



ISSN 1411 - 5972

JURNAL Teknologi

(MAJALAH ILMIAH FAKULTAS TEKNIK - UNPAK)

Volume I, Edisi 23, Periode Juli-Desember 2013

	Hal.
» Kata Pengantar	i
» Daftar Isi	ii
» Pemanfaatan Isotop Lingkungan Di Daerah Cekungan Airtanah Bandung (Fajar Hendrasto dan Bambang Sunarwan)	1
» Kegagalan Konstruksi Pada Musibah Jembatan Suramadu (Surabaya-Madura) (Budiono)	29
» Manajemen Resiko Pada Pengendalian Banjir di Sungai Ciliwung (Ike Pontiawati dan Heny Purwanti)	46
» Teknologi <i>Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)</i> Pada Jaringan Optik (Yamato dan Evyta Wismiana)	68

JURNAL TEKNOLOGI

Vol. I, Edisi 23, Periode Juli-Desember 2013. ISSN 1411 - 5972

PELINDUNG

DR. H. Bibin Rubini, M.Pd.
(Rektor UNPAK)

PENANGGUNG JAWAB

DR. Ir. Titik Penta Artiningsih, MT.
(Dekan Fakultas Teknik)

PENASEHAT/KONSULTAN (Ex. Officio)

- Kajur Teknik Sipil
- Kajur Perencanaan Wilayah Dan Kota
- Kajur Teknik Geodesi
- Kajur Teknik Elektro
- Kajur Teknik Geologi

PIMPINAN REDAKSI

DR. Ir. Bambang Sunarwan, MT.

SEKRETARIS REDAKSI

Ir. M.A. Karmadi

ANGGOTA REDAKSI

Ir. Singgih Irianto, MSi., Ir. Teti Syahrulyati, M.Si., DR. Ir. Rochman Djaja AH. M.Surv., Ir. Ichwan Arif, MT., Ir. Budi Arief, MT., Ir. Dede Suhendi, MT., DR. Ir. Janthy T. Hidayat, M.Si., Ir. Akhmad Syafuan, MT., Heny Purwanti, ST., MT.

PEMBANTU UMUM

Sudarsono

CATATAN :

JURNAL TEKNOLOGI UNPAK, sebagai majalah ilmiah, direncanakan terbit setiap 6 (enam) bulan. Kehadirannya diharapkan mampu menjadi media komunikasi dan forum pembahasan keilmuan bagi staf pengajar dan mahasiswa, khususnya di lingkungan Fakultas Teknik - UNPAK. Untuk kelangsungan penerbitan, Redaksi berharap para ilmiawan sebagai pakar ilmu pengetahuan dan teknologi berkenan mengirimkan tulisan bebas dan kreatif berbentuk tulisan populer, hasil penelitian, atau gagasan orisinal yang segar.

Pengiriman naskah ditulis dengan bahasa Indonesia atau Inggris dilengkapi dengan abstrak (tidak lebih dari 200 kata), ukuran kuarto/A4, ditulis dengan urutan **Judul, Nama Penulis, Abstrak, Isi Tulisan dan Daftar Pustaka**, dilengkapi dengan **Riwayat Pendidikan/Pekerjaan** terakhir Penulis. **Panjang naskah** disarankan tidak lebih dari 10 halaman atau 6000 kata, disertakan copy disket tulisan.

Bila diterima, Redaksi akan mengedit sesuai gaya Jurnal Teknologi - UNPAK

TEKNOLOGI *DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING* (DWDM) PADA JARINGAN OPTIK

Yamato & Evyta Wismiana

Dosen Jurusan Teknik Elektro - Fakultas Teknik, Universitas Pakuan, Bogor
ymt010@yahoo.co.id

ABSTRAK

Perkembangan teknologi *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) pada jaringan optik yang didorong oleh kebutuhan akan kapasitas transmisi yang sangat besar telah mengakibatkan perubahan yang cepat dalam penyediaan kapasitas bandwidth yang besar dalam jaringan. Sistem transport kanal dalam domain panjang gelombang ini memberikan fleksibilitas yang tinggi bagi penyelenggara jaringan dalam memenuhi kebutuhan yang ada baik masa kini maupun masa akan datang.

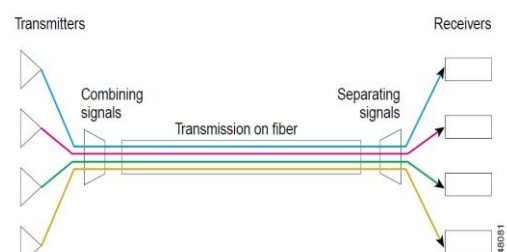
Teknologi DWDM pada jaringan optik saat ini diyakini akan menjadi teknologi yang berperan dimasa depan, dimana banyak kajian dari berbagai lembaga riset menyatakan dan meyakini bahwa perkembangan teknologi masa depan, yang akan didominasi oleh trafik *packet switch*, akan ditentukan oleh faktor perkembangan teknologi *service node*-nya saja (perangkat *packet switch*), karena sudah tidak ada keraguan bahwa di sisi jaringan transport hanya DWDM yang merupakan kandidat utama. Dan kemampuan dari service node akan dipengaruhi oleh kemampuan dari teknologi DWDM dalam menyediakan kapasitas besar dalam jaringan. Terbukti teknologi DWDM ini memang memiliki keunggulan dalam hal tersebut. Secara umum ada beberapa cara alternatif yang dapat ditempuh untuk memenuhi kebutuhan kapasitas akibat perkembangan trafik yang sangat cepat,

Kata Kunci : DWDM, Packet Switch, Kapasitas transmisi, Bandwidth

1. PENDAHULUAN

Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) merupakan suatu teknik transmisi yang yang memanfaatkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda sebagai kanal-kanal informasi, sehingga setelah dilakukan proses

multiplexing seluruh panjang gelombang tersebut dapat ditransmisikan melalui sebuah serat optik.

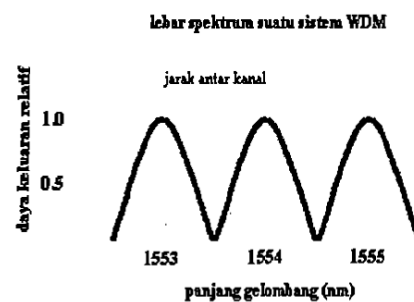


Gambar 1. Prinsip dasar DWDM

Teknologi DWDM adalah teknologi dengan memanfaatkan sistem SDH (Synchronous Digital Hierarchy) yang sudah ada (solusi terintegrasi) dengan memultiplekskan sumber-sumber sinyal yang ada. Menurut definisi, teknologi DWDM dinyatakan sebagai suatu teknologi jaringan transport yang memiliki kemampuan untuk membawa sejumlah panjang gelombang (4, 8, 16, 32, dan seterusnya) dalam satu fiber tunggal. Artinya, apabila dalam satu fiber itu dipakai empat gelombang, maka kecepatan transmisinya menjadi 4x10 Gbs (kecepatan awal dengan menggunakan teknologi SDH).

Teknologi DWDM beroperasi dalam sinyal dan domain optik dan memberikan fleksibilitas yang cukup tinggi untuk memenuhi kebutuhan akan kapasitas transmisi yang besar dalam jaringan. Kemampuannya dalam hal ini diyakini banyak orang akan terus berkembang yang ditandai dengan semakin banyaknya jumlah panjang gelombang yang mampu untuk ditransmisikan dalam satu fiber. Penggunaan teknologi DWDM menawarkan kemudahan dalam hal peningkatan kapasitas transmisi dalam suatu sistem komunikasi serat optik, khususnya kabel laut. Hal ini dimungkinkan karena setiap sumber data memiliki sumber optiknya masing-masing, yang kemudian digabungkan ke dalam serat optik. Meski demikian besarnya daya untuk masing-masing sumber optik mesti dibatasi karena serat optik yang

dipergunakan akan mengalami kenonlinearan apabila jumlah total daya dari sumber-sumber optik tersebut melebihi suatu ambang nilai, yang besarnya tergantung pada jenis kenonlinearannya. Hal ini diatasi dengan pengaturan jarak antara kanal yang ditunjukkan gambar 2. [1]



Gambar 2. Pengaturan Jarak antar kanal

Kemampuannya dalam hal ini diyakini banyak orang akan terus berkembang yang ditandai dengan semakin banyaknya jumlah panjang gelombang yang mampu untuk ditransmisikan dalam satu serat (saat ini ada yang sudah mampu hingga sekitar 400 panjang gelombang).

Jumlah panjang gelombang yang dimungkinkan untuk ditransmisikan dalam jaringan ini terus berkembang karena disebabkan oleh beberapa hal yaitu:

1. Sistem DWDM mampu untuk mengakomodasi karakteristik *fiber* yang mengacu pada rekomendasi ITU-T seri G.652 dan G.653, yang umum digunakan pada jaringan eksisting.

2. Channel-Spacing,

Pengembangan sistem DWDM oleh masing-masing pabrikan dilakukan dengan mempersempit jarak antar panjang gelombang yang berdekatan, atau yang lebih dikenal dengan istilah *channel spacing*. Dalam rekomendasi ITU-T seri G.692 telah dinyatakan bahwa *channel spacing* yang mungkin adalah 50 GHz, 100 GHz dan 200 GHz atau lebih.

3. Kemampuan komponen *transmitter* dan *receiver*.

Kemampuan *transmitter* dan *receiver* dalam mengirimkan dan menerima panjang gelombang yang mungkin untuk ditransmisikan sangat mempengaruhi kemampuan dan performansi jaringan secara keseluruhan. Kedua komponen ini memiliki tingkat keakuratan yang tinggi dalam mengalokasikan kanal yang akan ditransmisikan dan diterima dalam bentuk panjang gelombang. Komponen ini sebaiknya mampu untuk meredam efek-efek *return loss* dan interferensi antar sinyal yang berdekatan yang umum terjadi dalam jaringan optik DWDM.

4. Kemampuan penguat optik (*optical amplifier*)

Komponen penguat optik besar perannya dalam perkembangan teknologi DWDM. Perangkat ini digunakan sebagai bagian dari sistem untuk memperbesar kemampuan jarak tempuh sinyal dengan melakukan proses penguatan sinyal dan

proses 3R (*reshaping, regenerating, dan retiming*) dalam rangka menjaga kualitas sinyal di lokasi-lokasi titik antara (*intermediate node*). Kemampuan DWDM untuk meningkatkan kapasitas dengan menggunakan kabel eksisting (ITU-T G.652) adalah salah satu keunggulan utamanya. Dengan kemampuan tersebut, DWDM akan mengurangi kompleksitas dan biaya yang dibutuhkan dalam penambahan *bandwidth*.

Dalam aplikasi DWDM terdapat beberapa elemen yang memiliki spesifikasi khusus disesuaikan dengan kebutuhan sistem :

1. Wavelength Multiplexer atau Wavelength Demultiplexer

Berfungsi untuk memultiplikasi kanal-kanal panjang gelombang optik yang akan ditransmisikan dalam serat optik. Sedangkan Wavelength Demultiplexer berfungsi untuk mendemultiplikasi kembali kanal panjang gelombang menjadi seperti semula.

2. Optical Add/Drop Multiplexer (OADM)

Diantara titik multipleksing dan demultipleksing dalam sistem DWDM merupakan daerah dimana berbagai macam panjang gelombang berada pada beberapa titik sepanjang span ini sering diinginkan untuk menghilangkan atau menambah dengan satu atau lebih panjang gelombang. *Optical Add/Drop Multiplexer* (OADM) inilah yang digunakan untuk melewati sinyal

dan melakukan fungsi *add and drop* yang bekerja pada level optik.

3. Optical Cross Connect (OXC)
Perangkat *Optical Cross Connect* (OXC) ini melakukan proses switching tanpa terlebih dahulu melakukan konversi OEO dan berfungsi untuk merutekan kanal panjang gelombang. OXC ini berukuran $N \times N$ dan biasa digunakan dalam konfigurasi jaringan *ring* yang memiliki banyak *node* terminal.

4. Optical Amplifier (OA)

Merupakan penguat optik yang bekerja di level optik, yang dapat berfungsi sebagai *pre-amplifier*, *in line-amplifier* dan *post-amplifier*. Untuk mendukung sistem yang mentransmisikan informasi dengan kapasitas tinggi, pemilihan serat optik yang tepat sebagai media transmisi juga perlu diperhatikan.

Keunggulan DWDM sebagai berikut:

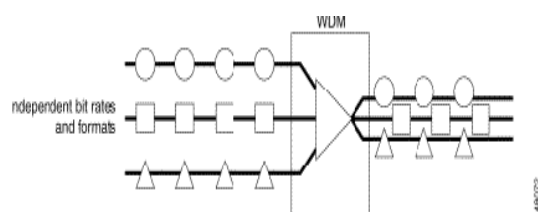
- Tepat untuk diimplementasikan pada jaringan telekomunikasi jarak jauh (long haul) baik untuk sistem point-to-point maupun ring topology.
- Lebih fleksibel untuk mengantisipasi pertumbuhan trafik yang tidak terprediksi.
- Transparan terhadap berbagai bit rate dan protokol jaringan
- Tepat untuk diterapkan pada daerah dengan perkembangan kebutuhan Bandwidth sangat cepat. [2]

2. MODEL, TEORI DAN ANALISA

2.1. Model dan Teori

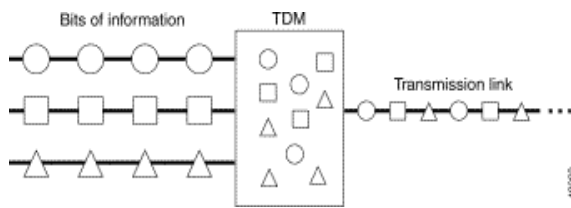
Pada dasarnya, teknologi WDM (awal adanya teknologi DWDM) memiliki prinsip kerja yang sama dengan media transmisi yang lain. Yaitu untuk mengirimkan informasi dari suatu tempat ke tempat yang lain. Namun, dalam teknologi ini pada suatu kabel atau serat optik dapat dilakukan pengiriman secara bersamaan banyak informasi melalui kanal yang berbeda. Setiap kanal ini dibedakan dengan menggunakan prinsip perbedaan panjang gelombang (wavelength) yang dikirimkan oleh sumber informasi. Sinyal informasi yang dikirimkan awalnya diubah menjadi panjang gelombang yang sesuai dengan panjang gelombang yang tersedia pada kabel serat optik kemudian dimultipleksikan pada satu fiber. Dengan teknologi DWDM ini, pada satu kable serat optik dapat tersedia beberapa panjang gelombang yang berbeda sebagai media transmisi yang biasa disebut dengan kanal.

Berikut ilustrasi pengiriman informasi pada WDM:



Gambar 3. Pengiriman Informasi pada DWDM

Sebagai perbandingan dengan DWDM, ilustrasi transmisi dengan TDM adalah :



Gambar 4. Transmisi dengan TDM

TDM menggunakan teknik pengiriman tetap pada satu Channel dengan meng-efisienkan skala waktu untuk mengangkut berbagai macam informasi.

a. Komponen penting pada DWDM :

Pada teknologi DWDM, terdapat beberapa komponen utama yang harus ada untuk mengoperasikan DWDM dan agar sesuai dengan standart channel ITU sehingga teknologi ini dapat diaplikasikan pada beberapa jaringan optic seperti SONET dan yang lainnya. Komponen-komponennya adalah sbb:

1. Transmitter yaitu komponen yang menjembatani antara sumber sinyal informasi dengan multiplexer pada system DWDM. Sinyal dari transmitter ini akan dimultipleks untuk dapat ditransmisikan.

2. Receiver yaitu komponen yang menerima sinyal informasi dari demultiplekser untuk dapat dipilah berdasarkan macam-macam informasi.

3. DWDM terminal multiplexer.

Terminal mux sebenarnya terdiri dari transponder converting wavelength untuk setiap signal panjang gelombang tertentu yang akan dibawa. Transponder converting wavelength menerima sinyal

input optic (sebagai contoh dari system SONET atau yang lainnya), mengubah sinyal tersebut menjadi sinyal optic dan mengirimkan kembali sinyal tersebut menggunakan pita laser 1550 nm. Terminal mux juga terdiri dari multiplexer optikal yang mengubah sinyal 550 nm dan menempatkannya pada suatu fiber SMF-28.

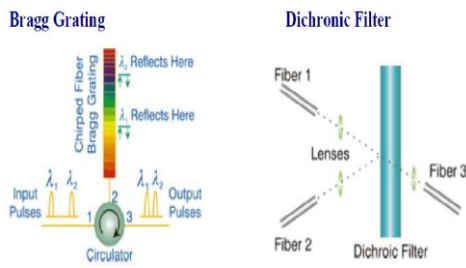
4. Intermediate optical terminal (amplifier). Komponen ini merupakan amplifier jarak jauh yang menguatkan sinyal dengan banyak panjang gelombang yang ditransfer sampai sejauh 140 km atau lebih. Diagnostik optikal dan telemetry dimasukkan di sekitar daerah amplifier ini untuk mendeteksi adanya kerusakan dan pelemahan pada fiber. Pada proses pengiriman sinyal informasi pasti terdapat atenuasi dan dispersi pada sinyal informasi yang dapat melemahkan sinyal

5. DWDM terminal demux.

Terminal ini mengubah sinyal dengan banyak panjang gelombang menjadi sinyal dengan hanya 1 panjang gelombang dan mengeluarkannya ke dalam beberapa fiber yang berbeda untuk masing-masing client untuk dideteksi. Sebenarnya demultiplexing ini beritndak pasif, kecuali untuk beberapa telemetry seperti system yang dapat menerima sinyal

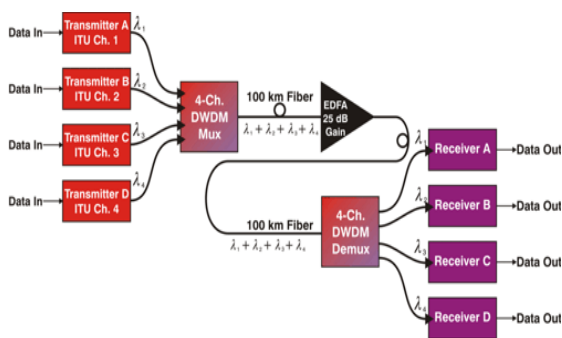
1550 nm. Pada transmisi jarak jauh dengan system client-layer seperti demultiplexi sinyal yan selalu dikirim ke O/E/O. Teknologi terkini dari demultiplekser ini yaitu terdapat couplers (penggabung dan pemisah power wavelength) berupa FIBER BRAGG

GRATING dan dichroic filter untuk menghilangkan noise dan crosstalk



Gambar 5. FBG dan Dichroic Filter

6. Optikal supervisory channel. Ini merupakan tambahan panjang gelombang yang selalu ada di antara 1510 nm-1310 nm. OSC membawa informasi optik multi wavelength sama halnya dengan kondisi jarak jauh pada terminal optic atau daerah EDFA. Jadi OSC selalu ditempatkan pada daerah intermediate amplifier yang menerima informasi sebelum dikirimkan kembali. Berikut ilustrasi tata letak komponen pada DWDM:



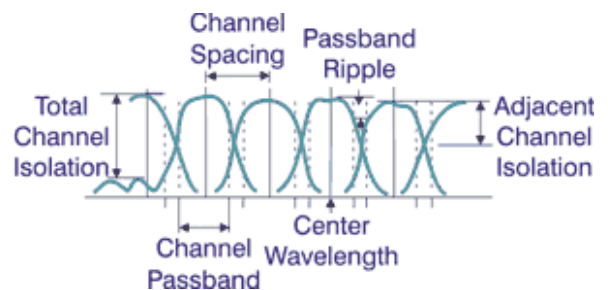
Gambar 6. Tata letak komponen pada DWDM

b. Channel Spacing

Channel spacing menentukan system performansi dari DWDM. Standart channel spacing dari ITU adalah 50 GHz sampai 100 GHz (100 GHz akhir-akhir ini sering digunakan). Spacing (sekat) ini

membuat channel dapat dipakai dengan memperhatikan batasan-batasan fiber amplifier. Channel spacing bergantung pada system komponen yang dipakai.

Channel spacing merupakan system frekuensi minimum yang memisahkan 2 sinyal yang dimultipleksikan. Atau bias disebut sebagai perbedaan panjang gelombang diantara 2 sinyal yang ditransmisikan. Amplifier optic dan kemampuan receiver untuk membedakan sinyal menjadi penentu dari spacing pada 2 gelombang yang berdekatan.

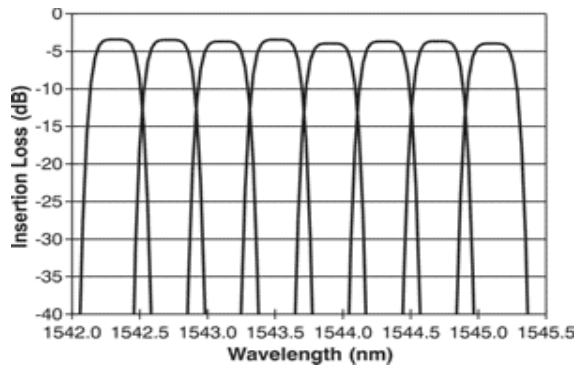


Gambar 7. Karakteristik Optik kanal DWDM

Pada perkembangan selanjutnya, system DWDM berusaha untuk menambah channel yang sebanyak-banyaknya untuk memenuhi kebutuhan lalu lintas data informasi. Salah satunya adalah dengan memperkecil channel spacing tanpa adanya suatu interferensi dari pada sinyal pada satu fiber optic tersebut. Dengan demikian, hal ini sangat bergantung pada system komponen yang digunakan. Salah satu contohnya adalah pada demultiplekser DWDM yang harus memenuhi beberapa criteria di antaranya adalah bahwa demux harus stabil pada setiap waktu dan pada berbagai suhu, harus memiliki penguatan yang relatif besar pada suatu daerah frekuensi tertentu dan dapat

tetap memisahkan sinyal informasi sehingga tidak terjadi interferensi antar sinyal.

Sistem yang sebelumnya sudah dijelaskan yaitu FBG (Fiber Bragg Grating) mampu memberikan spacing Channel tertentu seperti pada gambar 8 dibawah ini



Gambar 8. Spacing Channel

Perbandingan CWDM dan DWDM :

No	Parameter	Coarse WDM	DWDM
1.	Channel Spacing	20 nm	0,2 nm s/d 1,2 nm
2.	Band Frekuensi	1290nm s/d 1610nm	1470nm s/d 1610nm
3.	Type Fiber Optimal	ITU-T G.652, G.653, G.655	ITU-T G.655
4.	Aplikasi	Point-to-point, chain, ring, mesh	Point-to-point, cha in, ring, mesh
5.	Area implementasi optimal	Metro	Long Haul
6.	Size Perangkat	Smaller (Vs DWDM)	Bigger (Vs CWDM)
7.	OLA (Regenerator)	No	Yes
8.	Power Consumption	Lower (about 15%)	Higher
8.	Laser Device	Cheaper	Higher
10.	Filter	Lower (about 50%)	Higher

Jarak antar kanal merupakan jarak antara dua panjang gelombang yang dialokasikan sebagai referensi. Semakin sempit jarak antar kanal, maka akan semakin besar jumlah panjang gelombang yang dapat ditampung. Jarak antar kanal yang paling umum digunakan oleh para pemasok DWDM saat ini adalah 0,2 nm sd 1,2 nm [3]

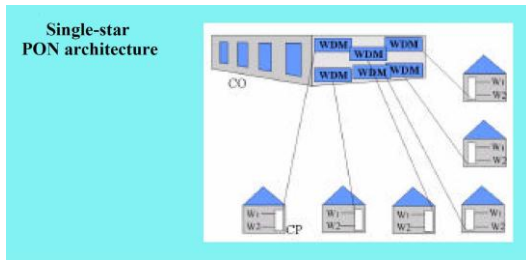
2.2. Analisa

2.2.1. Jaringan Optik Akses DWDM

Bagian ini memberikan analisa tentang arsitektur jaringan yang telah dikembangkan untuk perumahan jaringan akses berdasarkan teknologi DWDM. Jaringan akses berbasis optik DWDM dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori, pasif mengakses jaringan DWDM dan jaringan DWDM aktif. Istilah jaringan DWDM aktif di sini merujuk untuk jaringan DWDM di mana TDM (waktu multiplexing domain) yang diterapkan dalam saluran panjang gelombang. Kedua jenis arsitektur akses jaringan dibahas dalam sub bagian berikut ;
1.DWDM Passive Optical Network (PON)

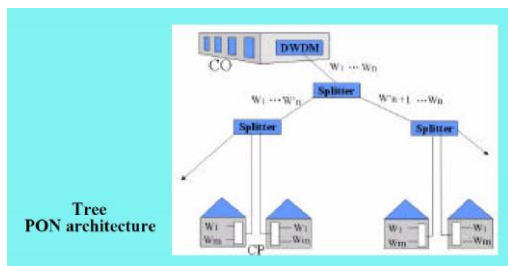
DWDM jaringan optik pasif (PON) menggunakan saluran panjang gelombang untuk menghubungkan pengguna dengan kantor pusat. Setiap layanan menggunakan satu panjang gelombang saluran. PON awal dikembangkan untuk layanan narrow band, seperti arsitektur PON dikembangkan oleh British Telecom. Namun, PON baru-baru ini adalah untuk kedua layanan broadband dan narrowband. Sebuah loop pelanggan pasif menarik karena tidak menggunakan perangkat aktif di luar kantor pusat (CO), kecuali ditempat pelanggan.

Beberapa arsitektur jaringan optik pasif telah diusulkan untuk WDM atau DWDM, yang meliputi bintang-tunggal, pohon, doublestar itu, dan bintang-bus. Gambar 9 menunjukkan arsitektur tunggal-bintang di setiap rumah tangga memiliki serat yang didedikasikan untuk kantor pusat (CO).



Gambar 9. Arsitektur PON Single Star

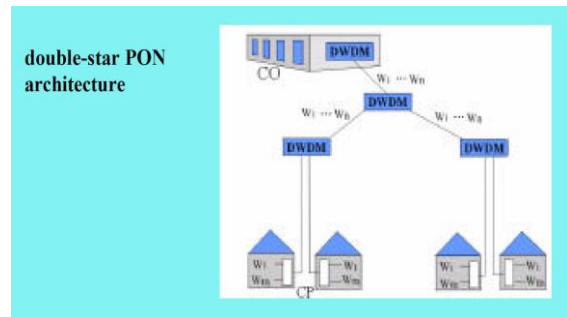
Para WDM saluran dalam serat yang digunakan untuk membawa semua layanan yang diperlukan, seperti suara dan video. Arsitektur ini dirancang untuk kemudahan instalasi dan upgrade, namun, biaya serat optik yang didedikasikan antara pelanggan dan CO dalam jaringan ini masih menjadi perhatian utama. Dengan demikian, arsitektur ini mungkin tidak cocok untuk penyebaran luas dalam waktu dekat.



Gambar 10. Arsitektur Pohon PON

Gambar 10 menunjukkan arsitektur PON pohon, di mana saluran DWDM dibagi di jalan cabang-cabang pohon dengan user masing-masing memiliki satu atau panjang gelombang lebih banyak saluran. Arsitektur ini mengurangi penggunaan serat dalam dibandingkan dengan bintang-tunggal. Ini adalah arsitektur yang lebih baik, terutama untuk DWDM berbasis sistem di mana sejumlah besar saluran panjang gelombang tersedia. Arsitektur dapat memuaskan kebutuhan pelanggan untuk

kedua narrowband dan layanan broadband. Salah satu kelemahan dari jaringan ini arsitektur kekakuan, dalam hal upgrade jaringan. Arsitektur bintang-bus dapat dianggap sebagai variasi dari pohon arsitektur, yang meningkatkan fleksibilitas arsitektur pohon.



Gambar 11. Arsitektur PON Double-star

Gambar 11 menggambarkan arsitektur PON bintang ganda. Arsitektur ini memberikan fleksibilitas lebih dibandingkan dengan arsitektur bintang-bus. Itu bisa dianggap sebagai front-runner diantara arsitektur yang mungkin dari PONS untuk aplikasi akses perumahan.

2. DWDM Active Optical Networks (PON)

Dalam jaringan akses pasif DWDM, masing-masing saluran panjang gelombang digunakan untuk menyediakan satu layanan pada waktu yang diberikan terlepas dari saluran kapasitas dan bandwidth kebutuhan layanan. Dengan meningkatnya kapasitas bandwidth teknologi DWDM, bandwidth dari satu sinyal saluran menjadi cukup tinggi untuk membawa beberapa layanan atau banyak bahkan di lingkungan akses.

3. Kesimpulan

- a. Teknologi DWDM tersebut dengan segera menjadi daya tarik sendiri bagi perusahaan-perusahaan penyedia jasa telekomunikasi (*carriers*). Hal ini dikarenakan teknologi DWDM memungkinkan *carriers* untuk memiliki sebuah jaringan tanpa perlu susah payah membangun sendiri infrastruktur jaringannya, cukup menyewa beberapa panjang-gelombang sesuai kebutuhan dengan daerah tujuan yang sama ataupun berbeda.

4. Daftar Pustaka

- 1]. [1] P.E. Green, Jr., "Optical Networking Update", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.14, No. 5, June 1996, pp. 764 - 778.
- 2]. J.D. Angelopoulos, et al, "TDMA Multiplexing of ATM Cells in a Residential Access SuperPON", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.16, No. 7, Sep. 1998, pp. 1123 - 1133.
- 3]. I. P. Kaminow, et al, "A Wideband All-Optical WDM Network", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.14, No. 5, June 1996, pp. 780 - 799.
- 4]. Shaowen Song Wilfrid Laurier University, Waterloo, ON, "A Overview for DWDM Networks", IEEE Canadian Review - Spring / Printemps 2001
- 5]. Introduction to DWDM for Metropolita Networks – SISCO System Inc.

PENULIS :

1. **Ir. Yamato, MT.**, Staf Pengajar Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik – Universitas Pakuan, Bogor.
2. **Evyta Wismiana, ST., MT.** Staf Pengajar Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik – Universitas Pakuan, Bogor.