DWDM memiliki lapisan fotonika utama yang bertanggung jawab untuk melewatkan data optis melalui jaringan, dengan beberapa prinsip dasar, yaitu spasi kanal, arah aliran sinyal, dan pelacakan sinyal.

3.2. Spasi kanal

Spasi kanal merupakan jarak minimum antar panjang gelombang agar tidak terjadi interferensi. Standarisasi spasi kanal perlu dilakukan agar sistem DWDM dari berbagai *vendor* yang berbeda dapat saling berkomunikasi. Jika panjang gelombang operasi berbanding terbalik dengan frekuensi, hubungan bedanya dikenal dalam panjang gelombang masing-masing sinyal. Faktor yang mengendalikan besar spasi kanal adalah *bandwidth* pada penguat optis dan

kemampuan penerima mengidentifikasi dua set panjang gelombang yang lebih rendah dalam spasi kanal. Kedua faktor itulah yang membatasi jumlah panjang gelombang yang melewati penguat.

Saat ini terdapat dua pilihan untuk melakukan standarisasi kanal, yaitu menggunakan spasi lamda atau spasi frekuensi. Hubungan antara spasi lamda dan spasi frekuensi adalah:

$$\Delta f \approx - \frac{c}{\lambda^2} \Delta \lambda \dots\dots\dots(1)$$

dengan:

- Δf = spasi frekuensi (GHz)
- $\Delta \lambda$ = spasi lamda (nm)
- λ = panjang gelombang daerah operasi (nm)
- c = 3×10^8 m/s.

Konversi spasi lamda ke spasi frekuensi (dan sebaliknya) akan menghasilkan nilai yang kurang presisi, sehingga sistem DWDM dengan satuan yang berbeda akan mengalami kesulitan dalam berkomunikasi. ITU-T kemudian menggunakan spasi frekuensi sebagai standar penentuan spasi kanal.

3.3. Kelebihan Teknologi DWDM

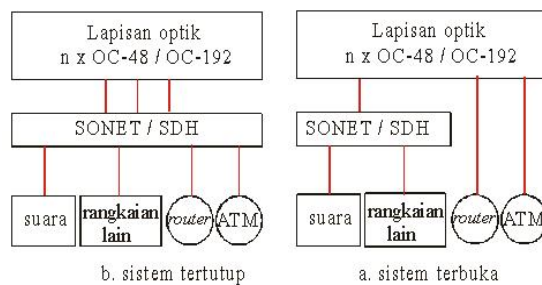
Kelebihan teknologi DWDM adalah transparan terhadap berbagai trafik. Kanal informasi masing-masing panjang gelombang dapat digunakan untuk melewatkan trafik dengan format data dan pesat bit yang berbeda. Ketransparanan sistem DWDM dan kemampuan *add/drop* akan memudahkan penyedia layanan untuk melakukan penambahan dan atau pemisahan trafik. Berkaitan dengan ketransparanan sistem DWDM, dikenal a dua sistem antarmuka, yaitu sistem terbuka dan sistem tertutup, ditunjukkan oleh Gambar 5. Elemen jaringan DWDM sistem terbuka memungkinkan penjamak SONET/SDH, *switch* IP dan ATM disambungkan secara langsung pada jaringan DWDM. Sedangkan pada sistem tertutup, *switch* IP dan atau ATM tidak dapat secara langsung dihubungkan ke jaringan DWDM, namun memerlukan perantara penjamak SONET/SDH yang berasal dari *vendor* yang sama dengan *vendor* perangkat DWDM yang digunakan.

Perbandingan teknologi serat optis konvensional dan teknologi DWDM adlah sebagai berikut.

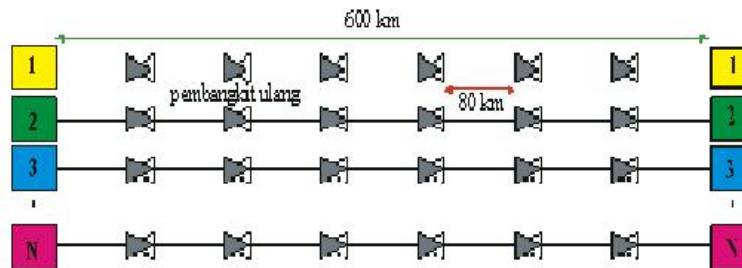
1. Kapasitas serat optis yang dipakai lebih optimal. DWDM dapat mengakomodir banyak cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda dalam sehelai serat optis, sedangkan teknologi serat optis konvensional hanya dapat mentransmisikan satu panjang gelombang dalam sehelai serat optis.

Tabel 1. Konversi spasi lamda ke spasi frekuensi ($\lambda=1550$ nm)

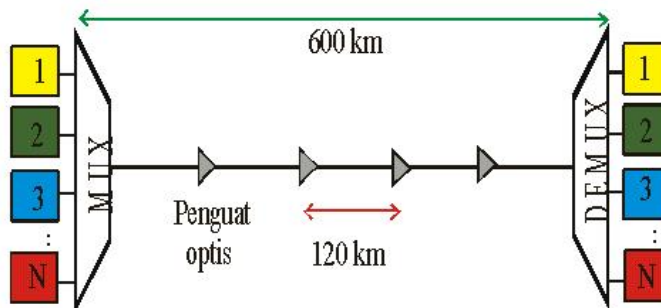
Spasi Lamda (nm)	Spasi Frekuensi (GHz)
0,4	50
0,8	100
1	120
1,6	200
2	250



Gambar 5. Perbandingan sistem DWDM terbuka dan tertutup



Gambar 6. Teknologi serat optis konvensional



Gambar 7. Teknologi DWDM

2. Instalasi jaringan lebih sederhana. Penambahan kapasitas jaringan pada teknologi serat optis konvensional dilakukan dengan memasang kabel serat optis baru, sedangkan pada DWDM cukup dilakukan penambahan beberapa panjang gelombang baru tanpa harus melakukan perubahan fisik jaringan.
3. Penggunaan penguat lebih efisien. DWDM menggunakan penguat optis yang dapat menguatkan beberapa panjang gelombang sekaligus dengan interval penguatan yang lebih jauh, sehingga penguat optis yang digunakan pada DWDM lebih sedikit dibandingkan pembangkit-ulang yang digunakan pada teknologi serat optis konvensional. Penguat optis yang digunakan dalam teknologi DWDM adalah EDFA. EDFA merupakan serat optis dari bahan silika (SiO₂) dengan intinya (*core*) telah dikotori dengan bahan Erbium (Er³⁺), termasuk ke dalam golongan *Rare-Earth Doped-Fibre Amplifier*.

Berikut ini adalah beberapa keunggulan yang dimiliki oleh EDFA, sehingga dapat mendukung teknologi DWDM:

- a. Faktor peroleh EDFA sangat tinggi
EDFA pada tahap eksperimen memiliki gain sebesar 40 dB, sedangkan perangkat EDFA komersial mempunyai gain 20-30 dB dengan memompa energi sebesar 10 mW.
- b. *Bandwidth* lebar
Ion Erbium melepaskan foton dengan interval panjang gelombang 1.530-1.560 nm atau sama dengan *bandwidth* sebesar 3 THz. Pada interval tersebut redaman yang terjadi pada serat optis hanya berkisar 0,2 dB/km, sehingga EDFA dapat memperkuat puluhan sinyal dengan panjang gelombang yang berbeda secara bersamaan.
- c. *Noise figure* EDFA sangat kecil
Noise figure merupakan perbandingan antara S/N_{in} dengan S/N_{out}, sehingga untuk transmisi jarak-jauh akan menghasilkan akumulasi derau optis, namun dengan adanya tapis optis pada perangkat EDFA maka *noise figure* yang muncul sangat kecil.

- d. Daya keluaran yang besar
Daya keluaran pada EDFA meningkat seiring dengan meningkatnya daya diode laser (*optical pump*).
- e. Kemudahan instalasi
EDFA mudah diinstalasi karena EDFA juga berbentuk serat.
4. Biaya pemasangan, pemeliharaan dan pengembangan lebih efisien. Hal ini akibat arsitektur jaringan DWDM lebih sederhana dibandingkan arsitektur jaringan serat optis konvensional.

4. Kesimpulan

Dengan analisis perbandingan teknologi DWDM dengan serat optis konvensional serta dengan berbagai kelebihan yang dimiliki oleh teknologi DWDM merupakan suatu solusi yang tepat untuk krisis kapasitas pada transmisi data dengan kelebihan sebagai berikut.

- Transparan terhadap berbagai trafik yang memungkinkan penjamak SONET/SDH, *switch* IP, dan ATM.
- Kapasitas serat optis yang dipakai lebih optimal.
- Instalasi jaringan lebih sederhana.
- Penggunaan penguat lebih efisien.
- Biaya pemasangan, pemeliharaan, dan pengembangan lebih efisien.

Daftar Pustaka

- [1] Awagral, G., 1997, *Fiber Optic Communication Systems*, 2nd ed, John Wiley & Sons, New York
- [2] <http://itc.mit.edu/itel/students/papers/dwdm.pdf>
- [3] <http://www.cedmagazine.com/ced/2001/0901/DWDM%20chart.PDF>
- [4] <http://www.iec.org/online/tutorials/acrobat/dwdm.pdf>
- [5] http://www.iec.org/online/tutorials/acrobat/dwdm_test.pdf
- [6] <http://www.telecomweb.com/cgi/catalog>
- [7] <http://www.teracom.com/productlines/rifocs/DWDM.pdf>
- [8] Palais J.C., 1993, *Fiber Optic Communication*, 2nd ed, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey
- [9] Ramaswami, R. and Sivarajan, K., 1998, *Optical Networks: A Practical Perspective*, Academic Press Morgan Kaufmann
- [10] Sri Widodo Th., 1997, *Komunikasi Optik*, Andi Offset, Yogyakarta
- [11] Stern, T. and Bala, K., 1999, *Multi Wavelength Optical Networks: A Layered Approach*, Addison Wesley

