ANALISIS EFEK NONLINIER DI SISTEM CWDM PADA SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK
ANALYSIS NONLINEAR EFFECT IN CWDM NETWORK ON OPTICAL FIBER COMUNICATION NETWORK

Paundra Aldila[1], Akhmad Hambali Ir., MT.[2], Indrarini Dyah Irawati ST., MT.[3]
[1,2,3]Fakultas Teknik Elektro, Telkom University, Bandung
[1]paundra.28@gmail.com , [2], [3]

Abstrak

Jaringan serat optik yang sekarang sedang berkembang dengan pesat tentunya memiliki masalahnya tersendiri. Didalam jaringan optik dikenal banyak *multiplexer*, salah satunya adalah *Coarse Wavelength Division Multiplexing* (CWDM). Di Indonesia sendiri CWDM rencananya akan digunakan pada jaringan di daerah perkotaan karena CWDM memiliki *bandwidth* yang lebar namun memiliki jarak tempuh yang dekat. CWDM juga digunakan karena biaya pengoperasiannya relatif lebih murah dibandingkan teknik *multiplexer* yang lain.

Didalam jaringan serat optik terdapat efek nonlinier yang akan mempengaruhi keadaan jaringan itu sendiri. Efek nonlinier sendiri terdiri dari beberapa macam, seperti SPM, XPM dan FWM. Pada penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui efek dari non-liner terhadap jaringan CWDM. Panjang gelombang yang digunakan yaitu S-band, C-band dan L-band yang berkisar dari 1460 nm hingga 1625 nm dengan spasi panjang gelombang adalah 20 nm. Pada saat terjadi pelemahan sinyal pada kilometer tertentu, sistem jaringan optik pada pengujian akan ditambahkan EDFA sebagai penguat.

Hasil dari penelitian ini adalah efek nonlinier yang dibandingkan pada jaringan CWDM dengan jaringan CWDM yang tidak terdapat efek nonlinier hasilnya beragam. CWDM tanpa nonlinier hasilnya lebih baik dibandingkan dengan yang menggunakan efek nonlinier. Besar nilai perbandingan yang didapat adalah 0.685% untuk tanpa EDFA dan 0.36% untuk menggunakan EDFA.

Kata Kunci **: CWDM, Efek Nonlinier, Optisystem**

Abstract

Optical fiber optic that develop very quickly now has problem itself. In optical fiber network know a lot of multiplexer, one of lot that multiplexer is Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM). In Indonesia CWDM will planned in city area network because CWDM has wide range bandwidth but, has short effectiveness range. CWDM uses because has lower operational budget than other multiplexer.

In optical fiber network has nonlinear effect that has influence condition of the network itself. Nonlinier effect itself has 3 kind of it, there are SPM, XPM and FWM. In this final project research has objectives to knowing influence from nonlinear effect to CWDM network. Wavelength that use In this research there are from S-band, C-band and L-band that is from 1460 nm until 1625 nm with wavelength space 20 nm. When signal reduced at certain kilometer, then optical network system will added EDFA as repeater.

Final result from this research is nonlinear effect that compare in CWDM network with CWDM network without nonlinear effect has many result. CWDM without nonlinear effect has better result than CWDM with nonliniear effect. The result of comparison is 0.685 % without EDFA and 0.36% with EDFA.

Keywords: CWDM, Nonlinear Effect, Optisystem

1. Pendahuluan

Sistem *multiplexing* yang terdapat pada SKSO ada berbagai macam, salah satunya adalah *Coarse Wavelength Division Multiplexing* (CWDM). CWDM cocok digunakan diwilayah perkotaan karena memiliki *bandwidth* yang lebar dan relative lebih ekonomis untuk biaya pengoperasiannya. Namun, CWDM tidak bisa ditransmisikan hingga jarak yang jauh.

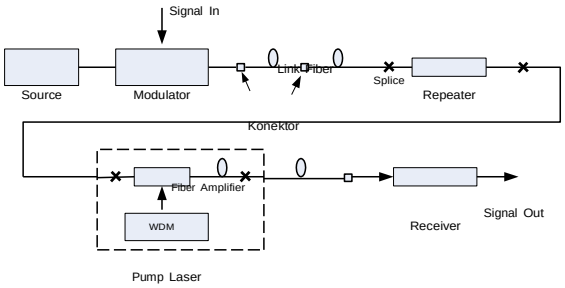
Didalam SKSO sendiri terdapat kekurangan, salah satu kekurangannya yaitu adanya efek non-liner pada jaringan transmisinya. Efek non-linier pada jaringan optik juga dikenal dengan *Kerr effect*. Yang ditimbulkan oleh *Kerr effect* adalah berupa efek-efek seperti *Self Phase Modulation* (SPM), *Cross Phase Modulation* (XPM), dan *Four Wave Mixing* (FWM). Akibat dari *Kerr effect* adalah mengurangi informasi yang diterima. Hasil riset oleh A. Panda pada tahun 2014 membuktikan bahwa, performansi pada jaringan WDM sangat dipengaruhi oleh karakteristik non-linier didalam serat. Karena *Kerr effect* dapat merusak sinyal informasi. Efeknya menjadi sangat signifikan dengan adanya laser yang sangat intense, dalam hal ini berarti laser transmisi jaringan optik.

2. Sistem Komunikasi Serat Optik

2.1 Sistem Transmisi Optik[3]

Sistem Komunikasi Serat Optik (SKSO) adalah sistem komunikasi untuk menyalurkan sinyal dari sumber informasi ke objek tujuan dengan menggunakan media transmisi serat optik. Serat optik telah menjadi pengganti media transmisi lain yaitu kabel koaksial karena kemampuannya untuk menyalurkan informasi dengan kapasitas yang jauh lebih besar dan memiliki tingkat kehandalan yang tinggi. Sekarang seluruh komunikasi data menjadi hal

yang penting, dan semakin majunya teknologi semakin dibutuhkan alat transmisi yang mendukung laju data yang cepat dan dapat menghadapi banyak layanan. Maka, serat optik merupakan pilihan yang tepat untuk melayani kebutuhan tersebut karena memiliki lebar pita yang cukup besar.



Gambar 1, *Link* sistem komunikasi serat optik secara umum [11]

2.2 Wavelength Division Multiplexing[20]

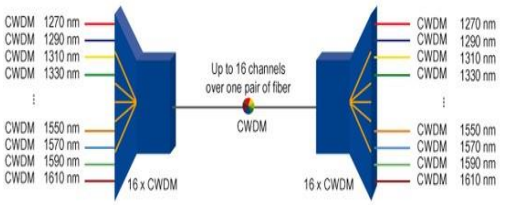
Dalam komunikasi jaringan optik, *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) adalah teknologi yang digunakan untuk menggabungkan beberapa optikal sinyal *carier* kedalam satu serat optik dengan menggunakan berbagai panjang gelombang dari cahaya/laser. Teknik ini mengizinkan komunikasi melalui satu fisik serat dengan kapasitas yang besar.

Sistem WDM menggunakan sebuah *multiplexer* di *transmitter* untuk menggabungkan sinyal, dan sebuah *demultiplexer* di *receiver* untuk memisahkan kembali sinyal yang telah digabungkan. Sistem WDM memang sesuai untuk digunakan pada perusahaan telekomunikasi, karena mereka dapat mengembangkan kapasitas dari jaringan tanpa menambah serat.

Kebanyakan dari sistem WDM beroperasi dalam mode *single-mode fiber optical cables*, yang memiliki diameter inti 9 µm. mode lain dari adalah *multi-mode fiber cables* (juga dikenal dengan *premises cables*) yang memiliki diameter inti 50 atau 62.5 µm. WDM pada awalnya mahal dan sulit untuk dijalankan. Bagaimanapun, pembaharuan standarisasi dan dengan pemahaman yang lebih baik dari sistem WDM membuat WDM menjadi lebih murah untuk dijalankan.

2.2.1 *Coarse Wavelength Division Multiplexing*[14]

Sistem CWDM memiliki *channel* pada spasi panjang gelombang 20nm, dibandingkan dengan DWDM yang mencapai 0.4nm. CWDM memberikan biaya yang lebih rendah untuk pengoperasiannya. Energi dari laser yang dipancarkan oleh sistem CWDM, tersebar ke area yang lebih luas pada panjang gelombang dibandingkan dengan energi pada laser di sistem DWDM. Toleransi pada laser CWDM kurang lebih 3nm, oleh karena itu dengan presisi laser yang rendah sistem CWDM lebih murah dan mengkonsumsi lebih sedikit daya dibandingkan dengan DWDM. Sistem CWDM tidak dapat menempuh jarak yang jauh karena panjang gelombangnya tidak dapat dikuatkan.



Gambar 2 Pajang Gelombang CWDM [7]

2.3 Efek Nonlinier

Efek nonlinear pada jaringan komunikasi optik terjadi ketika indeks bias dalam serat optik berinteraksi dengan cahaya transmisi. Efek nonlinier yang terdapat pada bahan campuran silica lebih lemah jika dibandingkan dengan material yang lainnya. Fenomena yang terjadi dengan efek nonlinier ternyata dapat bersifat bertolak belakang. Karena efek nonlinier yang sama dapat menghambat beberapa fungsi penting, namun efek lainnya adalah dapat mengatur bandwidth *bottleneck* dari proses pensinyalan untuk dapat dikembangkannya kecepatan yang lebih tinggi dari jaringan optik yang sekarang. Interaksi daya yang terjadi pada pada medium bias berhubungan dengan *Kerr effect*, dimana penyebab dari *Kerr effect* adalah indeks bias yang berubah-ubah akibat adanya intensitas daya optik[8]. Fenomena indeks bias yang terjadi pada *kerr effect* ditunjukkan pada rumus berikut[15] :

$$n_{eff} = n_0 + n_2 I \qquad (1)$$

N_{eff} adalah *effective refractive index* , n_0 adalah indeks bias dari serat optik dan n_2 adalah indeks bias nonlinier dan *I* adalah intensitas daya pada optik.

Perubahan pada indeks bias berbanding lurus dengan intensitas cahaya, dan menyebabkan adanya sinyal pada phasa. Berikut ini adalah persamaan modulasi phasa nonlinier pada optik yang disebabkan oleh perubahan indeks bias dimana λ = propagasi cahaya dan L = panjang propagasi ideal lossless. Persamaan modulasi phasa nonlinier tersebut adalah sebagai berikut[9] :

$$\Phi_{NL} = (2\pi n_2 IL) / \lambda \qquad (2)$$

Berdasarkan intensitas dari indeks bias didapatkan 3 efek, yaitu *Self-Phase modulation* (SPM), *Cross-Phase modulatin* (XPM), dan *Four-Wave mixing* (FWM). Masing-masing dari 3 efek didalamnya memiliki penyebab yang berbeda-beda.

2.3.1 Self Phase Modulation

Self-Phase Modulation (SPM) adalah salah satu konsekuensi efek yang terjadi dari *Kerr effect.* SPM berarti gelombang cahaya pada serat optik mengalami phase delay nonlinier yang berasal dari intensitasnya sendiri. Sebuah gelombang cahaya yang sangat

pendek, ketika berjalan pada medium, akan menstimulasi berbagai indeks bias pada medium berdasarkan *Kerr effect.* Variasi dalam indeks bias ini akan menghasilkan *phase shift*, mengarah kepada perubahan gelombang spektrum frekuensi[19]. Muncul modulasi baru yang ditimbulkan oleh orde ketiga. Modulasi ini muncul dengan nilai lamda yang sama, namun dipengaruhi oleh besarnya modulasi terhadap perubahan waktu.

Jika intensitas bergantung pada waktu seperti gelombang yang bisa dimodulasi, maka modulasi fasa ini pun bergantung pada waktu. Variasi fasa terhadap waktu yang menimbulkan spektrum frekuensi baru terdapat dalam rumus[15]:

$$\omega = d\phi / dt \qquad (3)$$

Dalam medium dispersi perubahan spektrum dari satu intensitas ke intensitas lain bisa menimbulkan spektrum baru. Dengan memperhatikan *Gausian pulse* yang memodulasi *carrier* pada frekuensi (ω), munculnya spektum frekuensi dapat dituliskan dalam persamaan[15]:

$$\omega' = \omega_0 + (d\phi_{NL})/dt \qquad (4)$$

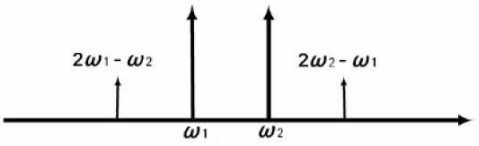
2.3.2 Cross Phase Modulation

Cross-phase modulation (XPM) adalah salah satu efek nonlinear pada optik dimana satu panjang gelombang pada cahaya dapat mempengaruhi panjang gelombang cahaya yang lain melalui efek optik *Kerr effect*. Jika ada 2 panjang gelombang yang berbeda berpropagasi bersamaan dalam serat, dalam kondisi seperti itu fasa nonlinier dapat berubah pada setiap cahaya dari intensitas cahaya yang lain[8]. Fenomena XPM, dimana dihitung juga dalam SPM, dapat menjadi relevan dalam komunikasi serat optik dengan WDM.

Ketika ada dua atau lebih sinyal ditransmisikan secara bersama-sama, akan ada efek XPM dan dimana XPM selalu ada SPM. XPM membawa sebagian dari sinyal yang lain untuk memodulasi sinyal yang baru. Secara teori, untuk 100 lamda, XPM akan meredam daya hingga 0.1 mW per lamda[14]. Sinyal yang dihasilkan oleh XPM bersifat asimetrik sehingga bisa merusak sinyal informasi. XPM dapat merusak performansi sistem pada lamda dengan jumlah besar. Selain itu, XPM dapat mengakibatkan *interchannel crosstalk* pada sistem WDM[2].

2.3.3 *Four Wave Mixing*

Four Wave Mixing (FWM) adalah suatu efek yang menjadi masalah bagi jaringan komunikasi optik. FWM merupakan fenomena intermodulasi didalam efek nonlinear jaringan optik. Interaksi antara dua panjang gelombang menghasilkan dua ekstra panjang gelombang pada sinyal transmisi. Sinyal baru tersebut muncul akibat adanya indeks bias nonlinier pada serat optik sehingga mengakibatkan termodulasinya sinyal baru yang memiliki nilai spektrum frekuensi yang hampir sama dengan spektrum frekuensi informasi[1].



Gambar 3, 2 buah masukan sinyal w1 dan w2 dengan munculnya sinyal baru[1]

Umumnya FWM terjadi jika ada tiga pulsa cahaya yang ditransmisikan dan memiliki nilai spektum frekuensi berbeda, ditransmisikan melalui satu serat optik secara bersama-sama. Pada saat proses tersebut terbentuk spektum frekuensi yang berinteraksi dan membangkitkan pulsa baru.

Tiga lamda yang berinteraksi jika dituliskan dalam persamaan adalah sebagai berikut[8]:

$$\lambda_D = \lambda_A \pm \lambda_B \pm \lambda_C \text{ atau } A \neq B \neq C \qquad (5)$$

Tiga lamda yang saling berbeda dan berinteraksi akan menghasilkan sebuah lamda yang baru yang mirip dengan lamda sinyal informasi. Lamda yang terbentuk akibat dispersi memiliki panjang gelombang yang hampir sama dengan sinyal aslinya, sehingga akan sulit untuk mem-*filter* lamda tersebut. Lamda yang terbentuk juga diakibatkan oleh spasi kanal dan disperse pada serat. Sehingga semakin kecil spasinya, maka semakin besar FWM-nya[7].

Jika dispersi semakin berkurang, maka FWM akan semakin meningkat karena disperse merupakan *inverse* dari efektifitas *mixing.* Secara umum, untuk panjang gelombang N input maka aka nada M *cross mixing* products seperti digambarkan pada rumus berikut[7] :

$$M = (N^2 (N-1)) / 2 \qquad (6)$$

Jika FWM terjadi maka akan muncul spektrum frekuensi yang akan mengganggu sinyal informasi serta mengganggu nilai akurasi dari penerima dan menyebabkan nilai *Bit Error Rate* yang tinggi.

2.3.4 EDFA [5]

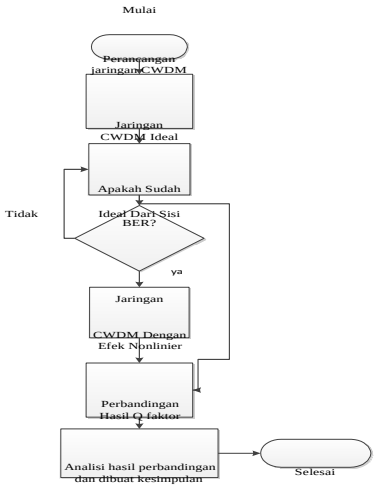
Jaringan komunikasi serat optik memiliki penguat yang dapat menguatkan sinyal tang terbuat dari serat optik yang di*doped* dengan elemen – elemen *rare earth erbium*. Kabel yang di*doped* tersebut dikenal dengan *Erbium Doped Fiber Amplifier* atau EDFA. EDFA dapat menguatkan sinyal pada serat ptik tanpa harus mengubahnya menjadi sinyal elektrik terlebih dahulu. Prinsipnya, laser digunakan untuk memompa serat *erbium doped* dan atom-atom di serat akan berpindah pita energi dari tingkat energi yang rendah menjadi tingkat energi yang lebih tinggi. Sinyal optik yang melewati serat *erbium doped* berfungsi sebagai

perangsang sehingga terjadi emisi yang melepaskan energi photon. Energi photon yang dilepaskan itulah yang menguatkan sinyal pada komunikasi serat optik.

3. Perancangan Sistem

3.1 Perancangan Sistem

Berikut merupakan diagram alir parancangan sistem pada penelitian ini:



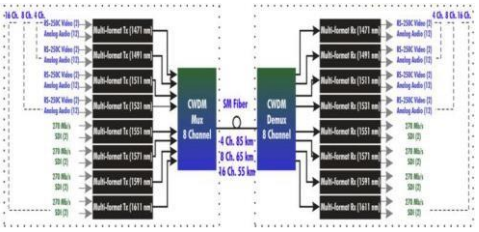
Gambar 4, Diagram alir penelitian

Pada diagram alir dapat dilihat, simulasi yang dilakukan dengan membuat jaringan CWDM kondisi tanpa nonlinier dan parameter BER dengan kondisi yang baik. Lalu dihitung kapan pelemahan terjadi saat pengujian jaringan CWDM tanpa nonlinier. Setelah mengetahui pada jarak tertentu pelemahan terjadi, maka ditambahkan penguat EDFA pada jarak tersebut. Setelah ditambahkan penguat EDFA lalu jaringan diuji kembali hingga pada jarak 70 km.

Setelah berhasil pengujian hingga jarak 70 km pada kondisi tanpa nonlinier. Selanjutnya menambahkan efek nonlinier pada jaringan sebelumnya termasuk pada jaringan yang menggunakan EDFA. Setelah itu dihitung parameter BER dan q faktor-nya. Lalu di bandingkan kondisi dimana jaringan optik tanpa efek nonlinier dengan jaringan optik yang dengan menggunakan efek nonlinier.

3.2 CWDM Secara Umum

Pada Blok perancangan dari sistem CWDM, memuat sistem perancangan CWDM dengan keadaan yang tanpa nonlinier dengan CWDM dengan efek nonlinier didalamnya. Menurut ITU-T G.694.2, *channel* yang dapat digunakan oleh CWDM berkisar antara 1270 nm sampai 1610 nm dengan spasi *channel* sebesar 20 nm. Namun direvisi di G.942.2 dengan pusat *channel* sebenarnya 1 nm, oleh karena itu panjang gelombangnya menjadi 1271 nm sampai 1611 nm. Dengan rentang seperti itu dan spasi *channel* sebesar 20 nm, maka *channel* yang tersedia untuk CWDM adalah 18 *channel*. Berikut merupakan blok CWDM secara umum:

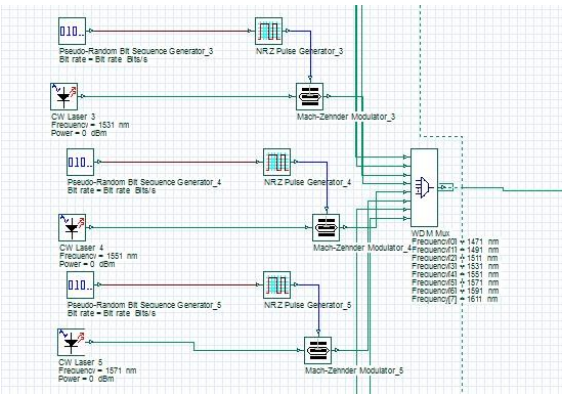


Gambar 5, Blok CWDM.secara umum

(*sumber: www.fiberw.com*)

3.2.1 Blok Pengirim

Pada blok pengirim untuk simulasi jaringan CWDM memiliki beberapa perangkat seperti pada gambar 3.3. terdapat 4 komponen inti, yaitu *Pseudo-Random Bit Sequence*, *NRZ Pulse Generator*, dan *Mach zehnder Modulator.*



Gambar 6 blok pengirim

Pada blok pengirim ini tidak banyak yang diatur. Pengaturan pada blok pengirim ini memiliki pengaturan komponen sebagai berikut:

Tabel 1, Bagian Pengirim

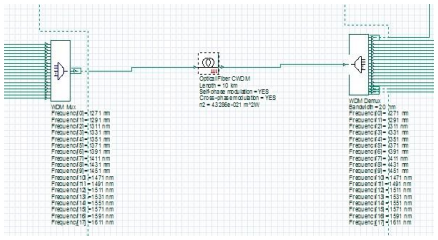
Bagian	komponen	parameter	nilai
Pengirim	NRZ pulse generator	amplitudo	1 a.u.
		Rise Time	0.05 bit
		Fall Time	0.05 bit
	CW Laser	Power	0 dBm

Pengaturan pada blok pengirim tersebut tidak berubah walaupun pada saat menambahkan EDFA pada jaringan dan menambahkan efek nonlinier didalamnya. Yang membedakan tiap blok adalah *channel* atau panjang gelombang. Tiap *channel* memiliki panjang gelombang masing-masing berkisar

dari 1460 nm hingga 1625 nm dengan spasi tiap *channel* adalah 20 nm.

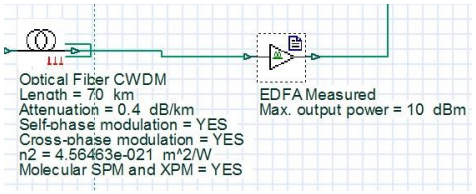
3.2.2 Blok Jaringan

Pada blok jaringan ini dimulai dari *multiplexer* hingga *demultiplexer* dan hanya melewati satu komponen yaitu komponen kabel CWDM yang dapat dirubah parameternya. Bisa dilihat komponen CWDM pada gambar 3.4, sebenarnya inti dari penelitian tugas akhir ini adalah pada komponen tersebut. Parameter yang digunakan untuk menganalisis perbandingan jaringan CWDM dengan kondisi tiap jarak pun diatur di komponen tersebut, dengan jarak yang dianalisis pada penelitian ini adalah dari 10 km hingga kondisi jaringan mulai melemah.



Gambar 7**,** Blok Jaringan

Setelah kondisi pada jaringan CWDM sudah mulai melemah dilihat dari BER, q faktor dan *power link budget*. Maka ditambahkan EDFA setelah komponen *optical fiber CWDM*. Gambarnya dapat dilihat pada gambar 3.5.

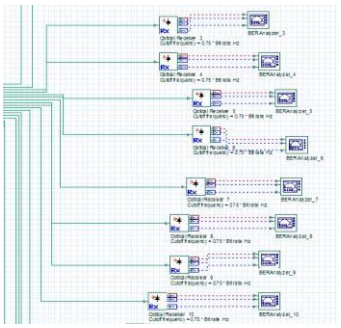


Gambar 8, EDFA

Penguatan yang diberikan dari EDFA adalah sebesar 10 dBm, itu karena spesifikasi alat yang ada dipasaran saat ini. Inti sesungguhnya adalah pada komponen *Optical fiber CWDM*. Pada gambar 3.5 dapat dilihat jika efek nonlinier dihitung pada komponen tersebut dan diatur sesuai spesifikasi tujuan awal penelitian.

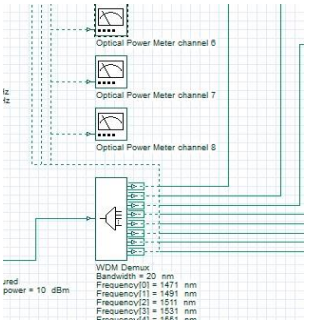
3.2.3 Blok Penerima

Pada blok penerima ini terdapat 2 komponen utama, yaitu *Optical Receiver* dan *BER Analyzer*. Pada blok penerima ini diatur secara *default*, karena dinilai tidak membutuhkan pengaturan. Hasil dari simulasi yang dilakukan dihasilkan oleh *BER Analyzer*, dari komponen itulah didapatkan nilai BER dan q faktor yang digunakan sebagai perbandingan dari jaringan CWDM tanpa efeknonlinier dan jaringan CWDM dengan efek nonlinier.



Gambar 9, Blok Penerima

Ada komponen penerima tambahan untuk mengetahui nilai daya untuk melakukan perhitungan *power link budget*. Komponen penerima itu adalah *power link meter*. *Power link meter* diletakkan setelah *demultiplexer*, sehingga daya yang terdapat didalamnya merupakan daya yang akhir penerima yang telah mengalami hambatan dan efek nonlinier jika efek nonlinier pada komponen serat CWDM diaktifkan.



Gambar 10, *Optical power meter*

3.3 Efek Nonlinier

Sistem dengan efek nonlinier merupakan topik utama pada penelitian tugas akhir ini. Efek yang ditimbulkan dengan merubah parameter n_2 yang mempengaruhi kondisi jaringan optik. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, n_2 merupakan konstanta untuk inti serat yang mengalami kondisi terjadinya efek nonlinier didalamnya. pengaruh perubahan parameter n_2 ini berdampak pada performansi dan kualitas jaringan CWDM yang disimulasikan. Parameter yang dirubah untuk mendapatkan kondisi nonlinier terdapat pada komponen *optical fiber CWDM*, pada aplikasi.

Untuk dapat mengetahui nilai n_2, dilakukan perhitungan dari rumus berikut:

$$n_2 = (48\pi^2 X_{111}) / Cn^2 \qquad (7)$$

Dari persamaan 3.1 dapat dilihat, dimana C adalah kecepatan cahaya, X_{111} adalah *third order nonlinear susceptibility*, dan n adalah indeks bias. Dari perhitungan tersebutlah didapatkan n_2. Dalam perhitungan indeks bias atau n, didapatkan dari indeks

bias silica atau SiO_2 yang merupakan bahan dari kabel serat optik yang bernilai 1.44. Setelah dilakukan perhitungan maka hasil yang didapatkan untuk n_2 adalah 4.56462963x10^{-21}.

3.4 Power Link Budget

perhitungan *power link budget* digunakan agar jaringan atau sistem yang direncanakan melebihi ambang batas dari sisi daya. Perhitungan power link budget menggunakan rumus sebagai berikut[11]:

$$\alpha_{tot} = L.\alpha_{kabel} + N_c.\alpha_c + N_s.\alpha_s + Sp + M \quad (8)$$

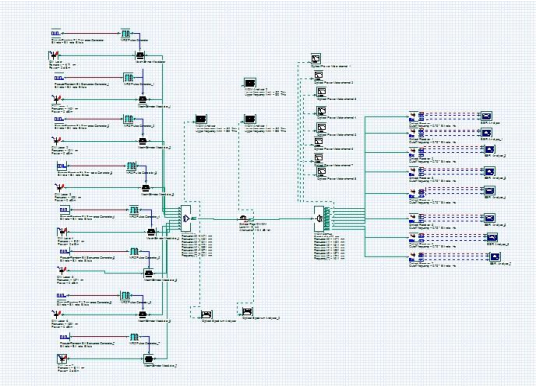
$$\alpha_{tot} = Ps - Pr \quad (9)$$

Keterangan :

α_{tot} = Redaman total sistem (dB)
α_{kabel} = Redaman kabel optik (dB/Km)
α_c = Redaman konektor (dB/buah)
α_s = Redaman sambungan (dB/sambungan)
L = Panjang serat optik (Km)
Nc = Jumlah konektor
Ns = Jumlah sambungan
Sp = Redaman *Splitter* (dB)
M = Margin (dB)
Ps = Daya optis yang dipancarkan dari sumber (dBm)
PR = Sensitifitas detektor (dBm)

4. Analisis Simulasi Sistem

Hasil dari yang telah dilakukan mencangkup q factor dan BER dari simulasi jaringan CWDM dari yang tanpa nonlinier dan dengan efek nonlinier. Variasi yang dilakukan berupa jarak dan penggunaan EDFA dari hasil simulasi yang telah dibandingkan dan diuji.



Gambar 11, Skema pengujian CWDM secara keseluruhan

4.1 Power link Budget

Perhitungan pada *power link budget* atau PLB menggunakan data pada simulasi sebagai berikut:

Tabel 3, Daya terima

Frequency (nm)	10 Km	20 Km	30 Km	40 Km
1471	-11.638	-15.638	-19.639	-23.638
1491	-11.145	-15.145	-19.145	-23.145
1511	-11.042	-15.041	-19.042	-23.042
1531	-11.021	-15.021	-19.021	-23.021
1551	-10.997	-14.997	-18.997	-22.997
1571	-10.896	-14.896	-18.896	-22.896
1591	-10.944	-14.944	-18.944	-22.944
1611	-11.346	-15.346	-19.346	-23.346

Tabel 4, Daya terima nonlinier

Frequency (nm)	10 Km	20 Km	30 Km	40 Km
1471	-11.643	-15.646	-19.646	-23.646
1491	-11.148	-15.151	-19.151	-23.151
1511	-11.045	-15.046	-19.046	-23.046
1531	-11.021	-15.022	-19.022	-23.022
1551	-10.996	-14.995	-18.995	-22.995
1571	-10.893	-14.891	-18.892	-22.892
1591	-10.94	-14.938	-18.938	-22.938
1611	-11.342	-15.34	-19.34	-23.34

Pada data tersebut dapat dilihat penerima data tersebut terdapat setelah demultiplexer dengan komponen yang bernama *optical power meter*. Satuan daya pada tebel diatas adalah dBm. Daya pada sisi pengirim bernilai 0 dBm. Untuk perhitungan daya total perlu diketahui sebelumnya, penelitian ini tidak menggunakan *splitter*, sambungan dan juga konektor. Sehingga diketahui untuk ketiga alat tersebut dalam persamaan 3.3 bernilai redaman 0 dB. M= margin, bernilai 6. Berikut perhitungan untuk mencari redaman total:

$\alpha_{tot} = L.\alpha_{kabel} + N_c.\alpha_c + N_s.\alpha_s + Sp + M$
$\alpha_{tot} = L.G_{652} + 2.\ 0.5 + 19.\ 0.1 + 0 + 6 + \text{insertion loss}$
$\alpha_{tot} = 40\ .\ 0.4 + 1 + 1.9 + 6 + 4$
$\alpha_{tot} = 28.9$ dB

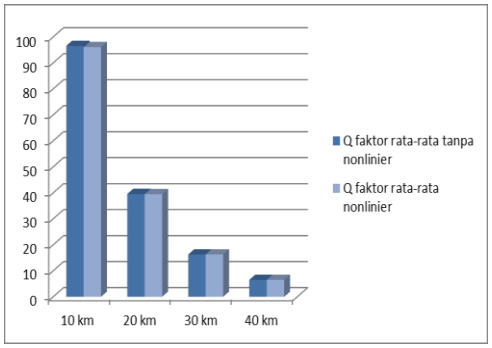
Nilai redaman sebesar 28.9 dB tersebut sudah tidak memenuhi persyaratan yang diberikan oleh ITU-T dan PT. Telkom, yaitu 28 dB[11]. Dari data tersebut ddidapatkan P_{tx}:

$P_{tx} = P_{rx} - \alpha_{tot}$
$P_{tx} = 0 - -28.9$ dB
$P_{tx} = -28.9$ dBm

Oleh karena itu, bila dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2, sebenarnya pada jarak 40 kilometer pun daya masih tetap masih diatas ambang batas, baik itu pada jaringan CWDM tanpa efek nonlinier dengan jaringan CWDM dengan efek nonlinier

4.2 Perbandingan jarak 10 km – 40 km

Pada bagian ini akan diperlihatkan perbandingan dari pengujian pada jarak 10 hingga 40 km tanpa menggunakan efek nonlinier dengan menggunakan efek nonlinier. Hasilnya berupa perbandingan dari q faktor. Sebagai berikut:

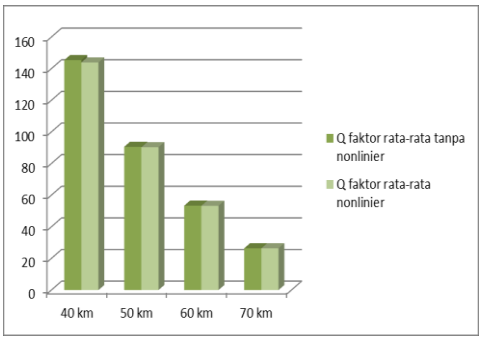


Gambar 12, Perbandingan q faktor 10 km – 40 km

Pada tabel 4.5, perbedaan q faktor tanpa efek nonlinier dengan q faktor yang menggunakan efek nonlinier tidak jauh, bahkan terbilang sangat sedikit. Besar perbandingan rata-rata dari keempat parameter jarak tersebut adalah 0.685%, dan nilai perbandingan tertinggi hanya 2.5% yaitu pada jarak 10 km. pada tahap ini membuktikan bahwa pada jaringan CWDM dengan daya 0 dBm dan tanpa penguat, efek nonlinier tidak terlalu berpengaruh.

4.3 Perbandingan Jarak 40 km – 70 km

Pada bagian ini akan diperlihatkan perbandingan dari pengujian jarak 40 km sampai 70 km, perbandingan yang dilakukan antara pengujian tanpa efek nonlinier dengan pengujian dengan efek nonlinier yang ditambahkan EDFA pada keduanya. Dengan perbandingan q faktor sebagai berikut :



Gambar 13, Perbandingan q faktor 40 km – 70 km

Pada pengujian yang ditambahkan EDFA ini pun tidak terlalu terlihat perbedaan dari jaringan yang terdapat efek nonlinier dengan yang tidak terdapat efek nonlinier didalamnya. Perbandingan rata – rata dari keempat jarak tersebut adalah 0.36% dan nilai perbandingan tertinggi pada jarak 40 km adalah sebesar 1%. Pada tahap ini pun, pengujian simulasi jaringan CWDM dengan menggunakan EDFA, pada jaringan yang terdapat efek nonlinier didalamnya pun tidak terlalu berpengaruh. Karena nilai perbandingan yang kecil dan jaringan masih tetap baik dan sangat layak untuk digunakan hingga jarak 70 km.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan pada aplikasi untuk jaringan CWDM dengan analisis efek nonlinier dengan daya 0 dBm, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

1.) Pada simulasi efek nonlinier pada jaringan CWDM, efek nonlinier tidak dominan dibandingkan dengan gangguan lain seperti redaman dan dispersi serat optik. Hal itu dikarenakan spasi kanal yang digunakan pada CWDM cukep besar yaitu 20 nm sehingga tidak terjadi interaksi antar panjang gelombang yang menyebabkan efek nonlinier.
2.) Hasil antara jaringan CWDM pada jarak 10 hingga 40 km yang tidak menggunakan efek nonlinier dan menggunakan efek nonlinier mengalamai penurunan performansi hanya sebesar 0.69%. Sehingga, dengan atau tidak menggunakan efek nonlinier pada pengujian jarak 10 hingga 40 km nilai BER maksimal yaitu 0, hingga pada jarak 20 km.
3.) Hasil antara jaringan CWDM dengan EDFA pada jarak 40 hingga 70 km yang tidak menggunakan efek nonlinier dengan yang menggunakan efek nonlinier mengalami penurunan sebesar 0.36% dengan penurunan terbesar yaitu 1% pada jarak 40 km.
4.) Pada jaringan CWDM yang menggunakan EDFA, dapat mencapai jarak lebih dari 70 km, dengan nilai BER terbaik yaitu 0 masih dicapai hingga jarak 60 km baik tanpa efek nonlinier dan dengan efek nonlinier.

5.2 Saran

Untuk pengembangan pada penelitian tugas akhir ini dengan tema analisis efek nonlinier pada jaringan optik berbasis CWDM, dapat menggunakan pengembangan dengan

menganalisis *raman scattering* pada jaringan CWDM nonlinier.

DAFTAR PUSTAKA

[1] ABD, Hafiz. (2007). *Four Wave Mixing Nonlinearity Effect In Wavelength Division Multiplexing Radio Over Fiber System.* Malaysia : University Teknologi Malaysia.

[2] Agrawal, G. P. (2006). *Nonlinear Effects in Optical Fibers.* Amerika : University of Rochester.

[3] Almalaq, Yaser. (2014). *Analysis of Transmitting 40 Gb/s CWDM Based on Extinction Value and Fiber Length Using EDFA*. America : University of Denver.

[4] Cisco Team. (2013). *Cisco Compact Reverse Transmitter 9008x with FP, DFB or CWDM Lasers.* America : Cisco Systems, Inc.

[5] Hambali, Akhmad. (2003). Analisa Karakteristik Gain Serat Optik *Erbium Doped Fiber Amplifier* Mode Tunggal. Indonesia : Universitas Indonesia.

[6] Pamukti, Brian. (2014). Simulasi dan Analisis Efek Non Linier Pada Link DWDM Dengan Multi Spasi dan Multi Lamda Menggunakan Transmisi Pulsa Siliton.. Indonesia : Telkom University.

[7] Optimal Connectivity Team (2013). *CWDM.* Swiss : Optimal Connectivity.

[8] Optoelectronics. (2004). *1310 nm, 1550 nm, and CWDM Analog Reverse Optical Transmitters For Model 6940, 6942, 6944 & Ginmaker Optoelectronic Station*. Georgia : Scientific-Atlanta.Inc.

[9] Pamukti, Brian. (2014). Simulasi dan Analisis Efek Non Linier Pada Link DWDM Dengan Multi Spasi dan Multi Lamda Menggunakan Transmisi Pulsa Siliton.. Indonesia : Telkom University.

[10] Panda, A. (2014). *Nonlinear Effect of Four Wave Mixing for WDM in Radio-over-Fiber Systems.* Journal of Electronics and Communication Engineering Research.

[11] Parhusip, Tando. (2014). Perancangan Jaringan Akses *Fiber to the Home* (FTTH) Menggunakan *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) Untuk Aplikasi @WIFI.ID Di Telkom University. Indonesia : Telkom University.

[12] Penze, Rivael Strobel. (2012). *Upgrading and Extending PON by Using In-Band WDM Overlay*. Brazil : University of Campinas.

[13] Rasheed, Iftikhar. (2013). *Analyzing the Non-Linear Effects at various Power Levels and Hannel Counts on Performance of DWDM based Optical Fiber Communication System.* Paskistan : The Islamia University of Bahawalpur.

[14] Rouse, Margaret. (2005). *Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM).* *http://searchnetworking.techtarget.com/definition/coarse-wavelength-division-multiplexing* , diakses 21 November 2014.

[15] Singh, S. P. (2007). *Nonlinear Effects in Optical Fibers: Origin, Management and Applications*. India: University of Allahad.

[16] Syuhaimi, Muhammad. (2012). *Flexible Topology Migration in Optical Cross Add and Drop Multiplexer in Metropolitan Ring Network.* Malaysia : University Kebangsaan Malaysia.

[17] TransPacket Team (2011). *CWDM and DWDM Networking*. Norwegia : TransPacket.

[18] Violakis, Georgio. (2012). *Fabrication of Bragg Gratings in Microstructured and Step Index Bi-SiO_2 Optical Fiber Using an Arf Laser*. Rusia : Fiber Optics Research Center RAS.

[19] Artikel non-personal. (2014). *Self-phase Modulation*. http://en.wikipedia.org/wiki/Self-phase_modulation , diakses tanggal 2 maret 2015. Wikipedia.

[20] Artikel non-personal. (2014). *Wavelength Division Multiplexing*. http://en.wikipedia.org/wiki/Wavelength-division_multiplexing , diakses 20 November 2014. Wikipedia.