

ANALISIS PENGARUH *CROSSTALK* PADA SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK TERHADAP JARINGAN *DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING (DWDM)*

Yolanda Margareth Sitompul, M. Zulfin

Konsentrasi Teknik Telekomunikasi, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)

Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA

e-mail: yola_gareth@students.usu.ac.id or yola_gareth@yahoo.com

Abstrak

Konsep hubung silang (*cross connect*) pada teknologi DWDM atau yang dikenal sebagai *optical cross connect (OXC)* merupakan teknologi transport untuk menyalurkan berbagai jenis trafik (data, suara, dan video) secara transparan. Ketika sinyal dihubungkan dari kanal serat masukan ke kanal serat keluaran, OXC menghasilkan *crosstalk*. Hal ini dapat berdampak serius pada sinyal karena akan menjadi *noise* di saluran lain. *Crosstalk* dapat terjadi pada hampir semua komponen dalam DWDM, termasuk *optical filter*, *multiplexer*, *demultiplexer*, *optical switch*, *optical amplifier*, dan serat itu sendiri. Dalam jurnal ini dianalisis *crosstalk* pada *optical cross connect* menggunakan kombinasi *optical switch*. Adapun parameter yang diamati adalah pengaruh serat masukan (M), serat keluaran (N), daya input, *gain* dan *bandwidth* terhadap besarnya *crosstalk*. Dari Hasil Analisa diperoleh bahwa jika Kanal Masukan (M) = 6 dan Kanal Keluaran (N) = 5 diperoleh *crosstalk* sebesar -33,29 dB, Semakin besar jumlah kanal masukan dan kanal keluaran *crosstalk* semakin besar. Jika Daya Input (Ps) = -6 dBm diperoleh *crosstalk* sebesar -31,29 dB, maka cara mengurangi *crosstalk*, daya input sinyal harus dikecilkan. Untuk *Gain* = 20 dB dengan *Bandwidth* (B_w) = 20 Hz diperoleh *crosstalk* = -166,7 dB, Semakin besar *Bandwidth* (B_w) dan *Gain* (G) *crosstalk* yang dihasilkan semakin besar.

Kata Kunci: *Crosstalk*, DWDM, OXC

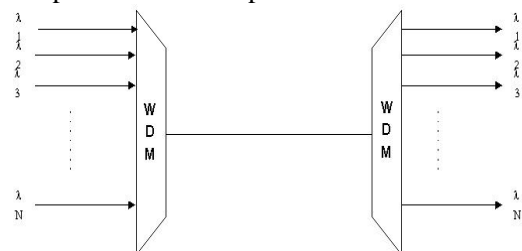
1. Pendahuluan

Crosstalk terjadi pada panjang gelombang yang terpisah dan telah di *filter* (tersaring). Sebagian kecil dari daya optik yang seharusnya berakhir di saluran tertentu (pada output filter tertentu) sebenarnya berakhir di dalam saluran yang berdekatan (saluran yang lain). *Crosstalk* sangat penting dalam sistem DWDM. Ketika sinyal dari satu saluran tiba di tempat lain maka akan menjadi *noise* di saluran lain[1].

Untuk meningkatkan kapasitas dan fleksibilitasnya, maka diperlukan teknik perutean sinyal yang tepat. Salah satu solusi untuk peningkatan kapasitas dan fleksibilitas dari sebuah jaringan DWDM adalah dengan menerapkan konsep hubung silang (*cross connect*), yang dikenal sebagai *Optical Cross Connect (OXC)*.

2. Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) merupakan suatu teknik transmisi 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[2]. Gambar 1 memperlihatkan Prinsip dasar sistem DWDM.



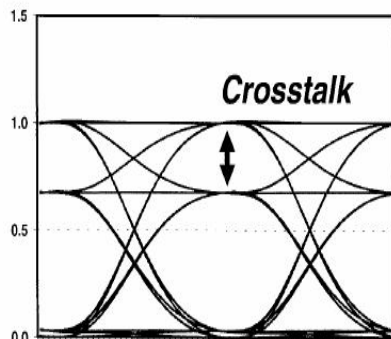
Gambar 1. Prinsip dasar sistem DWDM

3. Optical Cross Connect (OXC)

Optical Cross Connect (OXC) merupakan elemen jaringan yang terpenting yang memungkinkan dapat dilakukannya rekonfigurasi jaringan optik, dimana lintasan cahaya dapat dinaikkan dan diturunkan sesuai kebutuhan [3]. Hal ini menawarkan skalabilitas *routing*, *bit rate* dan protokol independen dan meningkatkan kapasitas pada jaringan DWDM. Propagasi melalui elemen-elemen *switching* yang merupakan bagian dari OXC menghasilkan degradasi sinyal yang disebabkan rugi-rugi intrinsik perangkat dan ketidaksempurnaan operasi. Ketidaksempurnaan *switching* menyebabkan kebocoran sinyal, dimana panjang gelombang bisa saja sama atau berbeda dengan panjang gelombang sinyal[3].

4. Crosstalk

Crosstalk merupakan suatu gangguan ketika sinyal dari satu saluran tiba di tempat lain maka akan menjadi *noise* di saluran lain[1]. Gambar 2 memperlihatkan definisi *crosstalk*.



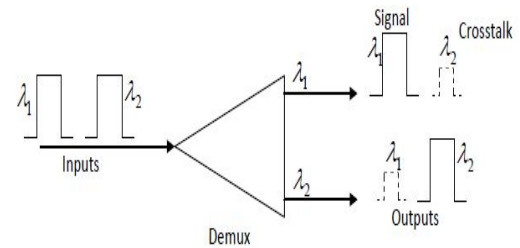
Gambar 2. Definisi *Crosstalk*

4.1 Crosstalk di DWDM

Crosstalk yang terjadi pada jaringan DWDM dapat dibedakan atas[3] :

1. Interchannel crosstalk

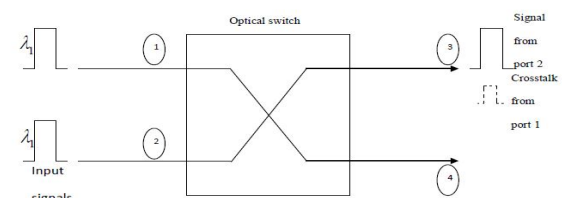
Interchannel crosstalk terjadi ketika interferensi sinyal dihasilkan oleh kanal yang bersebelahan yang beroperasi pada panjang gelombang yang berbeda. Ini terjadi karena ketidaksempurnaan perangkat pemilih panjang gelombang dalam menolak atau menahan sinyal dari kanal panjang gelombang lain yang berdekatan. Gambar 3 menunjukkan sebuah contoh peristiwa *crosstalk* dalam sebuah *demultiplexer*.



Gambar 3. *Interchannel Crosstalk* pada sistem DWDM

2. Intrachannel crosstalk

Pada *intrachannel crosstalk*, sinyal interferensi mempunyai panjang gelombang yang sama dengan sinyal yang diinginkan. Gambar 4 adalah sebuah contoh sumber *intrachannel crosstalk*. Dua sinyal yang independen, masing-masing dengan panjang gelombang, memasuki sebuah *optical switch*. *Switch* ini merutekan sinyal masukan *port 1* ke keluaran *port 4*, dan merutekan sinyal masukan *port 2* ke keluaran *port 3*. Di dalam *switch*, daya optik masukan *port 1* terkopel ke *port 3*, dimana sinyal ini akan berinterferensi dengan sinyal dari *port 2*.



Gambar 4. *Intrachannel Crosstalk* pada sistem DWDM

4.2 Crosstalk di Optical Cross Connect

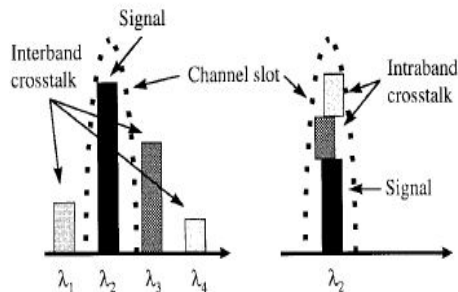
Ada beberapa jenis *crosstalk* yang terjadi pada OXC berdasarkan sumbernya[3] :

1. Interband crosstalk

Interband crosstalk adalah *crosstalk* yang terjadi pada panjang gelombang di luar slot kanal (panjang gelombang di luar *bandwith* optik). *Crosstalk* ini dapat dihilangkan dengan filter *narrow-band* dan tidak menghasilkan getaran (*beating*) selama pendeteksian, sehingga tidak terlalu merugikan.

2. Intraband crosstalk

Crosstalk yang terjadi pada slot kanal panjang gelombang yang sama disebut *intraband crosstalk*. *Crosstalk* ini tidak dapat dihilangkan dengan *optical filter* sehingga berakumulasi sepanjang jaringan. Karena tidak dapat dihilangkan, maka *crosstalk* jenis ini harus dihindarkan. Gambar 5 memperlihatkan *interband* dan *intraband crosstalk*.



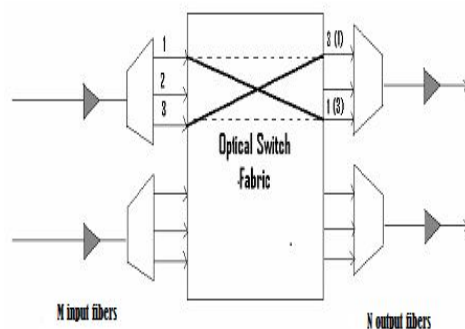
Gambar 5. Interband dan Intra-band Crosstalk

Pada *intra-band crosstalk*, akan didefinisikan perbedaan antara *incoherent* dan *coherent crosstalk*. Perbedaan antara kedua jenis *crosstalk* ini dapat dilihat dari konsekuensi yang ditimbulkannya.

Interferensi kanal sinyal dan kanal *crosstalk* pada detektor menghasilkan pola getaran (*beat term*). *Crosstalk* dinyatakan sebagai *coherent crosstalk* bila total *crosstalk* didominasi oleh getaran ini. Jika pola getar ini sangat kecil dibandingkan total *crosstalk*, maka dinyatakan sebagai *incoherent crosstalk*. Pada *incoherent crosstalk* pola getar dapat diabaikan (misalnya jika panjang gelombang-panjang gelombangnya berbeda). Pada *coherent crosstalk*, pola getar tidak dapat diabaikan. *Crosstalk* ini terjadi pada jaringan DWDM jika kanal-kanal dengan frekuensi *carrier* yang sama digabungkan.

5. Sistem Crosstalk

Sistem dari *optical cross connect* DWDM yang dianalisis adalah seperti pada Gambar 6. Pada sistem ini, *crosstalk* dihasilkan pada *optical switch* [4].



Gambar 6. Ilustrasi Skematik konvensional OXC

Gambar 6 menunjukkan *cross connect* terhubung di mana terdapat M serat masukan dan N serat keluaran kanal. *Cross connect* menswitch sinyal ke lokasi yang diinginkan

untuk pada sisi lain yang di demultipleks. Pada *switch*, sinyal dari input 1 dihubungkan dengan output 3. Dan sinyal dari input 3 dihubungkan ke output 1, itu dapat dilihat bahwa dalam output 3, sebagian kecil masukan 3 telah masuk bersama dengan sinyal 1. Demikian pula pada output 1 sebagian kecil dari masukan 1 telah masuk bersama- sama dengan sinyal 3. Ini adalah dari sinyal yang tidak diinginkan yang masuk ke dalam output dari *optical cross connect*[4]. *Crosstalk* yang masih ditolerir (maksimal) adalah -40 dB[3].

6. Parameter Sistem

Untuk menghitung *crosstalk* pada kanal masukan dan kanal keluaran dapat digunakan Persamaan 1[1].

$$\sigma^2 = M \cdot b^2 \cdot R_d^2 \cdot P_s^2 \{ 2E_{adj} + (N-3)E_{nonadj} + X_{switch} \} \quad (1)$$

Dimana :

- M : Kanal masukan
- b : Perbandingan tinggi puncak suatu sinyal
- N : Kanal keluaran
- R_d : Detektor Respon
- P_s : Daya Input Sinyal
- E_{adj} : *Crosstalk* efektif kanal yang berdekatan
- E_{nonadj} : *Crosstalk* efektif kanal yang tidak berdekatan
- X_{switch} : Nilai *Crosstalk* (dalam satuan linier) pada suatu *optical switch*

Crosstalk ASE (Amplified Spontaneous Emission) adalah *Crosstalk* yang disebabkan oleh *gain* dan hamburan Spontan Raman pada optik *Amplifier* Raman.

Untuk menghitung *crosstalk* yang disebabkan oleh *gain* dapat digunakan Persamaan 2[1].

$$\sigma_{ase} = \sqrt{\{(G - 1) \cdot N_{sp} \cdot h \cdot \nu \cdot BW\}} \quad (2)$$

Dimana :

- G : *Gain*
- N_{sp} : faktor emisi spontan atau Faktor populasi inversi
- h : Konstanta *Planck* (6,634 × 10⁻³⁴ JKg⁻¹ K-1)
- ν = c / λ adalah frekuensi sinyal
- c : kecepatan cahaya (3 × 10⁸)
- λ : panjang gelombang
- BW : lebar pita (*hertz*)

7. Hasil dan Analisis

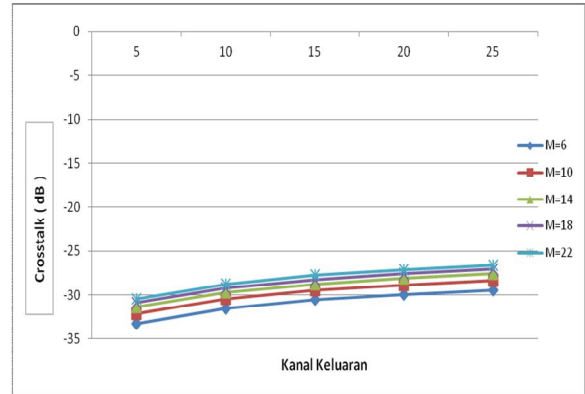
7.1 Analisis Crosstalk Terhadap Kanal Masukan (M) dan Kanal Keluaran (N)

Dari model *Optical Cross Connect (OXC)* dengan kombinasi *optical switch* pada Gambar 5, maka dapat dihitung nilai *Crosstalk* untuk masing -masing kanal dengan diambil asumsi dari referensi[1]. Maka $b=1$, $R_d = 0,85$, $E_{adj} = 0,5$ dan $E_{nonadj} = 0,5$, $N_{sp} = 1,8$. Hasil Analisis perhitungan *Crosstalk* terhadap Kanal Masukan (M) dan Kanal Keluaran (N) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Perhitungan *Crosstalk* terhadap Kanal Masukan (M) dan Kanal Keluaran (N)

M	N	Crosstalk (Watt)	Crosstalk (dB)
6	5	0,0004	-33,29
6	10	0,0007	-31,54
6	15	0,0008	-30,58
6	20	0,0010	-29,92
6	25	0,0011	-29,41
10	5	0,0006	-32,18
10	10	0,0009	-30,43
10	15	0,0011	-29,47
10	20	0,0013	-28,81
10	25	0,0014	-28,30
14	5	0,0007	-31,45
14	10	0,0001	-29,70
14	15	0,0013	-28,74
14	20	0,0015	-28,08
14	25	0,0017	-27,57
18	5	0,0008	-30,91
18	10	0,0012	-29,15
18	15	0,0015	-28,20
18	20	0,0017	-27,53
18	25	0,0019	-27,03
22	5	0,0008	-30,47
22	10	0,0013	-28,72
22	15	0,0016	-27,76
22	20	0,0019	-27,10
22	25	0,0021	-26,59

Dari hasil analisis perhitungan pada Tabel 1, maka dapat diperoleh grafik yang menggambarkan pengaruh *crosstalk* OXC terhadap kanal masukan dan kanal keluaran, yaitu seperti yang tampak pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Hubungan Antara *Crosstalk* OXC dengan Kanal Masukan dan Kanal Keluaran

Berdasarkan grafik Gambar 7 maka diperoleh bahwa untuk $M = 6$ dan $N= 5$ diperoleh *crosstalk* sebesar $-33,29$ dB. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar jumlah kanal masukan (M) dengan jumlah kanal keluaran (N) tetap maka *crosstalk* semakin besar.

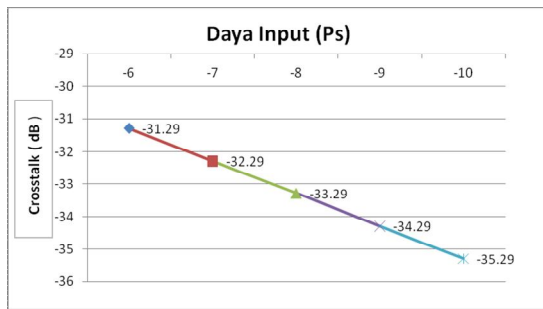
7.2 Analisis Crosstalk Terhadap Daya Input

Dari model *Optical Cross Connect (OXC)* dengan kombinasi *optical switch* pada Gambar 5, maka dapat dihitung nilai *Crosstalk* untuk masing -masing kanal dengan diambil asumsi dari referensi[1]. Maka $b=1$, $R_d = 0,85$, $E_{adj} = 0,5$ dan $E_{nonadj} = 0,5$, $N_{sp} = 1,8$. Hasil Analisis perhitungan *Crosstalk* terhadap Daya Input dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Perhitungan *Crosstalk* terhadap Daya Input

Ps (dBm)	Crosstalk (Watt)	Crosstalk (dB)
-6	0,00074	-31,29
-7	0,00058	-32,29
-8	0,0004	-33,29
-9	0,00037	-34,29
-10	0,00029	-35,29

Dari hasil analisis perhitungan pada Tabel 2, maka dapat diperoleh grafik yang menggambarkan pengaruh *crosstalk* OXC terhadap Daya Input, yaitu seperti yang tampak pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik hubungan antara Crosstalk OXC dengan daya Input

Berdasarkan grafik Gambar 8 maka diperoleh untuk Daya Input (Ps) = -6 dBm diperoleh *crosstalk* sebesar -31,29 dB. Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk mengurangi *crosstalk* maka daya input sinyal harus semakin kecil.

7.3 Analisis Crosstalk Terhadap Gain dan Bandwidth

Dari model *Optical Cross Connect (OXC)* dengan kombinasi *optical switch* pada Gambar 5, maka dapat dihitung nilai *Crosstalk* untuk masing -masing kanal dengan diambil asumsi dari referensi[1]. Maka $h=6,63 \times 10^{-34}$, $c=3 \times 10^8$, $\lambda=1550 \times 10^9$. Hasil Analisis perhitungan *Crosstalk* untuk masing – masing nilai *gain* dan *bandwidth* dapat dilihat pada Tabel 3, 4, 5, 6, dan 7.

Tabel 3. Hasil Analisis Perhitungan *Crosstalk* Terhadap *Gain* dan *Bandwidth* untuk Gain = 20 dB

Bandwidth (Hz)	Crosstalk (Watt)	Crosstalk (dB)
20	$2,11 \times 10^{-17}$	-166,7
15	$1,83 \times 10^{-17}$	-167,3
12	$1,63 \times 10^{-17}$	-167,8
5	$1,05 \times 10^{-17}$	-169,7
2	$6,7 \times 10^{-18}$	-171,7

Tabel 4. Hasil Analisis Perhitungan *Crosstalk* terhadap *Gain* dan *Bandwidth* untuk Gain = 10 dB

Bandwidth (Hz)	Crosstalk (Watt)	Crosstalk (dB)
20	$6,38 \times 10^{-18}$	-171,9
15	$5,53 \times 10^{-18}$	-172,5
12	$4,94 \times 10^{-18}$	-173,0
5	$3,19 \times 10^{-18}$	-174,9
2	$2,02 \times 10^{-18}$	-176,9

Tabel 5. Hasil Analisis Perhitungan *Crosstalk* terhadap *Gain* dan *Bandwidth* untuk Gain = 12 dB

Bandwidth (Hz)	Crosstalk (Watt)	Crosstalk (dB)
20	$3,12 \times 10^{-18}$	-175,0
15	$2,71 \times 10^{-18}$	-175,6
12	$2,42 \times 10^{-18}$	-176,1
5	$1,56 \times 10^{-18}$	-178,0
2	$9,89 \times 10^{-19}$	-180,0

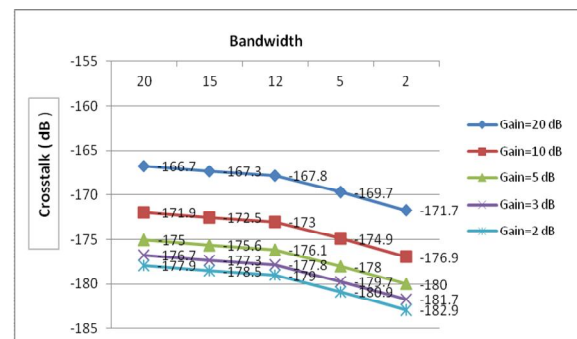
Tabel 6. Hasil Analisis Perhitungan *Crosstalk* terhadap *Gain* dan *Bandwidth* untuk Gain = 5 dB

Bandwidth (Hz)	Crosstalk (Watt)	Crosstalk (dB)
20	$2,12 \times 10^{-18}$	-176,7
15	$1,83 \times 10^{-18}$	-177,3
12	$1,64 \times 10^{-18}$	-177,8
5	$1,06 \times 10^{-18}$	-179,7
2	$6,71 \times 10^{-19}$	-181,7

Tabel 7. Hasil Analisis Perhitungan *Crosstalk* terhadap *Gain* dan *Bandwidth* untuk Gain = 2 dB

Bandwidth (Hz)	Crosstalk (Watt)	Crosstalk (dB)
20	$1,62 \times 10^{-18}$	-177,9
15	$1,40 \times 10^{-18}$	-178,5
12	$1,25 \times 10^{-18}$	-179,0
5	$8,10 \times 10^{-19}$	-180,9
2	$5,12 \times 10^{-19}$	-182,9

Dari Tabel 3, 4, 5, 6, dan 7 maka dapat diperoleh data hasil analisis dalam bentuk grafik yang menggambarkan pengaruh *crosstalk* OXC terhadap *Gain* dan *Bandwidth*, yaitu seperti yang tampak pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik hubungan antara *Crosstalk* OXC terhadap *Gain* dan *Bandwidth*

Berdasarkan grafik Gambar 9 maka untuk $Gain = 20$ dB dengan $Bandwidth (B_w) = 20$ Hz diperoleh *crosstalk* -166,7dB. Sehingga dapat disimpulkan semakin besar $Gain (G)$ dan $Bandwidth (B_w)$ maka *crosstalk* semakin besar.

8. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari tulisan ini adalah sebagai berikut :

1. *Crosstalk* OXC pada kombinasi *switch* Untuk $M = 14$ dan $N = 10$ diperoleh *crosstalk* sebesar -29,70 dB. Jika $M = 14$ dan $N = 15$ maka *crosstalk* -28,74 dB, Sehingga semakin besar jumlah kanal keluaran (N) dengan jumlah kanal masukan (M) tetap maka *crosstalk* semakin besar.
2. Untuk mengurangi terjadinya *crosstalk* maka daya input sinyal (P_s) harus dikecilkan.
3. $Gain$ dan $bandwidth$ pada *crosstalk* sangat berpengaruh karena semakin besar $gain$ dan $bandwidth$ maka *crosstalk* yang dihasilkan akan semakin besar pula. dan sebaliknya semakin kecil $gain$ dan $bandwidth$ maka *crosstalk* dihasilkan akan semakin kecil.

9. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada L.H. Sitompul dan R. Hutasoit selaku orang tua penulis, Ir. M. Zulfin, MT selaku dosen pembimbing, juga Naemah Mubarakah ST.MT, Maksum Pinem ST.MT, yang sudah membimbing penulis dalam menyelesaikan paper ini, dan semua pihak yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu.

10. Daftar Pustaka

- [1] Reza, Syed. 2013. “Analyses on the Effects of Crosstalk in a Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) System Considering a WDM Based Optical Cross Connect (OXC)”. International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 4, Issue 1, January-2013 1 ISSN 2229-5518.
- [2] Gilang, Kanal. 2006. “Teknologi WDM pada Serat Optik”. Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia.

- [3] Ramadhani, Annisa. 2005. “Analisis Crosstalk pada Multiwavelength Optical Cross Connect (OXC)”. Departemen Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara.
- [4] Choudrullah, Afsana. 2006. “Performance Analysis of an Optical Cross Connect at DWDM System”. BRAC University.