

Traffic Grooming Pada Jaringan Ring SONET DWDM

Firman Ardiputra Kurniawan¹, Sukiswo², Imam Santoso²

Abstract

One of the most promising for future network of DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), especially when the required bandwidth is quite large. Transmission capacity of a network of SONET (Synchronous Optical Network) has increased significantly associated with the use of DWDM technology. Traffic Grooming in SONET DWDM ring network is solving a different problem packing traffic into multiple streams of traffic speed in the ring with the aim of saving the use of DWDM SONET devices. Traffic grooming is the process of grouping multiple telecommunication lines, which will determine the merging traffic streams on each node.

In this final project will simulate the planning of transport networks based on DWDM SONET ring network. In this case the traffic grooming will determine the optimization of DWDM SONET ring network planning. RWA (Routing and Wavelength Assignment) will put the routes traffic to a specific wavelength as a way to minimize the overall cost of the use of the device SADM (SONET Add / Drop Multiplexers). With input multiple nodes and the amount of traffic per node, so that we will get a channel DWDM SONET ring network is optimal as a way to minimize the overall cost of the device SADM.

From the test results, it can be concluded that the rate of decrease in the amount of usage the largest SADM device shown in tests with 25 input nodes and the average value of 30 Gbps traffic that is equal to 73,33%. Decrease in the amount of usage levels as low SADM device shown in tests with 20 input nodes and the average value of 10 Gbps traffic that is equal to 50,55%.

Keywords: traffic grooming, RWA, SONET, WDM.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dalam perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang semakin cepat, masyarakat modern memerlukan adanya sarana komunikasi yang handal dan canggih. Sarana komunikasi yang dibutuhkan tersebut harus berorientasi untuk memenuhi kebutuhan layanan yang berlaku tidak hanya saat ini, namun juga berorientasi untuk memenuhi kebutuhan layanan di masa mendatang.

Batasan mengenai keoptimalan perencanaan jaringan adalah sejauh mana biaya implementasi dapat diminimalkan. Hal tersebut dapat tercapai dengan memaksimalkan utilisasi jaringan.

Dalam tugas akhir ini, dibuat sebuah perangkat lunak *Traffic Grooming* Pada Jaringan Ring SONET DWDM. yang akan memberikan solusi perencanaan jaringan *traffic grooming* pada arsitektur topologi ring SONET DWDM, sehingga akan dihasilkan suatu jaringan ring SONET DWDM yang optimal.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pembuatan Tugas Akhir ini adalah:

1. Merencanakan jaringan ring SONET DWDM menggunakan *traffic grooming*.
2. Menganalisis tingkat penurunan jumlah pemakaian SADM di setiap titik pada jaringan SONET DWDM dengan perencanaan *traffic grooming*.

1.3 Batasan Masalah

Agar tidak menyimpang jauh dari permasalahan, maka Tugas Akhir ini mempunyai batasan masalah sebagai berikut :

1. Jaringan menggunakan topologi ring SONET.
2. Nilai trafik dalam jaringan disajikan dalam bentuk matrik trafik dengan pola *non-uniform* dengan satuan *Gigabit per second* (Gbps).
3. Jaringan memiliki jumlah maksimal node sebanyak 50 node dan jumlah maksimal node dalam setiap ring sebanyak 10 node.
4. Besar kapasitas tiap panjang gelombang yang dibutuhkan sebesar 40 Gbps.
5. Simulasi menggunakan program Matlab dengan metode pendekatan heuristik dan RWA (*Routing and Wavelength Assignment*) pada analisis pengaturan panjang gelombang.

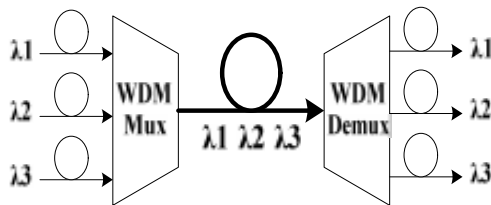
II. LANDASAN TEORI

2.1 Teknologi WDM (*Wavelength Division Multiplexing*)

Teknologi WDM pada dasarnya adalah teknologi transport untuk menyalurkan berbagai jenis trafik (data, suara, dan video) dengan menggunakan panjang gelombang yang berbeda-beda dalam suatu fiber tunggal secara bersamaan. Teknologi WDM ini dapat meningkatkan kapasitas layanan dan memungkinkan komunikasi dua arah pada satu serat optik. Implementasi WDM dapat diterapkan baik pada jaringan *long haul* (jarak jauh) maupun untuk aplikasi *short haul* (jarak dekat). Secara sederhana transmisi WDM dapat dilihat pada gambar 2.1.

¹ Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP

² Dosen Teknik Elektro UNDIP



Gambar 2.1 Konsep transmisi WDM

Sistem WDM dibagi menjadi 2 segmen, CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*) dan DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*).

1. DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*)

DWDM merupakan pengembangan dari teknologi WDM yang memiliki prinsip kerja serupa, hanya saja yang membedakan DWDM dengan pendahulunya adalah spasi kanal yang lebih sempit sehingga dapat menampung puluhan panjang gelombang.

Pada perkembangannya, jumlah panjang gelombang yang dapat diakomodasikan oleh sehelai serat optik DWDM semakin bertambah dan kapasitas untuk masing-masing panjang gelombang pun meningkat pada kisaran 10 Gbps sampai 40 Gbps. Teknologi DWDM berkembang dari keterbatasan pada sistem transmisi serat optik, dimana pertumbuhan trafik pada sejumlah jaringan *backbone* meningkat sangat pesat. Hal ini menjadi dasar pemikiran untuk memanfaatkan jaringan yang ada dibandingkan membangun jaringan baru.

Dengan kapasitas yang cukup besar tersebut, teknologi DWDM mampu memberikan fleksibilitas yang cukup tinggi untuk memenuhi kebutuhan akan kapasitas transmisi yang besar dalam jaringan.

2. CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*)

Dengan pertimbangan tingginya biaya diikuti oleh alasan kebutuhan variasi layanan dan jarak tempuh yang pendek akan membuat pengimplementasian DWDM kurang handal. Solusi untuk permasalahan ini adalah konsep CWDM. Tujuan utama teknologi ini adalah menekan biaya investasi dan biaya operasi teknologi DWDM terutama untuk area metro.

Prinsip kerja dasar dari CWDM adalah sama dengan prinsip kerja umum teknologi DWDM. Perbedaan yang paling mendasar antara CWDM dan DWDM terletak pada spasi kanal (parameter jarak antar kanal) dan area operasi panjang gelombangnya.

Tabel 2.1 Perbandingan CWDM dan DWDM

No	Parameter	CWDM	DWDM
1	Spasi Kanal	20 nm	0,2 nm - 1,2 nm
2	Panjang Gelombang	1290 nm - 1610 nm	1470 nm - 1610 nm
3	Aplikasi	point to point, ring, mesh	point to point, ring, mesh
4	Area Implementasi	metro	long haul
5	Power Consumptions	lower	higher
6	Laser Device	cheaper	highher

CWDM menjadi solusi yang baik mengatasi kebutuhan lebar pita besar dengan biaya murah pada area metro. Hal ini dilandasi dengan penggunaan spasi kanal 20 nm yang menyebabkan sistem tidak perlu membutuhkan laser dan filter dengan teknologi tinggi yang mahal.

2.1.1 Spasi Kanal

Pada perkembangannya, sistem DWDM berusaha untuk menambah kanal yang sebanyak-banyaknya untuk memenuhi kebutuhan lalu lintas data informasi. Salah satunya adalah dengan memperkecil spasi kanal tanpa adanya suatu interferensi dari sinyal pada satu fiber optik.

Spasi kanal merupakan jarak minimum antar panjang gelombang yang memisahkan antara 2 sinyal yang ditransmisikan agar tidak terjadi interferensi. Semakin sempit jarak antar kanal, maka akan semakin besar jumlah panjang gelombang yang dapat ditampung.

2.2 SONET (*Synchronous Optical Network*)

Perkembangan trafik data yang sangat cepat telah mendorong semakin berkembangnya teknologi jaringan transport optik yang mampu mengakomodasi kebutuhan lebar pita yang sangat besar. Untuk saat ini, jaringan bergantung pada SONET. SONET merupakan sebuah standar yang mendefinisikan transmisi telekomunikasi untuk fiber optik, yang awal mulanya dibawa oleh Bellcore (Telcordia), dengan koordinasi dari ITU (*International Telecommunication Union*). SONET banyak digunakan di Amerika Utara, pada pertengahan tahun 1980an dan kemudian distandarkan oleh ANSI (*American National Standards Institute*).

Transport sinyal tingkat pertama pada SONET (OC-1) memiliki kecepatan 51,840 Mbps, dan selanjutnya multipleks SONET dibentuk dari sejumlah N kali sinyal dasar OC-1, sehingga lebih efisien dibandingkan hirarki yang lain. Kehandalan trafik pada SONET akan selalu terjaga pada topologi *ring* yang menggunakan teknologi DWDM.

Tabel 2.2 Digital hirarki SONET/SDH

SONET Level	SDH Level	Line Rate	Payload Rate
OC-1/STS-1	STM-0	51.84	50.112
OC-3/STS-3	STM-1	155.52	150.336
OC-12/STS-12	STM-4	622.08	601.344
OC-48/STS-48	STM-16	2488.32	2405.376
OC-192/STS-192	STM-64	9953.28	9621.504
OC-768/STS-768	STM-256	39818.12	38486.016

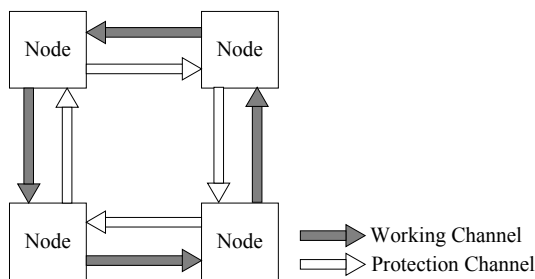
Setiap tingkat digital hirarki pada SONET memiliki tingkat OC (*Optical Carrier*), dan struktur frame elektrik disebut STS (*Synchronous Transport Signal*). Pada SDH, tingkat definisi ini disebut STM (*Synchronous Transport Module*).

2.3 Jaringan ring SONET

Topologi ring adalah topologi umum yang digunakan dalam jaringan SONET yang memiliki tingkat kehandalan yang tinggi. Berikut ini adalah dua tipe utama dari DWDM ring:

1. Dedicated Protection Ring

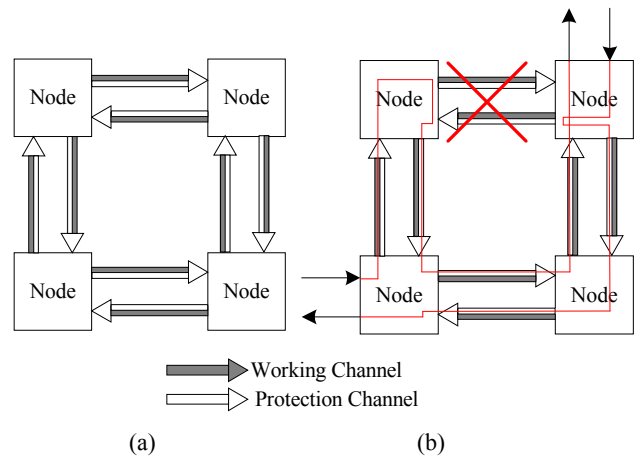
Pada *dedicated protection ring* terdapat dua *counter-routing fibers*, dimana setiap permintaan panjang gelombang diproteksi menggunakan sebuah jalur utama pada satu sisi ring dan sebuah jalur backup pada sisi ring yang lainnya. Jika terdapat kegagalan link atau node pada ring maka trafik akan dipindahkan ke jalur lain.



Gambar 2.2 Optical Channel Dedicated Protection Ring.

2. Shared Protection Ring

Pada *shared protection ring*, 50% dari kapasitas ring didedikasikan untuk tujuan proteksi sehingga memungkinkan menggunakan bersama kapasitas proteksi di antara permintaan panjang gelombang yang dirutekan pada ring.



Gambar 2.3 (a). SPRing (b). SPRing setelah mengalami kegagalan

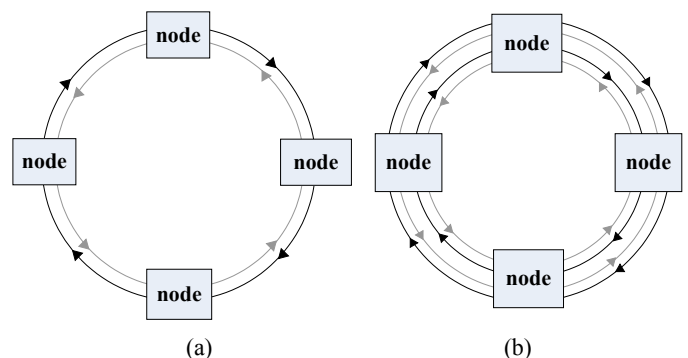
Ring SONET juga disebut *self-healing ring* (*ring* perlindungan khusus), karena SONET memiliki mekanisme perlindungan yang mendeteksi kegagalan dan mengubah rute trafik ke jalur proteksi (*loop back*). Ada dua konsep proteksi pada jaringan ring SONET, yaitu:

1. 2-fiber BLSR (Bi-Directional Line-Switched Rings)

- Hanya memerlukan dua buah fiber di antara setiap pasangan node yang berdekatan.
- Kanal proteksi dirutekan pada jalur fiber yang lainnya.
- Jika terjadi kegagalan maka node yang ada di dekat kegagalan tersebut akan melakukan *loop back*.

2. 4-fiber BLSR (Bi-Directional Line-Switched Rings)

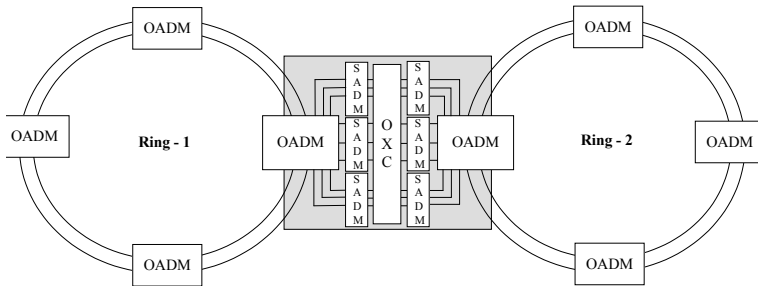
- Memerlukan empat buah fiber di antara setiap pasangan node yang berdekatan.
- Kanal kerja dan proteksi dibawa melalui fiber yang berbeda, yang memungkinkan untuk menentukan arah dari kedua kanal.
- Empat fiber mengkombinasikan kanal kerja dan kanal proteksi pada arsitektur yang sama.



Gambar 2.4 (a). 2-fiber BLSR (b). 4-fiber BLSR

2.4 SONET Arsitektur

Dalam jaringan SONET tradisional, satu SADM diperlukan untuk setiap panjang gelombang pada setiap node yang akan melakukan *add/drop* pada panjang gelombang tertentu. Oleh karena itu, akan memerlukan biaya yang besar jika menempatkan jumlah SADM yang sama (masing-masing yang memiliki biaya yang signifikan) pada setiap jaringan.



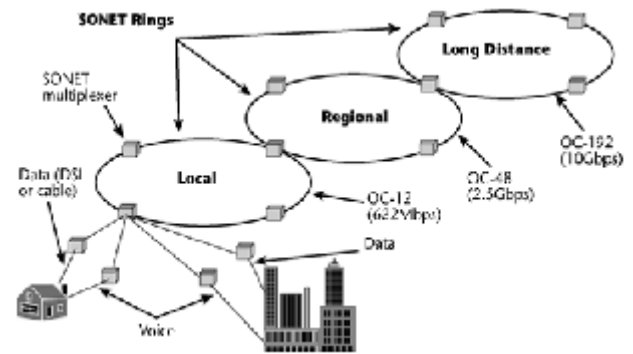
Gambar 2.5 Node architecture jaringan ring SONET

Dengan perangkat OADM, sebuah node dapat melewati sebagian saluran panjang gelombang optik dan hanya drop panjang gelombang yang akan membawa trafik menuju node tujuan. SADM mampu menambah dan menjatuhkan data kecepatan tinggi maupun rendah dari dan ke aliran panjang gelombang yang diterima pada setiap node. Setiap SADM memiliki antarmuka kecepatan tinggi dan antarmuka kecepatan rendah yang dapat dihubungkan ke OXC. Sedangkan perangkat OXC (*Optical Cross Connect*) digunakan untuk koneksi silang antar aliran panjang gelombang. Jika beberapa ring saling berhubungan, OXC akan menghubungkan trafik antara ring-ring tersebut.

2.5 Traffic Grooming pada jaringan ring SONET

Kapasitas transmisi dari suatu jaringan SONET telah mengalami peningkatan berkaitan dengan penggunaan teknologi WDM. *Traffic grooming* merupakan pemecahan masalah pengaturan beberapa aliran trafik pada ring SONET DWDM sesuai dengan kebutuhan trafik dan panjang gelombang dengan tujuan untuk menghasilkan jaringan yang optimal.

Traffic grooming pada ring SONET DWDM akan memberikan solusi analisis untuk optimalisasi jaringan, namun pada kenyataannya jauh lebih kompleks daripada asumsi biasa. Kompleksitas dalam perencanaan jaringan tersebut membutuhkan komputasi suatu algoritma dalam menentukan optimasi jaringan aliran-aliran trafik tiap node.



Gambar 2.6 Arsitektur ring SONET

Arsitektur jaringan ring SONET dengan *traffic grooming* diharapkan mampu memberikan kehandalan pada jaringan ring SONET dengan tujuan memperkecil biaya jaringan serta meningkatkan kualitas aliran trafik tiap node.

2.6 Algoritma Heuristik

Heuristik adalah sebuah algoritma yang menerima masukan berupa sebuah masalah dan menghasilkan sebuah solusi untuk masalah tersebut yang didapat dari evaluasi dari beberapa kemungkinan solusi. Heuristik selalu mungkin tidak mencapai hasil yang diinginkan, tetapi sangat berharga sampai pada proses pemecahan masalah.

Jika pembangkitan solusi-solusi yang dimungkinkan dapat dilakukan secara sistematis, maka prosedur ini akan dapat segera menemukan solusinya. Namun jika ruang problem sangat besar, maka proses ini akan membutuhkan waktu yang lama. Untuk meminimalkan waktu dalam pemecahan masalah *traffic grooming*, maka solusi akhir yang didapat akan diimplementasikan ke dalam suatu aplikasi perangkat lunak yang akan menghasilkan solusi yang diinginkan.

2.7 RWA (*Routing and Wavelength Assignment*)

Pada jaringan ring SONET, koneksi *wavelength-routing* antar node dibangun secara dinamik sebagai respon terhadap pola permintaan trafik dan pendudukan koneksi yang acak. Salah satu alternatif untuk aplikasi jaringan tersebut yaitu RWA (*Routing and Wavelength Assignment*). Suatu jaringan dengan RWA dapat mengubah permintaan trafik dengan pengalokasian yang dinamis, sehingga jalur panjang gelombang tersedia sebanyak yang diperlukan antar node untuk mencukupi kebutuhan lebar pita.

Dengan RWA akan memberikan pengaturan aliran trafik sesuai dengan panjang gelombang yang dibutuhkan pada setiap node pada jaringan SONET. Dengan pengaturan tersebut dapat memberikan hasil yang optimal dalam perencanaan sebuah jaringan SONET.

III. PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK

3.1 Diagram Alir Perangkat Lunak

Alur sistem *Traffic Grooming* Pada Jaringan *Ring* SONET DWDM dapat dilihat pada diagram alir seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Sistem *Traffic Grooming* Pada Jaringan *Ring* SONET DWDM

Secara garis besar, proses-proses tersebut dikelompokkan pada empat proses utama yaitu :

1. Memasukkan data-data yang dibutuhkan.
2. Melakukan proses trafik grooming untuk
3. Melakukan proses grooming dengan RWA

3.2 Perancangan Perangkat Lunak

1. Input data

Di dalam pengimplementasian program ini, dibutuhkan beberapa masukkan data yang akan mempengaruhi proses keoptimalan pada sistem. Masukkan data tersebut berupa matrik trafik sesuai dengan kebutuhan trafik dalam jaringan.

Matrik trafik merupakan matrik yang menyatakan jumlah kebutuhan trafik pada setiap node dalam jaringan. Matrik trafik dalam sistem ini akan disajikan dalam bentuk *non-uniform* dan jumlah node ditentukan dengan jumlah maksimal 50 node, sehingga diharapkan akan dihasilkan suatu perencanaan *traffic grooming* yang optimal.

2. Trafik Grooming

Proses awal dari trafik grooming ini akan membentuk *cluster* yang terdiri dari node-node yang memiliki nilai trafik bersesuaian. Setelah terbentuk beberapa *cluster*, akan dibentuk jaringan *ring* SONET dengan mengatur aliran trafik tiap node pada setiap *ring* yang terbentuk sesuai dengan algoritma, sehingga akan terbentuk beberapa jaringan *ring* tunggal yang optimal.

Untuk membentuk suatu jaringan *multi ring*, maka dibutuhkan suatu node penghubung antar *ring* yang memiliki nilai trafik bersesuaian antar *ring*. Proses akhir ini akan menghasilkan suatu bentuk jaringan *ring* SONET DWDM yang optimal berdasarkan nilai matriks trafik tiap node.

3. RWA (*Routing and Wavelength Assignment*)

Dalam arsitektur jaringan optik, permasalahan yang timbul adalah pengaturan dan *routing* rute-rute trafik pada tiap panjang gelombang untuk

menghasilkan kinerja jaringan yang optimal. Permasalahan ini disebut dengan *Routing and Wavelength Assignment* (RWA).

RWA ini diharapkan mampu memberikan solusi yang optimal dalam penyusunan jalur panjang gelombang sehingga akan meminimalkan penggunaan perangkat optik (SADM).

4. Grafik Perbandingan *Traffic Grooming*

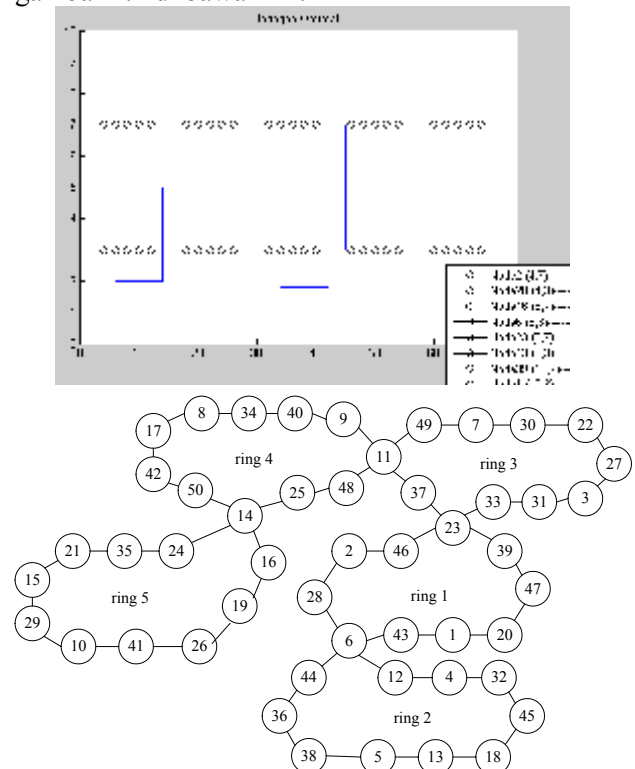
Analisa hasil akhir dari program ini berupa tampilan grafik perbandingan antara jaringan *ring* SONET DWDM sebelum dan sesudah dilakukan *traffic grooming* dengan RWA. Grafik perbandingan ini menunjukkan keoptimalan suatu jaringan dalam meminimalisasi penggunaan perangkat optik (SADM).

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Pengujian *Traffic Grooming*

Pengujian *traffic grooming* ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana program dapat merencanakan suatu jaringan yang optimal berdasarkan algoritma heuristik yang digunakan dengan jumlah node dan nilai trafik yang ada.

Proses pengujian dilakukan dengan mengujikan masukan jumlah node maksimal sebanyak 50 node dan nilai trafik maksimal 40 Gbps dalam bentuk matrik trafik. Dengan algoritma yang sudah dibuat dalam program, sehingga akan dihasilkan bentuk topologi jaringan *ring* SONET DWDM yang optimal seperti gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.1 Hasil jaringan optimal *ring* SONET DWDM dengan masukan 50 node dan nilai trafik maksimal 40 Gbps

Traffic grooming akan memberikan kemudahan dalam perencanaan suatu jaringan ring SONET DWDM yang optimal serta akan mengurangi waktu dalam memecahkan masalah pengaturan jaringan.

4.2 Pengujian RWA (*Routing and Wavelength Assignment*)

Pengujian RWA (*Routing and Wavelength Assignment*) ini dilakukan dengan mengatur rute trafik sesuai dengan aliran panjang gelombang yang dibutuhkan setiap node pada jaringan. Dengan skema RWA terbaik dapat memberikan hasil yang optimal dalam meminimalkan biaya perangkat SADM pada jaringan

Pengujian dilakukan dengan mengujikan masukan matrik trafik yang sama. Dalam pengujian ini akan didapatkan jumlah kebutuhan panjang gelombang sebanyak 23 kanal panjang gelombang. Nilai-nilai masukan tersebut akan dibentuk pengaturan rute trafik pada setiap aliran panjang gelombang.

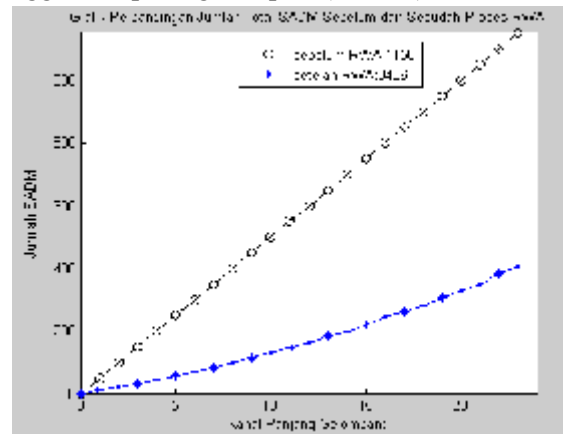
Tabel 4.1 Hasil penggunaan perangkat SADM setelah proses RWA dengan masukan 50 node dan 23 panjang gelombang

node	jumlah SADM	node	jumlah SADM
1	5	26	11
2	5	27	11
3	4	28	10
4	4	29	10
5	4	30	10
6	4	31	9
7	4	32	10
8	3	33	10
9	4	34	11
10	3	35	10
11	4	36	9
12	11	37	9
13	10	38	9
14	10	39	7
15	10	40	8
16	10	41	6
17	11	42	6
18	11	43	7
19	11	44	8
20	11	45	7
21	11	46	7
22	11	47	7
23	11	48	8
24	11	49	6
25	11	50	6
jumlah total SADM		406	

Dibandingkan dengan cara konvensional, RWA memberikan solusi dalam mengurangi penggunaan perangkat SADM dalam jaringan. Cara konvensional akan menempatkan setiap jalur panjang gelombang yang dibutuhkan pada tiap node, maka jaringan SONET DWDM ini akan membutuhkan SADM sebanyak 1150. Sedangkan setelah dilakukan RWA akan dibutuhkan hanya 406 perangkat SADM pada jaringan SONET.

4.3 Grafik Analisis Perbandingan *Traffic Grooming*

Grafik perbandingan ini menunjukkan keoptimalan suatu jaringan dalam meminimalisasi penggunaan perangkat optik (SADM).



Gambar 4.19 Grafik Analisis Perbandingan *Traffic Grooming*

Grafik di atas memberikan perbandingan antara jaringan sebelum dilakukan RWA dengan jaringan yang sudah dilakukan RWA. Akan dibutuhkan 1150 perangkat SADM pada jaringan SONET 50 node dengan 23 kanal panjang gelombang, sedangkan setelah dilakukan RWA akan dibutuhkan hanya 406 perangkat SADM pada jaringan. Grafik perbandingan ini menunjukkan keoptimalan suatu jaringan dalam meminimalisasi penggunaan perangkat optik (SADM) sebanyak 64,69%.

4.4 Hasil Pengujian Dengan Data Lain

Pengujian dengan data lain akan dihasilkan perbandingan bentuk variasi jaringan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.12 Hasil pengujian dengan berbagai masukan

jumlah node	trafik (rata-rata)	jumlah ring	jumlah λ	jumlah SADM	penurunan SADM
20	10,065 \pm 5,153	3 ring	9	89	50,55 %
	15,04 \pm 8,078	2 ring	19	128	66,31 %
	20,01 \pm 10,083	4 ring	28	176	68,57 %
	30,0125 \pm 10,191	2 ring	32	192	70 %
25	10,078 \pm 5,191	3 ring	11	122	55,63 %
	15,008 \pm 8,1235	4 ring	22	188	65,81 %
	20,043 \pm 10,044	3 ring	29	211	70,89 %
	30,0048 \pm 10,006	3 ring	33	220	73,33 %
30	10,032 \pm 5,167	3 ring	11	162	51,51 %
	15,0966 \pm 8,029	3 ring	24	237	67,08 %
	20,032 \pm 10,094	4 ring	32	282	70,625 %
	30,0044 \pm 10,014	3 ring	35	290	72,38 %
40	10,0406 \pm 5,1439	4 ring	13	254	51,15 %
	15,1106 \pm 8,2122	4 ring	24	322	66,45 %
	20,025 \pm 10,0078	4 ring	33	403	69,46 %
	30,015 \pm 10,091	4 ring	35	418	70,14 %
50	10,0224 \pm 5,1308	5 ring	15	370	50,66 %
	15,1108 \pm 8,1826	5 ring	26	441	66,07 %
	20,013 \pm 10,035	5 ring	35	517	70,45 %
	30,029 \pm 10,090	5 ring	38	551	71 %

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pengujian *traffic grooming* akan dihasilkan jaringan dengan jumlah *ring* maksimal sebanyak 5 *ring*.
2. Hasil pengujian *traffic grooming* dengan jumlah maksimal 50 node dan nilai trafik maksimal 40 Gbps akan dihasilkan jumlah maksimal panjang gelombang sebanyak 38 panjang gelombang.
3. Hasil pemakaian perangkat SADM terbesar sebanyak 551 SADM terjadi pada pengujian dengan masukan 50 node dan nilai rata-rata trafik sebesar 30 Gbps.
4. Hasil pengujian *traffic grooming* dengan RWA akan menurunkan jumlah total pemakaian perangkat SADM di setiap node pada jaringan *ring* SONET DWDM rata-rata sebesar 50 % - 73 %.
5. Hasil penurunan jumlah pemakaian perangkat SADM terkecil dengan nilai 50,55 % terjadi pada pengujian dengan masukan 20 node dan nilai rata-rata trafik sebesar 10 Gbps.
6. Hasil penurunan jumlah pemakaian perangkat SADM terbesar dengan nilai 73,33 % terjadi pada pengujian dengan masukan 25 node dan nilai rata-rata trafik sebesar 30 Gbps.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dalam merencanakan pembangunan jaringan dengan kapasitas dan kecepatan transmisi yang lebih tinggi guna memenuhi kebutuhan telekomunikasi yang semakin berkembang.
2. Penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan algoritma cerdas yang lebih baik, sehingga hasil yang didapatkan akan lebih optimal dan pengembangan untuk aplikasi lebih luas dan nyata dapat diwujudkan.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aleem, M. I., *Compare and Contrast Next Generation Network Technologies with Traditional Technologies*, MSc. Thesis, University of Plymouth, UK, 2002.
- [2] Andika, G., dkk., *Teknologi WDM pada Serat Optik*, Universitas Indonesia, Jakarta, 2006.
- [3] Berry, R and Modiano. E., "Switching and Traffic Grooming in WDM Networks", *MIT Laboratory for Information and Decision Systems Cambridge, MA* 02139.

- [4] Dutta, R and Kamal. A.E., *Traffic Grooming for Optical Networks*, Springer, USA, 2008.
- [5] Hiatt, F., *Synchronous Optical Networking Technical Overview*, Lucent Technologies, 1999.
- [6] Modiano, E and Philip J.L., "Traffic Grooming in WDM Networks", *IEEE Communications Magazine.*, 2001.
- [7] Tan, T.A., *Multi-ring SDH Network Design Over Optical Mesh Networks*, Thesis Master of Science, Bilkent University, 2002.
- [8] Zhang, S and Byrav. R., "Dynamic Traffic Grooming Algorithms for Reconfigurable SONET Over WDM Networks", *Associate Member, IEEE.*, 2003.
- [9] Zhu, K and Mukherjee. B., "A Review of Traffic Grooming in WDM Optical Networks: Architectures and Challenges", *Computer Science Department, University of California, USA, CA* 95616.
- [10] ---, ITU-T Recommendation G.707, G.708, G.709, ITU-T Study Group, 1999.
- [11] ---, *Planning of Full Optical Network*, EURESCOM Participants in Project P709, 1999.

BIOGRAFI



Firman Ardiputra Kurniawan, lahir di Semarang, 27 Oktober 1987. Menempuh pendidikan di SDN Kabluk 03 Semarang lulus tahun 1999, SLTPN 9 Semarang lulus tahun 2002 dan SMAN 3 Semarang lulus tahun 2005. Pada tahun 2008 telah menyelesaikan studi di DIII Teknik Elektro UNDIP.

Sekarang sedang menempuh pendidikan strata satu di Universitas Diponegoro Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro konsentrasi Elektronika dan Telekomunikasi.

Menyetujui dan Mengesahkan,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Sukiswo, ST, MT
NIP.
196907141997021001
Tanggal

Imam Santoso, ST, MT
NIP.
197012031997021001
Tanggal.....

Created with

Created with

 **nitro**^{PDF} professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional