

ANALISIS PERFORMANSI SISTEM JARINGAN RADIO OVER FIBER UNTUK PENGAPLIKASIAN TELEKOMUNIKASI DALAM RUANGAN

PERFORMANCE ANALYSIS OF RADIO OVER FIBER NETWORK FOR INDOOR TELECOMMUNICATION APPLICATION

Michelle Christine¹, Ir. Akhmad Hambali, M.T.², Kris Sujatmoko, S.T., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

¹michellewei@students.telkomuniversity.ac.id, ²ahambali@telkomuniversity.co.id,

³krissujatmoko@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Radio Over Fiber (RoF) merupakan salah satu proses komunikasi serat optik dimana sinyal radio ditumpangkan ke transmisi serat optik. Dengan besarnya tuntutan keberhasilan proses telekomunikasi data, khususnya di dalam ruangan (*indoor*), RoF dapat menjadi salah satu solusi untuk mendukung keberhasilan proses telekomunikasi dengan sistem jaringan yang lebih efisien dalam segi pengaplikasiannya.

Modulasi digital *Differential Phase-Shift Keying* (DPSK) digunakan untuk sistem jaringan ini. Bit rate pada penelitian adalah 1Gbps dan terdapat modulator eksternal *Mach-Zehnder Modulator* (MZM) untuk mendukung proses penumpangan sinyal radio pada sinyal optik. Sumber optik yang digunakan adalah CW Laser dan jarak maksimal kabel serat optik adalah 30 km. *Photodetector* jenis *Avalanche Photodiode* (APD) digunakan pada blok penerima.

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa variasi power splitter dan jarak kabel serat optik mempengaruhi performansi sistem jaringan. Dimana semakin panjang jarak kabel serat optik dan semakin besar jumlah *output port power splitter*, semakin buruk nilai setiap parameter performansi. Dengan selisih nilai performansi pada setiap variasi perangkat 19,5%, hasil penelitian menunjukkan bahwa performansi perangkat terbaik dengan nilai *Bit Error Rate* (BER) $2,34 \times 10^{-12}$ adalah dengan menggunakan *power splitter* 1:2 dan jarak kabel serat optik 8 km untuk sistem jaringan *radio over fiber*. Serta performansi perangkat terburuk dengan nilai BER $9,74 \times 10^{-7}$ pada saat sistem jaringan menggunakan *power splitter* 1:8 dan jarak kabel serat optik adalah 30 km.

Kata kunci : *Radio over Fiber, Indoor, DPSK, BER, Q-Factor.*

Abstract

Radio Over Fiber (RoF) is one of the processes in optical fiber communication where radio signals are modulated in optical fiber. With the increasing number of demands in the success of a telecommunication data processing, especially indoor, RoF could be one of the solutions to support the success of telecommunication processing with a more efficient network system in terms of its application.

Differential Phase-Shift Keying digital modulation is used for this network system. The bit rate in this research is 1Gbps and Mach-Zehnder Modulator (MZM) as an external modulator is used to support the modulation process of radio signal in the optical fiber. CW Laser is used as the optical source and the maximum fiber length is 30 km. Avalanche Photodiode (APD) Photodetector is used in the receiver block.

Based on the results, it can be concluded that the variants of power splitter and fiber length can affect the network system's performance. Where the longer fiber length and the bigger number of ports in the power splitter, the values of each performance parameter decreases. With each variants's difference at 19.5%, the simulation result shows the best parameter performance with BER value $2,34 \times 10^{-12}$ is by using 1:2 power splitter and 8 km optical fiber length. Where the worst parameter performance with BER value $9,74 \times 10^{-7}$ is by using 1:8 power splitter and 30 km optical fiber length.

Keywords: *Radio over Fiber, Indoor, DPSK, BER, Q-Factor.*

1. Pendahuluan

RoF merupakan bagian dari salah satu teknologi sistem komunikasi serat optik yang dapat menjadi salah satu solusi dari kebutuhan data berkecepatan tinggi dengan kapasitas *bandwidth* lebar [1]. Berdasarkan survei yang dilakukan oleh Ericsson Mobility Report, 80% dari koneksi seluler terjadi di dalam ruangan (*indoor*). Hal ini membuktikan bahwa tuntutan akan berhasilnya sebuah koneksi telekomunikasi lebih besar terjadi di dalam ruangan (*indoor*) daripada di luar ruangan (*outdoor*). Loss atenuasi yang rendah, kapasitas *bandwidth* lebar dan kecilnya nilai *Reduced Environmental Impacts* (RAUs), merupakan beberapa faktor pendukung RoF dipilih sebagai salah satu solusi data berkecepatan tinggi, khususnya di dalam ruangan (*indoor*) [2][3][4]. Pada penelitian sebelumnya sistem jaringan RoF dengan menggunakan bandpass filter, CW Laser dan penggunaan kabel serat optik sepanjang 0.16 km, didapatkan bahwa arsitektur RoF menghasilkan *gain* sebesar 55.31 dB untuk pengaplikasian dalam ruangan [2]. Hal ini membuktikan penggunaan sistem jaringan integrasi antara media

transmisi kabel dan nirkabel seperti RoF, dapat mendukung komunikasi data bekapasitas dan berkecepatan tinggi untuk proses telekomunikasi di dalam ruangan.

Dengan tujuan mengamati performansi arsitektur sistem jaringan komunikasi RoF untuk pengaplikasian telekomunikasi dalam ruangan (*indoor*), arsitektur jaringan RoF yang dianalisis pada penelitian ini menggunakan modulasi digital DPSK dan *Pseudo-Random Bit Sequence Generators* digunakan untuk pengiriman bit pada sistem jaringan. Penelitian ini mensimulasikan dengan menggunakan *Mach-Zehnder Modulator* (MZM). Panjang gelombang optik pada setiap modulasi adalah sebesar 1550 nm dan menggunakan filter *Bessel Optical Filter* dan *Low Pass Filter*. Dengan variasi power splitter yang terdiri dari 1:2, 1:4 dan 1:8. Serta variasi jarak kabel serat optik (*fiber length*) yaitu 8 km, 10 km, 20 km, dan 30 km.

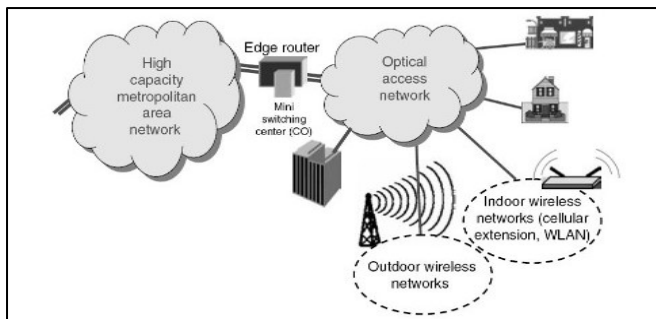
Random Bit Sequence Generators digunakan untuk pengiriman bit dengan bit rate 1 Gbps. Sinyal data dimodulasi menggunakan modulasi digital DPSK dengan frekuensi radio sebesar 250 GHz dan 255 GHz. Selanjutnya data melewati modulator eksternal MZM yang disambungkan dengan beberapa variasi panjang kabel serat optik yang terdiri dari 8 km, 10 km, 20 km dan 30 km. Pada simulasi terdapat beberapa variasi perangkat *power splitter* yang terdiri dari *power splitter* 1:2, 1:4 dan 1:8. Pengamatan terhadap beberapa parameter performansi dari sistem jaringan yang terdiri *Power Link Budget* (PLB), *Rise Time Budget* (RTB), *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Q-Factor* serta *Bit Error Rate* (BER), merupakan metode penyelesaian terakhir dari penelitian.

2. Dasar Teori

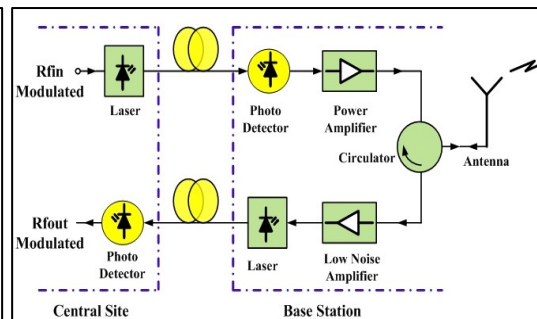
2.1 Radio Over Fiber

Radio over fiber (RoF) merupakan sebuah proses pengiriman data informasi dalam bentuk sinyal radio melalui media transmisi kabel serat optik. Pada sistem jaringan RoF, digunakan perangkat modulator eksternal yang mempengaruhi redaman daya pada sinyal informasi. Jenis modulator eksternal yang digunakan untuk sebuah sistem jaringan RoF adalah *Mach-Zehnder Modulator* (MZM) [6].

Gambar 2.1 Integrasi Serat Optik dan Jaringan Nirkabel [7]



Gambar 2.2 Konfigurasi Sistem RoF [6]

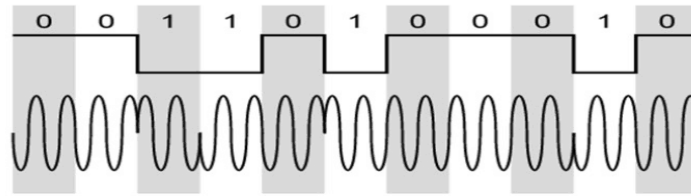


Gambar 2.1 menunjukkan konfigurasi dasar dari sistem RoF. Data sinyal radio pada *radio frequency* ditransmisikan setelah sinyal radio ditumpangkan pada sinyal dari sumber optik atau optical source. Pada *Base Station* terdapat perangkat Photodetector sebagai penerima sinyal optik, yang lalu sinyal dikuatkan menggunakan *power amplifier*. Dan Pada Gambar 2.2 menunjukkan *Central Office* menjadi perantara jaringan nirkabel dengan beberapa *Base Station* sebagai penyedia koneksi nirkabel dan jaringan eksternal seperti *Local Area Network* (LAN) atau *Metropolitan Area Network* (MAN). Tidak seperti sistem jaringan *Fiber To The Home* (FTTH), proses pengiriman dan penerimaan data berada pada frekuensi nirkabel. Penggunaan kabel serat optik memberikan kecepatan dan kualitas transmisi data yang lebih baik. Dengan jangkauan pengguna yang lebih terfokus, penggunaan RoF untuk pengaplikasian proses telekomunikasi di dalam ruangan akan memiliki performa dan efisiensi perangkat lebih baik. [7] [8]

Transmisi *radio frequency* menggunakan serat optik menawarkan ketahanan data akan *fading* dan masalah pada tahap atau level *physical* karena sinyal dibatasi hanya untuk penggunaan proses telekomunikasi dalam ruangan (*indoor*) [7]. Penggunaan RoF dapat memberikan atenuasi rendah, bandwidth lebar dan kekebalan terhadap interferensi pada frekuensi radio [9]. Namun, karena RoF melibatkan modulasi analog dan deteksi cahaya, pada dasarnya RoF merupakan sistem transmisi analog. Oleh karena itu, faktor gangguan sinyal seperti noise atau distorsi, yang penting untuk sistem komunikasi analog, juga penting untuk RoF. Walaupun RoF pada dasarnya sistem transmisi analog, sistem radio dapat berbentuk digital dengan menggunakan jenis modulasi sinyal yang komprehensif seperti QAM, PSK, dan OFDM [10]

2.2 Differential Phase-Shift Keying

Differential Phase-Shift Keying (DPSK) merupakan salah satu dari jenis modulasi fasa. Pada DPSK, fasa sinyal yang telah dimodulasi berubah hampir sama dengan elemen sinyal sebelumnya. Fasa sinyal mengikuti kondisi tinggi atau rendah elemen sebelumnya. DPSK tidak membutuhkan pembawa yang sinkron pada demodulator. Urutan bit biner yang masuk dimodifikasi sehingga bit selanjutnya bergantung pada bit sebelumnya. Dengan begitu, pada blok penerima, bit yang telah diterima sebelumnya digunakan untuk mendeteksi *present bits*.

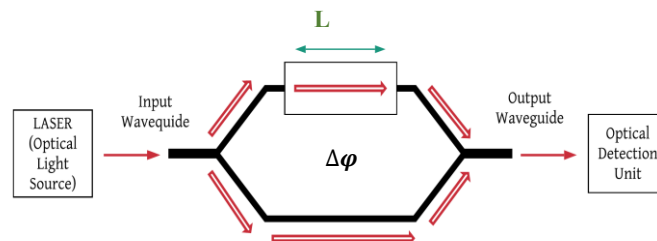


Gambar 2.3 Bentuk Gelombang DPSK

Pada Gambar 2.3 dapat terlihat ketika bit data pada titik rendah “0”, fasa sinyal tidak terbalik dan seterusnya. Ketika bit data pada titik tinggi “1”, fasa sinyal dibalik. Terlihat dari bentuk gelombang, titik tinggi membentuk M pada sinyal yang dimodulasi dan titik rendah membentuk W pada sinyal yang dimodulasi [5].

2.3 Mach-Zehnder Modulator

Mach-Zehnder Modulator (MZM) merupakan salah satu jenis modulator eksternal dimana sumber cahaya yang datang dibagi menjadi dua pandu gelombang (waveguide) yang masih terpengaruh oleh elektroda konduksi [11].



Gambar 2.4 Diagram Blok Mach-Zehnder Modulator

Diagram blok sebuah MZM pada Gambar 2.4 menunjukkan sinyal cahaya, yang berasal dari *optical source*, terbagi menjadi dua dengan fasa yang sama besar. Salah satu dari kedua sinyal cahaya akan mengalami modulasi (L) dimana sinyal tersebut terdapat elektroda, dan sinyal yang lain tetap dan tidak mengalami modulasi [12]. Pada salah satu lengan terjadi proses modulasi sinyal cahaya yang menyebabkan perubahan fasa pada gelombang sinyal tersebut. Sinyal optik yang terpisah pada kedua pandu gelombang akan disatukan kembali pada bagian *output waveguide* MZM, dan perbedaan fasa pada kedua gelombang dikonversi pada bagian output waveguide.

2.4 Optical Amplifier

Dalam sistem komunikasi serat optik, loss management memegang peran penting dalam keberhasilan sebuah koneksi telekomunikasi. *Optical amplifier* atau penguat optik merupakan salah satu dari upaya *loss management* [8]. *Semiconductor Optical Amplifier* (SOA), *Raman Amplifier*, dan *Erbium-Doped Fiber Amplifier* (EDFA) merupakan beberapa jenis dari optical amplifier. Dan pada penelitian ini optical amplifier yang digunakan adalah EDFA.

EDFA merupakan salah satu optical amplifier. EDFA bekerja dengan mempengaruhi inti dari serat optik dengan atom Erbium (Er^{3+}), proses ini disebut juga *doped*. Ion – ion dari Erbium mempengaruhi puncak penyerapan dari sebuah serat optik. Umumnya sistem komunikasi optik memiliki rentang 980 nm – 1480 nm untuk penyerapan maksimal, dimana dengan adanya Erbium penyerapan terjadi pada rentang 400 nm – 1600 nm. [13]

2.5 Parameter Analisis

Parameter performan yang dianalisis terdiri dari *Power Link Budget* (PLB), *Rise Time Budget* (RTB), *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Q-Factor*, *Bit Error Rate* (BER).

1. PLB merupakan nilai yang menunjukkan batasan redaman total sesuai dengan daya pancar dan sensitifitas penerima. Untuk menentukan nilai PLB dapat digunakan persamaan (2.1)

$$a_{total} = (n_s \cdot a_s) + (n_c \cdot a_c) + (L_f \cdot a_f) + (a_{splitter}) + (SM) \quad (2.1)$$

Untuk nilai daya yang diterima oleh *photodetector* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$P_{Rx} = P_{Tx} - a_{total} \quad (2.2)$$

2. RTB merupakan parameter yang menentukan apakah sistem jaringan yang dirancang mampu melayani atau memenuhi kapasitas laju bit yang ditransmisikan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai RTB adalah persamaan (2.3)

$$t_{sistem}^2 = \sqrt{t_{Tx}^2 + t_{mat}^2 + t_{mod}^2 + t_{Rx}^2} \quad (2.3)$$

Line Coding NRZ dan RZ dapat ditentukan dengan hasil perhitungan RTB (2.3). Untuk nilai NRZ adalah maksimal 70% dari t_{sistem} , dan untuk nilai RZ adalah maksimal 35% dari periode bit [14]. Dan untuk nilai t_{mat} dapat dihitung dengan persamaan (2.4)

$$t_{mat} = \Delta\sigma \cdot L \cdot D_{mat} \tag{2.4}$$

3. SNR dapat didefinisikan sebagai hasil perbandingan antara daya sinyal transmisi dan daya *noise* (derau) yang terdapat di dalam suatu sistem. Untuk menentukan nilai SNR dapat digunakan formula (2.5).

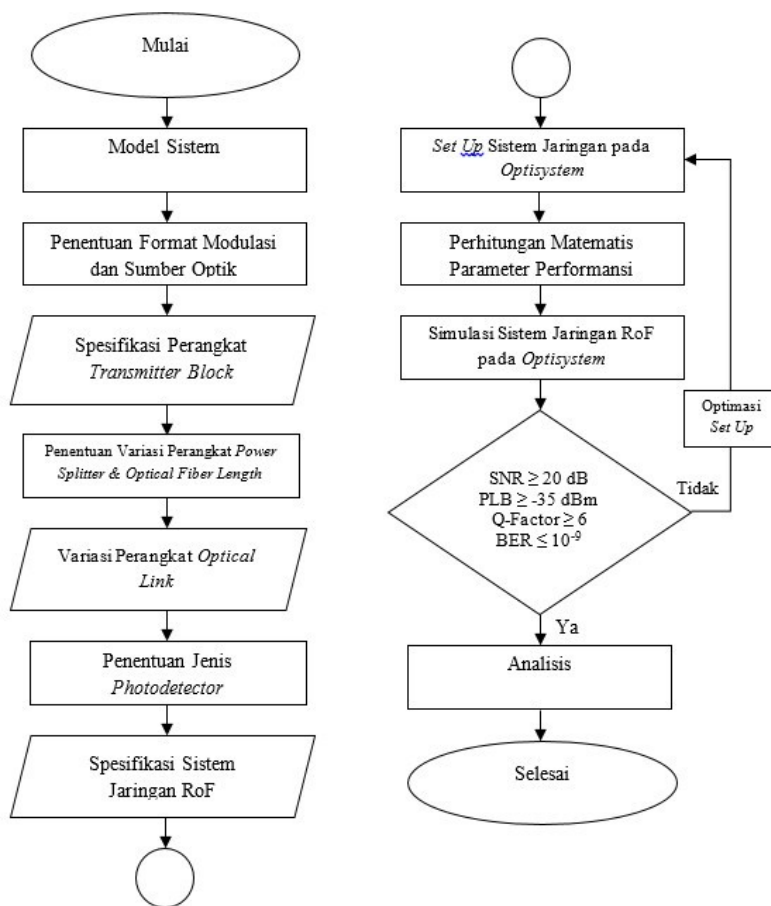
$$SNR_{dB} = \frac{(Pr.R.M)^2}{2.q.Pr.R.M^2.F(M).Be + \frac{4.K.B.T.Be}{RL}} \tag{2.5}$$

4. *Q-Factor* merupakan metode mengidentifikasi kualitas sebuah jaringan komunikasi. Untuk mengetahui nilai *Q-Factor* sebuah jaringan dapat digunakan formula (2.6). Dan BER merupakan nilai perbandingan dari jumlah bit error dengan bit yang terkirim secara keseluruhan dalam sebuah sistem jaringan komunikasi [15]. Nilai BER dapat ditentukan dengan persamaan (2.7) yang merupakan rumus BER untuk jenis modulasi DPSK [16].

$$Q = \frac{10^{\frac{SNR}{20}}}{2} \tag{2.6}$$

$$BER = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{Eb}{No}\right) \tag{2.7}$$

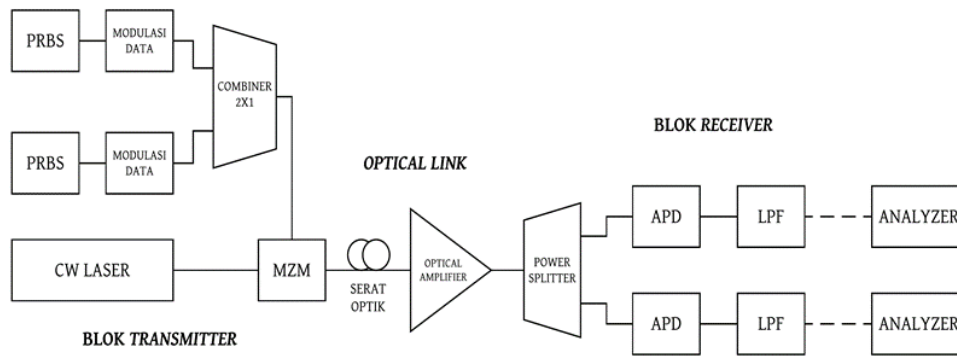
3. Perencanaan Sistem



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

Penentuan parameter yang digunakan pada sistem jaringan baik untuk perhitungan secara matematis, maupun untuk simulasi menggunakan perangkat lunak. Parameter meliputi jenis modulasi, *wavelength*, *frequency*, *filter*, *fiber length*, *responsivity*, *dispersion*, *bit rate* dan parameter lainnya. Simulasi dilakukan terhadap *set up* arsitektur sistem jaringan pada perangkat lunak. Parameter performansi yang terdapat pada hasil simulasi termasuk *Q-Factor* dan BER. Hasil perhitungan dan simulasi SNR, *Q-Factor* dan BER dianalisis untuk mendapatkan hasil akhir analisis dari penelitian.

Pemodelan sistem terbagi menjadi blok pengirim, blok *optical link*, dan blok penerima. Modulasi digital DPSK digunakan pada blok pengirim. Sumber optik yang digunakan adalah CW Laser dengan *wavelength* 1550 nm. Variasi *power splitter* 1:2, 1:4, dan 1:8, dan jarak serat optik 8 km, 10 km, 20 km, dan 30 km digunakan pada *optical link*. *Bit rate* adalah 1 Gbps dan menggunakan MZM sebagai modulator eksternal. Sistem jaringan menggunakan EDFA sebagai *pre-amplifier*. *Photodetector* APD digunakan pada blok penerima.



Gambar 3.2 Model Sistem Penelitian

3.1 Penentuan Parameter

Parameter dari blok *transmitter*, *optical link*, blok *receiver*, dan penguat optik dipaparkan pada Tabel 3.1, Tabel 3.2, Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

Tabel 3.1 Parameter Blok *Transmitter*

Parameter	Nilai / Keterangan
Jenis Modulasi	DPSK
<i>Optical Source Frequency</i>	193.1 THz
Filter	Optical Bessel Filter
<i>Carrier Frequency</i>	250 GHz ; 255 GHz
<i>Bit Rate</i>	1 GBits/s

Tabel 3.2 Parameter *Optical Link*

Parameter	Nilai
Panjang Gelombang	1550 nm
<i>Max. Fiber Length</i>	30 Km
<i>Attenuation</i>	0.2 dB/km
<i>Dispersion</i>	16.75 ps/nm/km
<i>Dispersion Slope</i>	0.075 ps/nm ² /k
<i>Power Splitter</i>	1:2, 1:4, 1:8

Tabel 3.3 Parameter Blok *Receiver*

Parameter	Nilai
Responsivitas	1 A/W
<i>Dark Current</i>	10 nA
Panjang Gelombang	1550 nm
<i>Center Frequency</i>	193.1 THz
Filter	Bessel Optical
<i>Cut Off Frequency</i>	7,5 GHz
<i>Photodetector</i>	APD

Tabel 3.4 Parameter *Optical Amplifier*

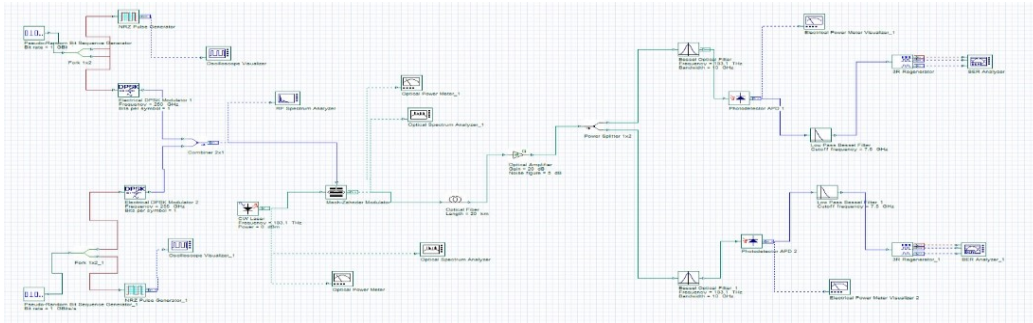
Parameter	Nilai
Jenis Amplifier	EDFA
<i>Gain</i>	20 dB
<i>Noise Figure</i>	5
<i>Wavelength Range</i>	1530nm – 1560nm
<i>Ionization Ratio</i>	0.9

Pada blok pengirim Bit rate sebesar 1Gbps dikirimkan dengan menggunakan *pseudo-random bit sequence generator*. Tipe serat optik yang digunakan adalah serat optik *Chrome Dispersion (CD) G.652* atau *G.652.C/D*, yang bekerja pada panjang gelombang 1550 nm. Pemilihan tipe serat optik sesuai dengan karakteristik ITU-T *optical fiber standards* [15]. Panjang serat optik adalah antara 0-150 KM dan panjang maksimal dari kabel serat optik adalah 30 km karena penggunaan serat optik untuk dalam ruangan, dengan variasi jarak serat optik 8 km, 10 km, 20 km, dan 30 km. Tipe APD yang digunakan adalah Germanium APD dengan karakteristik sesuai ITU-T bekerja untuk kisaran panjang gelombang 800nm – 1600nm [18]. Pemilihan jenis *photodetector* APD disesuaikan dengan jenis sumber cahaya yaitu Laser. *Amplifier* dengan tipe EDFA dipilih karena bekerja pada kisaran *wavelength* 1530nm – 1560nm [11].

3.4 Set Up Simulasi Jaringan RoF

Gambar 3.3 menunjukkan set up jaringan RoF dengan modulasi DPSK. 2 buah *pseudo random bit sequence generators* digunakan untuk memodulasi dua buah data sinyal yang berbeda. *Bit rate* ditentukan pada 1 Gbits/s per kanal. DPSK Modulator 1 memiliki nilai frekuensi 250 GHz dan DPSK Modulator 2 memiliki nilai frekuensi

255 GHz. Kedua sinyal ini digabungkan dengan menggunakan *electrical power combiner*. Data sinyal yang sudah tergabung digunakan untuk kemudian dimodulasi dengan frekuensi optik pembawa dengan nilai 193,1 THz menggunakan MZM. Pada set up sistem jaringan radio over fiber ini panjang serat optik adalah 20 km dan *power splitter* yang digunakan adalah 1:2. Data sinyal dikuatkan dengan sebuah *optical amplifier*. Sinyal optik lalu masing-masing diterima oleh photodetector APD. *Low pass filter* digunakan setelah data sinyal melewati *photodetector*.



Gambar 3.3 Set Up Sistem Jaringan RoF Splitter 1:2 dan Fiber Length 20 km

3.3 Perhitungan Parameter Performansi

Parameter performansi dari perhitungan akan menunjukkan kelayakan sistem jaringan RoF pada penelitian ini, selain dari hasil simulasi perangkat lunak terhadap sistem jaringan RoF. Parameter performansi terdiri dari PLB, RTB, SNR, *Q-Factor* dan BER. Berikut adalah contoh perhitungan terhadap sistem jaringan RoF dengan variasi perangkat power splitter 1:2 dan jarak serat optik 20 km. Hasil perhitungan secara lengkap terdapat pada lampiran.

1. Perhitungan PLB

Nilai *Power Link Budget* adalah :

$$a_{total} = (9 \cdot 0,05) + (2 \cdot 0,2) + (20 \cdot 0,2) + (3) + (6) = 13,85$$

Dengan nilai $a_{total} = 13,85 \text{ dB}$, daya *transmitter* (P_{Tx}) adalah 0 dBm, daya *receiver* (P_{Rx}) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.2)

$$P_{Rx} = 0 - 13,85 = -13,85 \text{ dBm}$$

Didapatkan nilai daya *receiver* adalah -13,85 dB. Dengan nilai sensitivitas pada *photodetector* berjenis APD adalah -27,5 dB dimana lebih kecil daripada nilai daya *receiver*, menunjukkan bahwa PLB pada sistem jaringan RoF pada penelitian terpenuhi.

2. Perhitungan RTB

Nilai rise time material dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.4). Dan nilai rise time penerima dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.3)

$$t_{mat} = 0,04 \text{ nm} \cdot 20 \text{ km} \cdot 16,75 \frac{\text{ps}}{\text{km}} = 0,0134 \text{ ns}$$

$$t_{sistem} = \sqrt{0,025^2 + 0,0134^2 + 0^2 + 0,023^2} = 0,0365179408 \text{ ns}$$

Dengan hasil RTB dapat diketahui bahwa RTB sistem memenuhi NRZ dan tidak memenuhi RZ karena RTB sistem tidak lebih besar dari line coding NRZ dan lebih besar dari RZ.

3. Perhitungan SNR

Perhitungan terhadap SNR bertujuan untuk mengidentifikasi nilai perbandingan antara daya sinyal dan daya *noise* (derau) yang terdapat pada sistem jaringan *radio over fiber*.

$$SNR_{dB} = \frac{(4,1209752 \times 10^{-5} \cdot 1,10)^2}{2 \cdot 1,69 \times 10^{-19} \cdot 4,1209752 \times 10^{-5} \cdot 1 \cdot 10^2 \cdot 5 \cdot 15 \times 10^9 + \frac{4,138 \times 10^{-23} \cdot 298,15 \times 10^9}{50}} = 31,90 \text{ dB}$$

4. Perhitungan *Q-Factor* dan BER

Perhitungan *Q-Factor* dilakukan terhadap nilai SNR 31,90 dB.

$$Q = \frac{10^{\frac{31,90}{20}}}{2} = 19,68$$

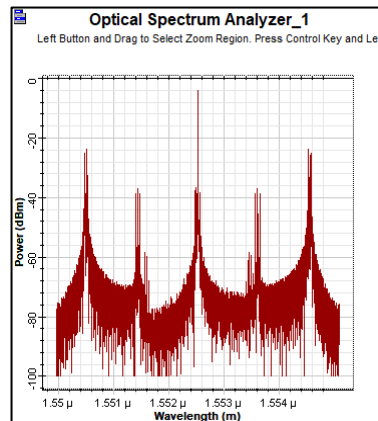
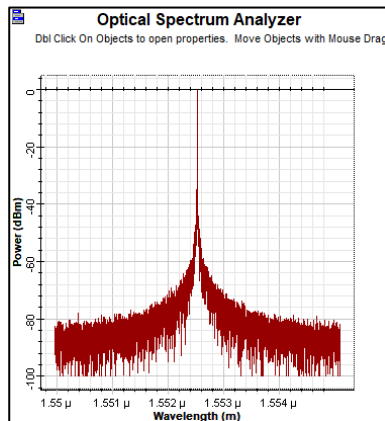
$$BER = \frac{1}{2} \exp(-31,90) = 6,9903 \times 10^{-15}$$

Hasil perhitungan matematis BER adalah $6,9903 \times 10^{-15}$ dimana hasil tersebut tidak lebih besar dari nilai maksimum BER yaitu 10^{-9} . Hal ini membuktikan bahwa BER sistem jaringan *radio over fiber* untuk pengaplikasian dalam ruangan (*indoor*) dengan power splitter 1:2 dan jarak kabel serat optik 20 km terpenuhi.

4. Analisis dan Simulasi

4.1 Hasil *Optical Spectrum Analyzer*

Gambar 4.1 merupakan hasil *optical spectrum analyzer* pada sumper optik CW Laser. Pada Gambar 4.2 terlihat bahwa sinyal-sinyal informasi dari frekuensi radio sudah ditumpangangi pada sinyal optik. Hal ini berpengaruh terhadap struktur sinyal optik, dapat terlihat bahwa sinyal informasi dari frekuensi radio mengubah struktur dari spektrum sinyal optik. Terbukti dari adanya perubahan tinggi amplitudo pada beberapa titik.



Gambar 4.1 Spektrum sinyal optik sebelum RoF

Gambar 4.2 Spetkrum sinyal optik setelah RoF

4.2 Analisis Hasil Perhitungan SNR, *Q-Factor* dan BER

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan SNR, *Q-Factor* dan BER untuk *Power Splitter* 1:2

Jarak	SNR	<i>Q-Factor</i>	BER
8 km	34,70 dB	27,16	4.26E-16
10 km	34,24 dB	25,76	6.74E-16
20 km	31,90 dB	19,67	6.99E-15
30 km	29,53 dB	14,98	7.49E-14

Berdasarkan Tabel 4.1 terbukti secara matematis bahwa semakin jauh jarak kabel serat optik semakin kecil nilai performansinya. Untuk nilai SNR nilai tertinggi 34,70 dB adalah dengan menggunakan jarak kabel serat optik 8 km dan SNR terburuk 29,53 dB adalah pada jarak 30 km. Dimana nilai minimum SNR sesuai standar ITU-T adalah 20 dB. Dan hasil analisis ini berbanding lurus dengan hasil perhitungan nilai *Q-Factor* dimana nilai minimum adalah 6 dB dan nilai maksimum BER adalah 10^{-9} atau $1E-09$ pada penelitan untuk sistem jaringan menggunakan *power splitter* 1:2.

4.3 Analisis Hasil Simulasi *Q-Factor* dan BER

Tabel 4.2 Hasil Simulasi *Q-Factor*

<i>Q-Factor</i>			
Jarak Splitter	1 : 2	1 : 4	1 : 8
8 km	7,3851	6,62182	5,90517
10 km	6,88506	6,59119	5,79777
20 km	6,50058	6,11990	5,20867
30 km	5,93315	5,93286	4,75298

Tabel 4.3 Hasil Simulasi BER

Bit Error Rate (BER)			
Jarak Splitter	1 : 2	1 : 4	1 : 8
8 km	2,34E-12	1,49E-11	1,61E-9
10 km	2,32E-12	1,81E-11	3,03E-9
20 km	3,58E-11	4,38E-10	9,15E-9
30 km	1,37E-9	1,37E-9	9,74E-7

Berdasarkan Tabel 4.1 semakin panjang jarak kabel serat optik maka nilai *Q-Factor* semakin kecil. Hal ini juga sama dengan variasi *power splitter*, semakin besar jumlah *port* keluar pada *power splitter*, semakin kecil nilai *Q-Factor*. Nilai terbaik *Q-Factor* adalah dengan menggunakan *power splitter* 1:2 dan kabel serat optik dengan jarak 8 km. Sedangkan, penggunaan *power splitter* 1:8 tidak mendukung sistem jaringan *radio over fiber* untuk pengaplikasian dalam ruangan. Hal ini terbukti pada hasil simulasi bahwa nilai *Q-Factor* untuk *power splitter* 1:8 di setiap jarak tidak ada yang lebih besar dari nilai minimum *Q-Factor* yang dianjurkan, yaitu 6.

Berdasarkan hasil simulasi nilai BER pada Tabel 4.3 semakin panjang jarak kabel serat optik, nilai BER semakin mendekati nilai maksimum. Terlihat untuk jarak kabel serat optik 30 km dengan *power splitter* 1:8 nilai

BER sudah melewati nilai maksimum yaitu $9,73583 \times 10^{-7}$. Perbandingan juga berlaku untuk variasi *power splitter*. Semakin banyak jumlah port keluar pada *power splitter*, nilai BER juga semakin mendekati nilai maksimum.

5. Kesimpulan

1. Performansi *power splitter* 1:2 memenuhi kelayakan sistem jaringan pada setiap jarak, untuk *power splitter* 1:4 memenuhi hingga jarak 20 km dengan nilai *Q-Factor* 6,2 dan nilai BER $4,28033 \times 10^{-10}$, sedangkan *power splitter* 1:8 tidak memenuhi pada setiap jarak.
2. Performansi terbaik adalah dengan menggunakan perangkat *power splitter* 1:2 dan jarak kabel serat optik 8 km. Dengan nilai parameter performansi SNR 34,70 dB, nilai *Q-Factor* 6,9 dan BER $2.32E-012$ atau $2,32 \times 10^{-12}$. Hal ini juga mendukung jangkauan dalam ruangan dengan jarak kabel serat optik 8 km, dan pengaplikasian jaringan pada lapangan lebih efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Beena R. Ballal, Dr. Shikha Nema, "Digital Radio Over Fiber Link to Overcome Impairments in Fiber Wireless Network," IOSR Journal of Engineering, Vol. 2(5), 2012, pp.966-970.
- [2] Arunava Seal, Samridhhi Bhutani, Assist. Prof. Sangeetha A, "Performance Analysis of Radio over Fiber (RoF) System for Indoor Application." International Conference on Technical Advancements in Computers and Communication, Vol. 1, 2017, pp. 73 – 76.
- [3] P. Jonsson, R. Möller, S. Carson, and M. Byléhn, "Ericsson mobility report: On the pulse of the network society," 2015.
- [4] Hamed Al-Raweshidy, Radio Over Fiber Technologies for Mobile Communications Network, Artech House, 2002.
- [5] A.K. Jaiswal, N.K. Srivastava, M. Kumar, "Design and Performance Analysis of Radio over Fiber System Incorporating Differential Phase Shift Keying Modulation in High Speed Transmission System," IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering, Vol.9, 2014, pp.37-42.
- [6] Govind P. Agrawal, Fiber-Optic Communication Systems, Third Edition. The Institute of Optics, University of Rochester NY, 2002.
- [7] John M. Senior, Optical Fiber Communications : Principles and Practice, Third Edition. Pearson Education Limited, England, 2009.
- [8] G. Keiser, Optical Fiber Communication. New York : McGraw-Hill. 1991.
- [9] Pooja, Saroj, Manisha. (2015) May. "Advantages and Limitation of Radio over Fiber System." International Journal of Computer Science and Mobile Computing. Vol. 4, Issue 5, pp. 506 – 5011.
- [10] Ng'Oma, A. (2005). Radio-over-fibre technology for broadband wireless communication systems Eindhoven:Technische Universiteit Eindhoven DOI: 10.6100/IR592332
- [11] Giuseppe Pecere. 2010. Spectral Amplitude and Phase Characterization of Optical Devices by RF Scan. Politecnico di Torino.
- [12] Deepak Sharma, Manoj Ahlawat, Rajbir Singh, "Study and Performance Evaluation of Radio over Fiber using Mach Zehnder Modulator," International Journal of Advanced Research in Computer Science, Vol.8, No.5, 2017.
- [13] D. A. Kost, "Module 10 - Optical Amplifier," in Development, USA : University of Arizona, pp. 1–24.
- [14] Andre Febrian Kasmar, "Line Coding dan Kegunaanya," in Development, Indonesia : Institut Teknologi Bandung, 2016.
- [15] Sanjib Sil, Trilochan Patra, "Bit Error Rate Performance Evaluation of Different Digital Modulation and coding Techniques with varying channels," IEEE, 2017.
- [16] Saruti Gupta, Geetanjali Wasson, "Performance of BER for BPSK and DPSK (Coherent and Non-Coherent) Modulation in Turbo-Coded OFDM with Channel Equalization," International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE), Vol.3, Issue 1, 2013.
- [17] Arvind Mishra, Sudipta Bhaumik, "Selection of different ITU-T G.652 cabled-fibers in optical fiber networks," Sterlite Tech, 2014.
- [18] Perkin Elmer. Avalanche Photodiode : A User Guide. 2010