

PERANCANGAN DAN ANALISIS SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK *LINK* SAMARINDA-PENAJAM PASER UTARA MENGGUNAKAN TEKNOLOGI DWDM

Muhammad Naufal 'Aunurrafieq¹, Akhmad Hambali², Brian Pamukti³

^{1,2,3}Universitas Telkom, Bandung

naufalrafieq@student.telkomuniversity.ac.id¹, ahambali@telkomuniversity.ac.id², brianpam@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Rencana pemerintah Indonesia terkini mengenai pemindahan Ibu Kota Negara Indonesia ke pulau Kalimantan tepatnya disekitar wilayah Kabupaten Penajam Paser Utara menuntut tingkat pelayanan dan fasilitas layanan telekomunikasi yang maksimal agar dapat menunjang kebutuhan pemerintah dan masyarakat di wilayah tersebut sehingga diperlukan perancangan jaringan telekomunikasi yang mumpuni untuk mengatasi permasalahan tersebut. Pada penelitian dilakukan perancangan, simulasi, serta analisis sistem komunikasi serat optik pada dari Samarinda menuju Penajam Paser Utara menggunakan teknologi *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM). Standar performansi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Link Power Budget* (LPB), *Rise Time Budget* (RTB), *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Q-factor*, dan *Bit Error Rate* (BER). Dalam penelitian ini diujikan beberapa skenario *gain* pada *amplifier* dengan nilai 35 dB, 39 dB, dan 43 dB dimana skenario dengan gain 43 dB mampu memenuhi standar performansi dan layak untuk digunakan serta diimplementasikan dimana skenario ini mampu menghasilkan nilai BER terkecil sebesar $9,91547 \times 10^{-13}$ dan nilai bit error rate terbesar yaitu $9,1891 \times 10^{-11}$.

Kata kunci: *dense wavelength division multiplexing, link power budget, rise time budget, signal to noise ratio, Q-factor, bit error rate.*

I. PENDAHULUAN

Dalam rapat terbatas pemerintah pada tanggal 29 April 2019, Presiden Joko Widodo menetapkan upaya pemindahan ibukota Indonesia dan dituangkan dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Tahun 2020-2024. Dalam keputusan tersebut, lokasi ibukota negara baru akan dibangun di wilayah administratif Kabupaten Penajam Paser Utara dan Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur [1]. Menyikapi hal tersebut, suplai infrastruktur layanan telekomunikasi sangat diperlukan untuk menunjang layanan telekomunikasi di ibukota negara baru ini. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh DD Fadhillah yang merancang serta menganalisa Desain Koneksi *Point to Point* pada *Metro Ethernet* dengan teknologi *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) didapatkan kesimpulan bahwa perancangan jaringan optisystem dengan spesifikasi rancangan seperti panjang gelombang sebesar 1555 nm, rentang jangkauan 100 km, total kanal 40, dan frekuensi kanal 100 GHz didapatkan nilai Bit Error Rate (BER) paling baik sebesar 10⁻⁶. Pada penelitian berikutnya Perancangan Sistem Optik DWDM 8 Kanal dengan Penguat EDFA didapatkan sebuah kesimpulan bahwa a dari 5 kali percobaan dengan jarak yang digunakan adalah 50 km, 60 km, 70 km, 80 km, dan 90 km serta bitrate yang digunakan adalah 10 Gbps, 9 Gbps, 8 Gbps, dan 7 Gbps terdapat hasil dengan skema bitrate 7 Gbps dan 8 Gbps dengan jarak maksimum 100 km mempengaruhi penguatan pada penguat EDFA dan berpengaruh pada nilai Q-Factor dan BER dan pada skema bitrate 9 Gbps dan 10 Gbps didapatkan hasil bahwa nilai Q-Factor dan BER tidak memenuhi standar layak pakai pada jarak tertentu.

II. KAJIAN TEORI

A. Sistem Komunikasi Serat Optik

Sistem komunikasi serat optik umumnya terdiri dari beberapa bagian yaitu *transmitter*, kanal komunikasi yaitu serat optik, dan *receiver*. *Transmitter* memiliki fungsi sebagai pengubah sinyal elektrik menjadi sinyal optik. *Transmitter* terdiri dari beberapa bagian diantaranya, sumber optik, *modulator*, dan *channel coupler*. Salah satu contoh sumber dari sinyal optik adalah *Light Emitting Diode* (LED). Fungsi dari *modulator* untuk membuat variasi arus masukan dari sumber optik. Sinyal optik yang telah difokuskan oleh *channel coupler* akan masuk kedalam serat optik dengan tingkat efisiensi yang tinggi. *Receiver* berfungsi untuk mengubah kembali sinyal optik kedalam bentuk sinyal elektrik. *Receiver* terdiri dari *coupler* yang berfungsi untuk memusatkan sinyal optik kedalam *photodetector*. Lalu *photodetector* mengubah sinyal optik menjadi sinyal elektrik untuk diteruskan ke *demodulator*. *Demodulator* merupakan sebuah *circuit* yang mengklasifikasikan nilai bit sebagai 1 atau 0 dan diharuskan menggunakan format modulasi yang sama dengan modulator yang digunakan agar tidak terdapat kesalahan pada data yang diterima [2].

B. *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM)

Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) adalah teknik penggabungan sejumlah sinyal dengan menggunakan cahaya dan panjang gelombang sebagai kanal informasi dengan menggunakan media transmisi serat optik. DWDM memiliki prinsip kerja mempersempit spasi kanal sehingga memungkinkan untuk mentransmisikan beberapa panjang gelombang yang berbeda dalam satu media transmisi. Sistem DWDM biasanya diterapkan dalam pembangunan jaringan jarak jauh (*Long Haul*) [3].

C. *Optical Add/Drop Multiplexer (OADM)*

OADM adalah elemen untuk mengatur manajemen panjang gelombang yang memiliki fungsi sebagai komponen penambahan dan pengurangan saluran optik. Jaringan optik DWDM berbasis OADM dapat menyediakan jaringan akses optik yang terjamin, berbiaya rendah, dan mudah untuk diperhitungkan, karena OADM menimbulkan loss yang rendah. Komponen OADM memungkinkan gelombang pada jaringan optik DWDM untuk ditambah, dikurangi, dan dilewatkan [4].

D. *Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)*

Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA) adalah salah satu jenis penguat sinyal optik atau *Optical Amplifier (OA)* yang memiliki fungsi untuk meningkatkan kualitas jaringan optik. EDFA dapat bekerja pada panjang gelombang 1550 nm. EDFA dapat melakukan proses penguatan tanpa harus melakukan konversi sinyal menjadi sinyal elektrik terlebih dahulu. EDFA sendiri merupakan serat optik aktif yang terbuat dari serat silika yang memiliki unsur *Erbium (Er³⁺)*. Dalam penggunaannya, EDFA dapat ditempatkan setelah *transmitter (booster amplifier)*, antara *transmitter* dan *receiver (in-line amplifier)*, dan sebelum *photodetector (pre amplifier)* [5].

III. METODE



GAMBAR 1
DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Tahap pertama yang dilakukan adalah studi literatur dari penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini. Tahap kedua adalah penentuan lokasi penelitian yang berada di Samarinda-Penajam Paser Utara. Tahap ketiga adalah pengumpulan data parameter yang diperlukan. Tahap keempat adalah perhitungan performansi dengan menggunakan parameter yang telah terkumpul. Tahap kelima adalah melakukan simulasi perancangan menggunakan *software* optisystem. Apabila hasil rancangan telah memenuhi standar performansi sistem maka simulasi berhasil.

A. Parameter Sistem

Dalam proses perancangan dan simulasi membutuhkan parameter yang digunakan untuk melakukan perancangan dan simulasi.

a. Parameter Umum

Parameter umum yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh tabel 1,

TABEL 1
PARAMETER UMUM

Parameter Umum	
<i>Bit rate (Gbps)</i>	10
<i>Bandwidth (Ghz)</i>	9
Format modulasi	NRZ
<i>Margin system</i>	3

b. Parameter *Transmitter*

Parameter *transmitter* yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh tabel 2,

TABEL 2
PARAMETER TRANSMITTER

Parameter <i>Transmitter</i>	
<i>Jenis Optical Source</i>	CW Laser
Frekuensi (nm)	1550, 1551, 1552, 1553
<i>Rise Time (ps)</i>	30
Lebar spektral (nm)	0,07
Daya transmit (dBm)	6

c. Parameter Serat Optik

Parameter serat optik yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh tabel 3,

TABEL 3
PARAMETER SERAT OPTIK

Parameter Serat Optik	
Jenis serat optik	SMF G.655
Panjang link (km)	202
Atenuasi (dB/km)	0,2
Dispersi kromatik (ps/nm.km)	0,07
Redaman splice (dB/splice)	0,1
Redaman connector (dB/connector)	0,3

d. Parameter *Amplifier*

Parameter *amplifier* yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh tabel 4,

TABEL 4
PARAMETER AMPLIFIER

Parameter <i>amplifier</i>	
<i>Gain EDFA in-line (dB)</i>	43
<i>Minimum gain output (dB)</i>	0,1
<i>Maximum gain output (dB)</i>	44
<i>Minimum power input (dB)</i>	-30
<i>Maximum power input (dB)</i>	5
<i>Noise figure (dB)</i>	4

e. Parameter Receiver

Parameter receiver yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh tabel 5,

TABEL 5
PARAMETER RECEIVER

Parameter Receiver	
Jenis photodetector	PIN
Rise time (ps)	15
Sensitifitas penerima (dBm)	-22

f. Parameter Optical Add/Drop (OADM)

Parameter OADM yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh tabel 6,

TABEL 6
PARAMETER SERAT OPTIK

Parameter Serat Optik	
Jenis optical source add	CW Laser
Frekuensi add (THz)	193,04
Rise time transmitter add (ps)	30
Lebar spektral transmitter add (nm)	0,3
Daya transmit transmitter add (dBm)	9
Insertion loss add (dB)	1
Jenis photodetector	PIN
Frekuensi Drop (THz)	193,04
Rise time (ps)	15
Sensitifitas penerima (dBm)	-22
Insertion loss drop (dB)	1,7

g. Parameter Multiplexer/Demultiplexer

Parameter Multiplexer/Demultiplexer yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh tabel 7,

TABEL 7
PARAMETER MULTIPLEXER/DEMUTIPLEXER

Parameter Multiplexer/Demultiplexer	
Kanal	4
Insertion Loss (dB)	3

C. Penentuan Jumlah Penguat

Penentuan jumlah penguat yang dibutuhkan ditunjukkan melalui persamaan [6]:

$$N = \frac{LOSS_{actual} - LOSS_{acceptable}}{G_{EDFA}} \quad (1)$$

D. Kelayakan Performansi

Pada penelitian ini, parameter yang digunakan yaitu *Link Power Budget* (LPB), *Rise Time Budget* (RTB), *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Q-factor*, dan *Bit Error Rate*

a. Link Power Budget (LPB)

Link power budget yaitu perhitungan anggaran daya yang diperlukan dalam perancangan agar daya yang diterima pada receiver tidak kurang dari level daya minimum sehingga dapat dideteksi oleh receiver. Persamaan *link power budget* yaitu [7]:

$$P_{Tx} - P_{Rx} = M_s + \alpha Total$$

$$\alpha Total = n_c \alpha_c + \left(\frac{L_{sistem}}{L_{kabel}} - 1 \right) \alpha_s + Link \alpha_f \quad (2)$$

$$L_{sistem}(km) = \frac{\alpha Total (dB) + \alpha_s (dB) - n_c \alpha_c (dB)}{\alpha_f \frac{\alpha_s}{L_{kabel}}}$$

b. Rise Time Budget

Perhitungan *Rise Time Budget* dilakukan untuk menentukan batas dispersi dari link serat optik sehingga nilai dispersi dari suatu link serat optik tidak melebihi standar nilai maksimum dispersi. Perhitungan *Rise Time Budget* dapat ditentukan melalui persamaan berikut [7]:

$$t_{sistem}^2 = t_{tx}^2 + t_{intra}^2 + t_{inter}^2 + t_{rx}^2$$

$$t_{intra} = \sigma \cdot \lambda \cdot t_{rx}^2 \quad (3)$$

c. Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to Noise Ratio (SNR) adalah perbandingan daya pada sistem terhadap daya noise pada sistem. Persamaan untuk menentukan nilai SNR yaitu [8]:

$$SNR = \frac{(P_{Rx} RM)^2}{2 \cdot q \cdot P_{Rx} \cdot RM^2 \cdot F(M) \cdot B_e + \frac{4 \cdot K_B \cdot T \cdot B_e}{RL}} \quad (4)$$

d. Q-Factor

Quality factor (Q-factor) adalah sebuah parameter penting dalam komunikasi optik yang digunakan untuk acuan bagus atau tidaknya suatu jaringan serat optik. Nilai ideal dari Q-factor adalah $6 \geq Q$ [9]. Untuk menentukan nilai Q-factor dapat menggunakan persamaan berikut [8]:

$$Q = \frac{10 \frac{SNR}{20}}{2}, \quad (5)$$

e. Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate (BER) adalah tolak ukur untuk menentukan kualitas sebuah jaringan serat optik dengan menggunakan rasio perbandingan dari bit yang error dengan total seluruh bit yang dikirim [10].

Untuk membaca nilai BER terdapat sebuah ketentuan bahwa dimana nilai BER yang harus dipenuhi adalah BER 10^{-6} - 10^{-12} . Artinya, setiap 10^9 hingga 10^{12} bit data yang dikirim, error yang terjadi hanya ada 1 bit [11]. Nilai BER dapat ditentukan melalui persamaan berikut [8]:

$$BER = \frac{EXP \left(-\frac{Q^2}{2} \right)}{Q \sqrt{2\pi}}, \quad (6)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Jarak Penguat

Merujuk pada panjang sistem yang akan dirancang sangat jauh yaitu 202 km maka diperlukan penguat untuk menambah daya kirim pada sistem transmisi agar daya yang sampai tetap sesuai standar minimal performansi sistem.

a. Jarak Maksimum Transmisi Tanpa Penguat

Untuk memperoleh nilai jarak maksimum tanpa penguat, perhitungan dilakukan dengan persamaan (2) berikut:

$$L_{sistem}(km) = \frac{\alpha_{Total}(dB) + \alpha_s(dB) - n_c \alpha_c(dB)}{\alpha_f + \frac{\alpha_s}{L_{kabel}}}$$

$$L_{sistem}(km) = \frac{P_{tx}(dBm) - P_{rx}(dBm) - M_s + \alpha_s(dB) - n_c \alpha_c(dB)}{\alpha_f + \frac{\alpha_s}{L_{kabel}}}$$

$$L_{sistem}(km) = \frac{5 - (-22) - 3 + 0,1 - 2(0,3)}{0,2 + \frac{0,1}{202}}$$

$$L_{sistem}(km) = 117,2$$

b. Jumlah Kebutuhan Penguat

Untuk memperoleh jumlah kebutuhan penguat, perhitungan dilakukan dengan persamaan (2) berikut:

$$Loss_{acceptable} = n_c \alpha_c + \left(\frac{L_{sistem}}{L_{kabel}} - 1 \right) \alpha_s + Link \alpha_f + M_s$$

$$Loss_{acceptable} = (0,3 \cdot 2) + \left(\frac{117,2098765}{2} - 1 \right) 0,1 + (117,2098765 \cdot 0,2) + 3$$

$$Loss_{acceptable} = 32,8 \text{ dB dB}$$

Setelah memperoleh nilai $Loss_{acceptable}$, maka selanjutnya menentukan $Loss_{actual}$ dengan persamaan (1) berikut:

$$Loss_{acceptable} = n_c \alpha_c + \left(\frac{L_{sistem}}{L_{kabel}} - 1 \right) \alpha_s + Link \alpha_f + M_s$$

$$Loss_{acceptable} = (0,3 \cdot 2) + \left(\frac{202}{2} - 1 \right) 0,1 + (202 \cdot 0,2) + 3$$

$$Loss_{acceptable} = 54 \text{ dB}$$

Setelah mendapatkan nilai $Loss_{acceptable}$ dan $Loss_{actual}$, penentuan jumlah penguat yang dibutuhkan dapat ditentukan dengan persamaan (1) dimana perhitungan jumlah penguat yang diperlukan adalah

$$N = \frac{Loss_{actual} - Loss_{acceptable}}{G_{EDFA}}$$

$$N = \frac{54 - 32,8}{35}$$

$$N = 0,6056437391 \approx 1 \text{ buah amplifier tambahan.}$$

c. Jumlah Kebutuhan Penguat

Untuk mengetahui jarak *transmitter* dengan penguat yang akan digunakan dapat ditentukan dengan persamaan (2).

$$\alpha_{Total} = n_c \alpha_c + \left(\frac{L_{sistem}}{L_{kabel}} - 1 \right) \alpha_s + Link \alpha_f + M_s$$

$$\alpha_{Total} = (2 \cdot 0,3) + \left(\frac{117,2}{2} - 1 \right) 0,1 + (Link 0,2) + 3$$

$$Link = 127,69 \text{ km} \approx 128 \text{ km}$$

Karena EDFA amplifier merupakan perangkat aktif yang membutuhkan catuan daya, EDFA *amplifier* akan ditempatkan pada jarak 114 km sebelum memasuki perangkat OADM yang sama-sama berjenis perangkat aktif agar mempermudah dalam instalasi dimana jarak 114 km masih dibawah jarak maksimum tanpa penguat sehingga EDFA *amplifier* masih layak untuk ditempatkan pada jarak tersebut.

B. Perhitungan Rise Time Budget

Perhitungan dilakukan dengan menentukan *equivalent rise time* terlebih dahulu, dengan persamaan berikut.

$$t_{eq} = \frac{0,7}{\text{Bit Rate}}$$

$$t_{eq} = \frac{0,7}{10 \cdot 10^9}$$

$$t_{eq} = 70 \text{ ps}$$

Setelah mendapatkan nilai *equivalent rise time*, maka nilai *rise time budget* dapat ditentukan melalui persamaan (3) dengan nilai $t_{inter} = 0$ karena menggunakan serat optik *single mode*, sehingga:

$$t_{Tx-Rx} = \sqrt{t_{Tx}^2 + (D \cdot \sigma_\lambda \cdot L)^2 + t_{Rx}^2}$$

$$t_{Tx-Rx} = \sqrt{15^2 + (1 \cdot 0,3 \cdot 202)^2 + 15^2}$$

$$t_{Tx-Rx} = 64,2 \text{ ps}$$

Dengan menggunakan persamaan yang sama, hasil pada semua segmen ditunjukkan pada tabel 8,

TABEL 8
HASIL PERHITUNGAN RISE TIME BUDGET

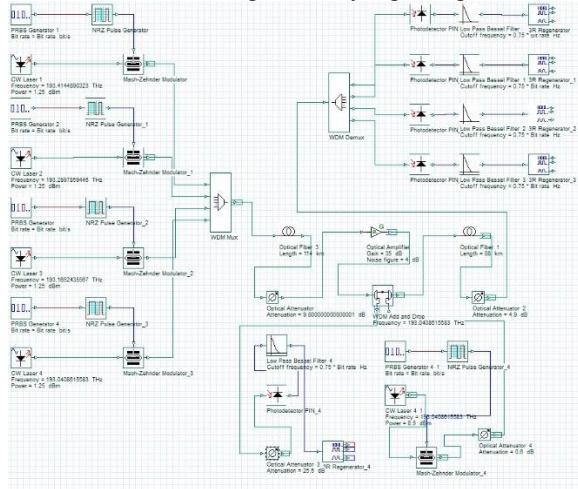
Segmen	Rise Time Budget (ps)
Tx - Rx	64,2
Tx - Rx _{OADM}	22
Tx _{OADM} - Rx	21,82

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai *rise time budget* telah memenuhi syarat pengkodean NRZ karena nilai *equivalent rise time* > *rise time total*.

C. Perancangan pada *optisystem*

Skema perancangan *optisystem* pada penelitian ini menggunakan beberapa perangkat penyusun yaitu CW *laser*, NRZ *pulse generator*, *pseudo-random bit sequence generator*, *mach-zehnder modulator*, WDM *multiplexer*, kabel optik *single mode*, *attenuator*, WDM *add drop*, WDM *Demultiplexer*, PIN *photodetector*, *low pass bessell filter*, 3R *generator*, BER *analyzer*, WDM *analyzer*, dan *optical power*

meter. Skema rangkaian yang digunakan adalah,



GAMBAR 2 RANGKAIAN PADA OPTISYSTEM

E. Hasil Simulasi Perancangan

Analisis hasil simulasi dilakukan terhadap nilai *power received*, SNR, *Q-factor* dan BER. Simulasi perancangan menggunakan *software optisystem*. Berikut adalah hasil simulasi perancangan pada link akses terjauh:

a. Power Received

Berikut adalah nilai *power received* yang didapatkan dari hasil simulasi perancangan untuk link Samarinda-Penajam Paser Utara:

TABEL 9 HASIL SIMULASI POWER RECEIVED

Power received (dBm) berdasarkan gain EDFA			
Gain \ Segmen	35 dB	39 dB	43 dB
Tx - Rx	-26,54	-22,67	-18,67
Tx - R _{XOADM}	-26,6	-22,55	-18,8
T _{XOADM} - Rx	-18,85	-18,75	-18,6

Nilai *power received* dari seluruh skenario hanya 1 skenario yang memenuhi standar performansi yang ingin dicapai sebesar > -22 yaitu pada skenario gain 43 dB.

b. SNR

Simulasi mengenai *signal to noise ratio* pada rangkaian yang telah dibuat menghasilkan nilai yang ditunjukkan pada tabel 10, :

TABEL 10 HASIL SIMULASI SNR

SNR (dB) berdasarkan gain EDFA			
Gain \ Segmen	35 dB	39 dB	43 dB
Tx - Rx	16,47	16,33	16,45

Tx - R _{XOADM}	16,450809	16,507742	16,5669885
T _{XOADM} - Rx	21,224045	21,3149	21,244665

Hasil simulasi *signal to noise ratio* menghasilkan nilai yang hampir mendekati satu sama lain di setiap segmennya pada semua skenario. Hal ini disebabkan karena karakteristik konfigurasi DWDM yang memiliki banyak frekuensi dalam satu serat kabel sehingga mempengaruhi hasil *signal to noise ratio*.

c. Q-Factor

Simulasi mengenai *Q-factor* pada rangkaian yang telah dibuat menghasilkan nilai pada tabel 11,

TABEL 11 HASIL SIMULASI Q-FACTOR

Q-factor berdasarkan gain EDFA			
Gain \ Segmen	35 dB	39 dB	43 dB
Tx - Rx	0	2,95	6,37
Tx - R _{XOADM}	0	2,97	6,58
T _{XOADM} - Rx	7,28	7,16	7,03

Hasil simulasi menunjukkan bahwa hanya dari skenario gain EDFA sebesar 43 dB yang menghasilkan nilai *Q-Factor* pada tiap segmen berada pada nilai $6 \geq Q$.

d. BER

Simulasi mengenai *Q-factor* pada rangkaian yang telah dibuat menghasilkan nilai yang ditunjukkan pada tabel 12,

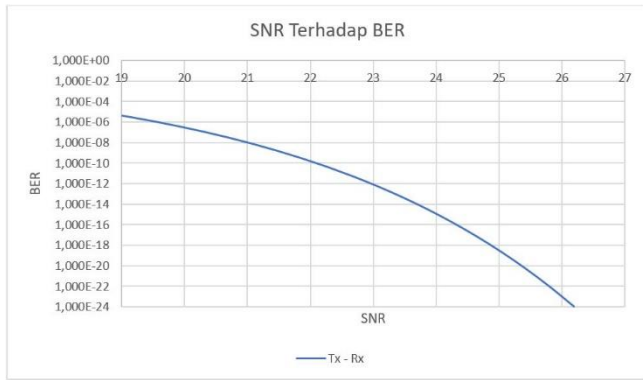
TABEL 12 HASIL SIMULASI BER

BER berdasarkan gain EDFA			
Gain \ Segmen	35 dB	39 dB	43 dB
Tx - Rx	1	0,00157515	$9,18 \times 10^{-11}$
Tx - R _{XOADM}	1	0,00144401	$2,19 \times 10^{-11}$
T _{XOADM} - Rx	$1,63508 \times 10^{-13}$	$3,95 \times 10^{-13}$	$9,91 \times 10^{-13}$

Hasil simulasi pada setiap skenario, menunjukkan bahwa hanya skenario gain EDFA sebesar 43 dB yang menghasilkan nilai *bit error rate* pada tiap segmen mendekati dan berada pada nilai standar BER yaitu $BER 10^{-6} \geq BER 10^{-12}$ sehingga hanya skenario ini yang memenuhi standar BER dan layak untuk digunakan.

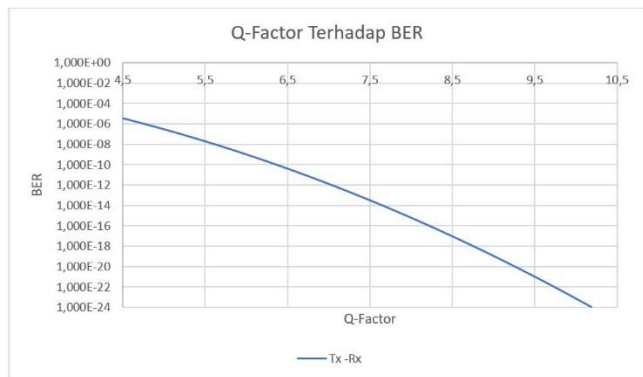
F. Grafik SNR dan Q-Factor Terhadap BER

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan variasi nilai *power transmitter* yang berbeda, didapatkan kesimpulan bahwa semakin besar nilai *signal to noise ratio* maka nilai *bit error rate* semakin kecil. Grafik mengenai perbandingan antara *signal to noise ratio* dengan *bit error rate* ditunjukkan pada grafik pad gambar:



GAMBAR 3
GRAFIK SNR TERHADAP BER

Perbandingan nilai Q -factor terhadap nilai $bit\ error\ rate$ setelah melakukan perhitungan dengan mengubah parameter power transmitter menghasilkan kesimpulan bahwa semakin besar nilai Q -factor maka nilai $bit\ error\ rate$ semakin kecil.



GAMBAR 4
GRAFIK Q -FACTOR TERHADAP BER

V. KESIMPULAN

Pengujian nilai RTB untuk link Samarinda-Penajam Paser Utara dengan modulasi NRZ menghasilkan nilai RTB dibawah 70 ps, dimana untuk segmen Tx-Rx menghasilkan nilai 64,2 ps, segmen Tx-Rx_{OADM} menghasilkan nilai 21,82 ps, dan segmen Tx_{OADM}-Rx menghasilkan nilai 22,0045 ps.

Pada skenario simulasi menggunakan $gain$ EDFA sebesar 35 dB, hasil uji performansi menghasilkan nilai $power\ received$ terkecil sebesar -26,6 dBm dan nilai $power\ received$ terbesar sebesar -18,85 dBm. Dalam skenario ini, simulasi menghasilkan nilai $signal\ to\ noise\ ratio$ terkecil sebesar 16,45 dB dan nilai terbesar yaitu 21,22 dB. Nilai Q -factor pada skenario ini menghasilkan nilai terkecil sebesar 0 dan nilai Q -factor terbesar yaitu 7,28. Nilai $bit\ error\ rate$ terkecil sebesar $1,63 \times 10^{-13}$ dan nilai $bit\ error\ rate$ terbesar yaitu 1. Pada skenario ini, nilai uji performansi dari masing-masing parameter belum mencapai standar performansi yang diperlukan.

Pada skenario simulasi menggunakan $gain$ EDFA sebesar 39 dB, hasil uji performansi menghasilkan nilai $power\ received$ terkecil sebesar -22,55 dBm dan nilai $power$

$received$ terbesar sebesar -18,75 dBm. Dalam skenario ini, simulasi menghasilkan nilai $signal\ to\ noise\ ratio$ terkecil sebesar 16,33 dB dan nilai terbesar yaitu 21,31 dB. Nilai Q -factor pada skenario ini menghasilkan nilai terkecil sebesar 2,95 dan nilai Q -factor terbesar yaitu 7,16. Nilai $bit\ error\ rate$ terkecil sebesar $3,95 \times 10^{-13}$ dan nilai $bit\ error\ rate$ terbesar yaitu 0,00157515. Pada skenario ini, nilai uji performansi dari masing-masing parameter belum mencapai standar performansi yang diperlukan.

Pada skenario simulasi menggunakan $gain$ EDFA sebesar 43 dB, hasil uji performansi menghasilkan nilai $power\ received$ terkecil sebesar -18,8 dBm dan nilai $power\ received$ terbesar sebesar -18,6 dBm. Dalam skenario ini, simulasi menghasilkan nilai $signal\ to\ noise\ ratio$ terkecil sebesar 16,45 dB dan nilai terbesar yaitu 21,24 dB. Nilai Q -factor pada skenario ini menghasilkan nilai terkecil sebesar 6,37 dan nilai Q -factor terbesar yaitu 7,03. Nilai $bit\ error\ rate$ terkecil sebesar $9,91 \times 10^{-13}$ dan nilai $bit\ error\ rate$ terbesar yaitu $9,18 \times 10^{-11}$. Pada skenario ini, nilai uji performansi dari masing-masing parameter sudah mencapai standar performansi yang diperlukan.

Berdasarkan hasil simulasi dari 3 skenario dengan $gain$ EDFA yang berbeda, skenario rancangan dengan $gain$ EDFA sebesar 43 dB layak untuk digunakan dan diimplementasikan karena hasil simulasi telah memenuhi standar performansi yang diperlukan.

Simulasi dan analisis efek non linier pada sistem komunikasi serat optik dapat dilakukan sebagai penelitian lanjutan.

REFERENSI

- [1] A. A. Aminullah, A. Priambodo, H. K. Rahmat, and K. Adri, "Kesiapan kantor pencarian dan pertolongan balakpapan dalam penanggulangan bencana guna menyambut pemindahan ibukota baru," *Nusantara: Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial*, vol. 8, no. 1, pp. 51–59, 2021.
- [2] P. Rizqi, "Analisis perbandingan unjuk kerja link dwdm berbasis nzdsf-dcf dan smf-dcf," Ph.D. dissertation, Institut Teknologi Telkom Purwokerto, 2021.
- [3] A. I. Permadi, A. F. Isnawati, , and D. Zulherman, "Comparative analysis of the dispersion compensating fiber (DCF) scheme in long-haul dense wavelength division multiplexing (DWDM)," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1367, no. 1, p. 012063, Nov. 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1367/1/012063>.
- [4] S. RADITYA PRIYO, "Analisis dan simulasi teknologi dwdm (dense wavelength division multiplexing) berbasis oadm (optical add drop multiplexer) di sistem komunikasi rof (radio over fiber)," Ph.D. dissertation, Institut Telkom Purwokerto, 2019.
- [5] M. JANNAH, "Performansi sistem twdm-pon

- menggunakan nz-dsf dan dfc pada teknologi ng-pon2,” Ph.D. dissertation, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2018..
- [6] R. A. I. Asyari, Firdaus, E. Indarto, I. Nurcahyani, “Perancangan Jaringan Backbone dan Distribusi 4G LTE Di Sleman Berbasis Jaringan Optik,” *Pros. SNATIF*, 2017 J. N. Downing, *Fiber-optic communications*. Thomson/Delmar Learning, 2005.
- [7] G. Keiser, *Optical Fiber Communications*. Singapore: McGraw-Hill, inc., 1991.
- [8] K. A. Farhan, E. S. Sugesti, and R. P. Astuti, “Perancangan dan analisis jaringan backhaul serat optik untuk komunikasi lte penumpang kereta cepat jakarta - surabaya sub cepu - surabaya,” *eProceedings of Engineering*, vol. 7, no. 2, 2020.
- [9] G. P. Agrawal, *Fiber-optic communication systems with CD*. Wiley, 2010.
- [10] G. Keiser, *Optical fiber communications*. Boston, MA: McGraw-Hill, 2000.
- [11] R. F. Adiati, “Analisis parameter signal to noise ratio dan *bit error rate* dalam *backbone* komunikasi fiber optik segmen lamongan-kebalen,” Ph.D. dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017G. Keiser, *Optical fiber communications*. Boston, MA: McGraw-Hill, 2000.