

Analisis Kinerja Sistem Radio Over Fiber Next Generation PON2

Analysis of Radio System Performance Over Fiber Next Generation PON2

1st Argo Hernito
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
argonito@student.telkomuniversity
.ac.id

2nd Akhmad Hambali
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
ahambali@telkomuniversity.ac.id

3rd Kris Sujatmoko
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
krissujatmoko@telkomuniversity.a
c.id

Abstrak—Pada Pada kemajuan teknologi komunikasi saat ini cukup meningkat pesat sehingga kebutuhan bandwidth semakin tinggi. Oleh karena itu, dibutuhkan sarana telekomunikasi yang bisa memberikan solusi terhadap permasalahan tersebut, yaitu dengan menggunakan sistem Radio Over Fiber. Kemudian mengimplementasikan Radio Over Fiber ke Passive Optical Network (PON), dapat memberikan kapasitas user yang lebih banyak dan bandwidth yang dihasilkan cukup besar. Pada penelitian tugas akhir akan dilakukan simulasi Radio Over Fiber Next Generation PON2 menggunakan 4 panjang gelombang OLT yang tiap panjang gelombang memiliki bitrate sebesar 10 Gbps. Kemudian menggunakan frekuensi radio 60 GHz. Pada penelitian ini terdapat 2 skema simulasi, skema pertama menggunakan jumlah 64 ONU dan skema kedua menggunakan 128 ONU, dengan jarak link optik sepanjang 10 km – 40 km. Kemudian akan menggunakan penguat Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA) ditempatkan dengan posisi booster amplifier agar dapat meningkatkan kinerja sistem. Simulasi akan dianalisis hasil kinerja seperti Signal to Noise Ratio (SNR), Bit Error Rate (BER), Link Power Budget (LPB), dan Q-Factor. Dari simulasi yang dilakukan, hasil kinerja terbaik pada Skema I dengan sistem yang menggunakan EDFA dapat menjangkau jarak hingga 30 km. Hasil kinerja terbaik pada Skema II dengan sistem yang menggunakan EDFA dapat menjangkau jarak hingga 20 km.

Kata kunci — RoF, SNR, BER, ONU, Q-Factor, LPB

Abstract—The The advancement of communication technology is currently increasing rapidly, so that the bandwidth requirements are getting higher. Therefore, a telecommunications facility is needed that can provide a solution to this problem, namely by using a Radio Over Fiber system. Then implementing Radio Over Fiber to Passive Optical Network (PON), can provide more user capacity and the resulting bandwidth is quite large. In the final project research, a Radio Over Fiber Next Generation PON2 simulation will be carried out using 4 OLT wavelengths, each of which has a bit rate of 10 Gbps. Then use the 60 GHz radio frequency. In this study

there are 2 simulation schemes, the first scheme uses a total of 64 ONUs and the second scheme uses 128 ONUs, with an optical link distance of 10 km – 40 km. Then it will use an Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA) amplifier placed in the booster amplifier position in order to improve system performance. The simulation will analyze performance results such as Signal to Noise Ratio (SNR), Bit Error Rate (BER), Link Power Budget (LPB), and Q-Factor. From the simulations carried out, the best performance results in Scheme I with a system that uses EDFA can reach a distance of up to 30 km. The best performance results in Scheme II with a system that uses EDFA can reach a distance of up to 20 km.

Keywords—RoF, ONU, Q-Factor, BER, LPB.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi sekarang ini mengalami kemajuan sangat cepat, pengguna komunikasi nirkabel semakin banyak dan membutuhkan kecepatan data yang semakin tinggi. Transmisi sinyal radio memiliki kekurangan seperti atenuasi biaya infrastruktur yang cukup tinggi dan atenuasi sinyal yang cukup tinggi. Maka diperlukan jaringan yang baik untuk mengatasi permasalahan tersebut, salah satu solusinya dengan menggunakan Radio over Fiber. Radio over Fiber adalah jaringan yang dapat mengintegrasikan jaringan nirkabel dengan jaringan optik berfungsi mentransmisikan sinyal radio menggunakan kabel fiber optik sebagai media transmisi [1]. Dalam pengembangan Radio over Fiber, dibutuhkan teknologi untuk membantu meningkatkan perkembangan pada sistem, salah satunya yaitu dengan menggunakan Passive Optical Network (PON). Passive Optical Network mempunyai kelebihan untuk jaringan akses seperti kapasitas user yang banyak dan dapat mengirimkan bitrate yang tinggi. Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis integrasi Radio over Fiber (RoF) dengan Next Generation Passive Optical Network stage 2 (NG-PON2). Kemudian dilakukan simulasi dan analisis kinerja pada Radio over Fiber Next

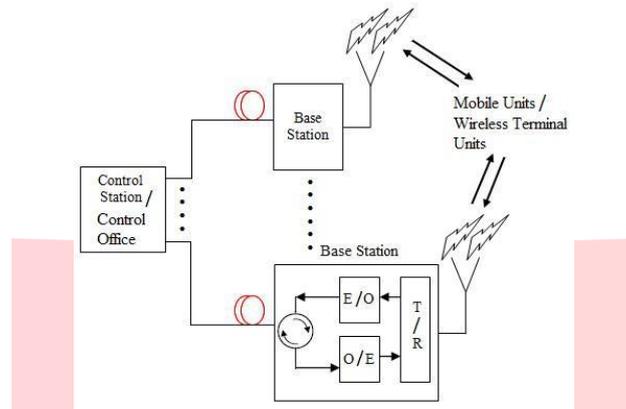
Generation PON2 dengan melihat parameter seperti *Link Power Budget*, *Signal to Noise Ratio*, *Q-Factor*, dan BER.

II. KAJIAN TEORI

A. *Radio over Fiber*

Radio over Fiber adalah teknik transmisi sinyal radio dengan menggunakan jaringan serat optik. Pada *Radio over Fiber*, terdapat sinar laser

dimodulasi oleh sinyal radio dan dikirimkan melalui media serat optik [1]. *Radio over Fiber* menggunakan kabel optik untuk mendistribusikan frekuensi radio dari Central Station ke Base Station, kabel *fiber optic* pada sistem ini berfungsi sebagai media transmisi yang menghubungkan *transmitter* ke *receiver* [3].

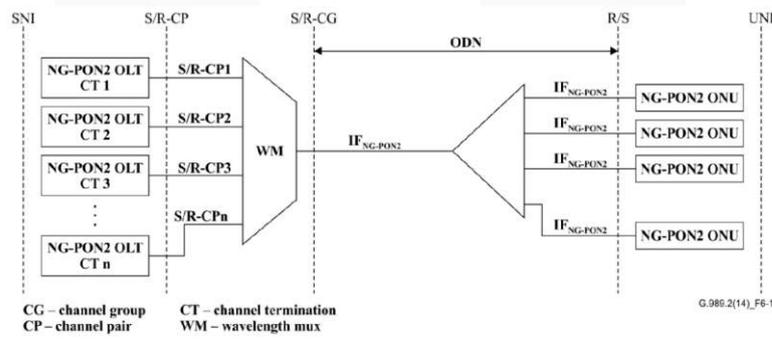


GAMBAR 1
RADIO OVER FIBER [1]

B. *Next Generation Passive Optical Network stage 2 (NG-PON2)*

Pada perkembangan teknologi *Next Generation passive Optical Network*, ITU-T menetapkan generasi kedua yaitu *Next Generation Passive Optical Network stage 2 (NG-PON2)*. *Next Generation passive Optical Network stage 2* adalah

PON dengan kapasitas 40 Gbps menggunakan domain waktu dan domain frekuensi dalam sistem yang sama. Pada Gambar 2.2 sistem NG-PON2 terdapat banyak kanal panjang gelombang Arsitektur ini memungkinkan untuk menggunakan konektivitas *point to multipoint* dengan menggunakan TWDM [5].



GAMBAR 2
NG-PON2 [5]

C. Penguat Optik

Penguat Optik adalah perangkat yang berfungsi menguatkan cahaya dalam kabel fiber optic. Untuk komunikasi serat optik jarak jauh, penguat optik sangat dibutuhkan karena cahaya dalam fiber optik akan mengalami pelemahan disebabkan atenuasi yang ada dalam kabel fiber optik.

untuk menambah daya yang akan dikirimkan sehingga memungkinkan keberlanjutan sinyal hingga akhirnya sampai ke penerima [6].

1. *Booster Amplifier*

Booster Amplifier merupakan penguat yang penempatannya setelah *transmitter*. *Booster amplifier* berfungsi

2. *In Line Amplifier*

In Line Amplifier merupakan penguat yang penempatannya pada jarak tertentu diantara pengirim dan penerima [6].

3. Pre-Amplifier

Pre-amplifier merupakan penguat yang penempatannya sebelum *receiver* atau penerima. *Pre-amplifier* berfungsi untuk menambah nilai sensitivitas dari *photodetector* sebelum diproses ke penerima [6].

D. Eye Diagram

Untuk dapat melihat hasil kinerja jaringan optik, diperlukan parameter untuk pengukuran yaitu dengan melihat *eye diagram*. *Eye Diagram* merupakan tampilan grafis data yang dikirimkan yang berhubungan dengan waktu dan menunjukkan pola yang membentuk mata [7].

E. Jitter

Terdapatnya *jitter* dikarenakan adanya noise pada sisi penerima dan adanya distorsi yang pada *fiber optic*. Jika memakai sample sinyal yang diambil pada interval waktu yang terjadi pada saat sinyal melewati level ambang batas tertentu, maka jumlah dari distorsi pada di *threshold* menunjukkan nilai dari *jitter* [7].

F. Parameter Pengujian

Dalam penelitian ini akan digunakan beberapa parameter pengujian seperti *Link Power Budget*, *Signal to Noise Ratio*, *Q-Factor*, dan *Bit Error Rate*.

1. Link Power Budget

Link Power Budget adalah perhitungan daya terima jaringan serat optik, bertujuan untuk mengetahui batasan total redaman yang sesuai dengan daya pancar dan sensitivitas penerima [7].

2. Signal to Noise Ratio

Signal to Noise Ratio (SNR) merupakan perbandingan daya sinyal transmisi terhadap noise yang ada pada *photodetector* [7].

3. Q-Factor

Quality Factor adalah faktor kualitas yang menentukan baik atau tidaknya suatu jaringan serat

optik. Dalam komunikasi serat optik, nilai *Q-Factor* yang baik yaitu minimum 6 [7].

4. Bit Error Rate

Bit Error Rate Bit Error adalah perbandingan laju kesalahan bit dengan bit yang ditransmisikan. Pada jaringan serat optik menghasilkan BER sebesar 10^{-12} , berarti dalam 10^{-12} bit yang dikirim terdapat 1 bit yang error [7].

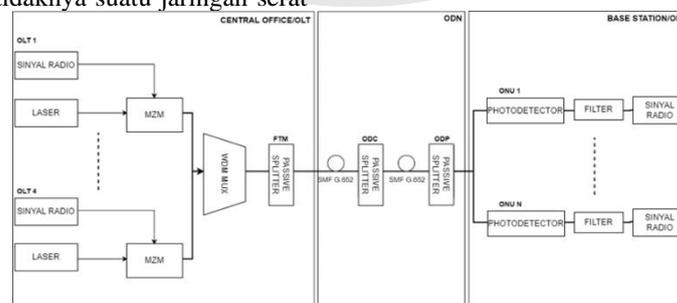
III. METODE

A. Alur Perancangan Sistem

Penelitian dimulai dari pemodelan sistem *Radio over Fiber Next Generation* PON2. Lalu, dilanjutkan dengan penentuan parameter yang akan digunakan. Parameter yang digunakan untuk simulasi disesuaikan seperti standar ITU-T G.989.2 dan spesifikasi perangkat yang sudah ada. Terdapat 3 blok utama, yaitu blok pengirim, blok transmisi, dan blok penerima. Penelitian dilakukan dengan 2 skema yang dibedakan dari jumlah user nya. Skema pertama dengan jumlah *Optical Network Unit* sebanyak 64 dan skema kedua dengan jumlah *Optical Network Unit* sebanyak 128 menggunakan *link* optik sepanjang 10 km – 40 km. Kemudian simulasi sistem dirancang menggunakan software *Optisystem 7*. Parameter akan diujikan ke setiap skema untuk mengetahui hasil kinerja dari setiap skema tersebut. Kinerja jaringan yang dianalisis menggunakan nilai *Link Power Budget*, *Signal to Noise Ratio*, *Q Factor*, dan *Bit Error Rate*. Setelah dilakukan simulasi dan perhitungan parameter, selanjutnya melakukan uji kelayakan pada sistem yang sudah disimulasikan, apabila sistem belum memenuhi standar ITU-T G.989.2 seperti nilai daya terima pada sisi penerima ≥ -28 dBm, *Q-Factor* ≥ 6 , dan *BER* $\leq 10^{-9}$, maka dilakukan penambahan EDFA, jika sistem sudah memenuhi standar ITU-T G.989.2.

B. Pemodelan Sistem

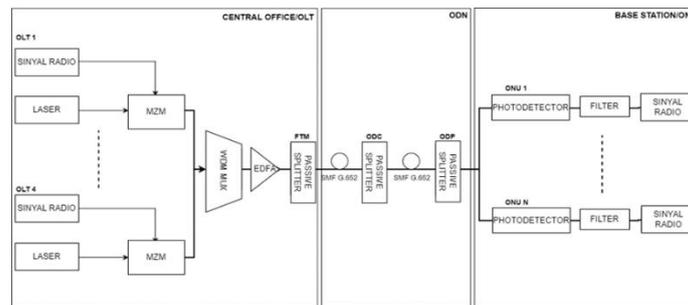
Model sistem yang digunakan pada penelitian ini terdapat 2, yaitu sistem yang tanpa menggunakan EDFA dan sistem yang menggunakan EDFA.



GAMBAR 3
DIAGRAM SISTEM TANPA EDFA

Model perancangan Radio over Fiber NG-PON2 tanpa menggunakan EDFA terdapat pada Gambar 3. Pada sistem ini terbagi menjadi tiga blok utama, yaitu blok pengirim atau *Optical Line Terminal* (OLT), blok transmisi atau *Optical Distribution Network* (ODN), dan blok penerima atau *Optical Network Unit* (ONU). Jadi sinyal radio dari OLT digabungkan dengan menggunakan multiplexer dan diteruskan menuju ODN melalui kabel *Single-Mode Fiber* dan *two stage passive splitter*. Kemudian

sinyal dipisahkan kembali lalu didistribusikan ke setiap ONU dengan masing-masing panjang gelombang. Pada perancangan sistem ini menggunakan 4 kanal OLT pada sisi pengirim dengan *bitrate* per kanal sebesar 10 Gbps, sehingga total *bitrate* yang dikirimkan yaitu 40 Gbps. Penggunaan OLT sebanyak 4 buah merupakan jumlah minimum pada standar konfigurasi NG-PON2



GAMBAR 4
DIAGRAM SISTEM DENGAN EDFA

Gambar 4 merupakan model sistem yang menggunakan EDFA. Penguat optik EDFA di tempatkan pada booster amplifier yang dapat memperbaiki kualitas dari kinerja jaringan. Jadi sinyal radio dari OLT digabungkan dengan menggunakan *multiplexer* kemudian melewati *booster amplifier* dan diteruskan menuju ODN melalui kabel *Single-Mode Fiber* dan *two stage passive splitter*. Kemudian sinyal dipisahkan kembali lalu akan didistribusikan ke setiap ONU.

EDFA ditempatkan berada pada *booster amplifier* bertujuan agar dapat menguatkan data yang dikirimkan ke user.

C. Penentuan Parameter

Setelah pemodelan sistem jaringan, selanjutnya penentuan spesifikasi dan parameter untuk sistem tersebut. Parameter yang digunakan pada simulasi ini mengikuti rekomendasi ITU-T G.989.2.

TABEL 1
PARAMETER TRANSMITTER [5]

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1	Number of Output Ports	4	Quantity
2	Bitrate per channel	10	Gbps
3	Line Code	NRZ	Type
4	Laser Transmitter Power	5	dBm
5	RF Signal Frequency	60	GHz

Parameter pada blok pengirim mengacu pada Tabel 1. Terdiri dari *bitrate* sebesar 40 Gbps. Untuk frekuensi sinyal radio yang digunakan sebesar 60 GHz. *Optical Source* yang digunakan yaitu LASER dengan ketentuan daya yang dipancarkan yaitu 5-9

dBm [8]. Pada simulasi ini daya laser yang digunakan yaitu sebesar 5 dBm. *Line Code* yang digunakan yaitu *Non Return to Zero* (NRZ), sehingga modulasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *Amplitude Shift Keying* (ASK).

TABEL 2
FREKUENSI DAN PANJANG GELOMBANG [5]

Kanal	Downstream	
	Frekuensi (THz)	Wavelength (nm)
1	187.8	1596.34

2	187.7	1597.19
3	187.6	1598.04
4	187.5	1598.89

Panjang gelombang yang digunakan terdapat pada Tabel 2. Pada simulasi ini menggunakan 4 panjang

gelombang yang dimulai dari 1596,34 nm dengan spasi kanal sebesar 100 GHz atau setara dengan 0,85 nm.

TABEL 3
PARAMETER BLOK TRANSMISI [7]

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1	<i>Reference Wavelength</i>	1550	nm
2	<i>Fiber Length</i>	10 ; 20 ; 30 ; 40	km
3	Sambungan	0.05	db/unit
4	<i>Connector SC UPC</i>	0.15	db/unit
5	<i>Connector SC APC</i>	0.3	db/unit
6	<i>Fiber Attenuation</i>	0.3	db/km
7	<i>Dispersion</i>	17	ps/nm.km
8	<i>Optical Amplifier Gain</i>	9	dB
9	<i>Loss Passive Splitter</i> 1:2, 1:4, 1:8, 1:16	3.8 ; 7.1 ; 10.5 ; 13.5	dB

Pada parameter pada blok transmisi atau ODN terdapat pada Tabel 4, yaitu serat optik dengan jenis

single mode G.652c, passive splitter, connector SC APC, connector SC UPC, sambungan kabel fiber optik, dan penguat optik.

TABEL 4
PARAMETER BLOK PENERIMA

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1	<i>Sensitivity</i>	-28	<i>dBm</i>
2	<i>Photodetector</i>	APD	<i>Type</i>
3	<i>Optical Filter Type</i>	Bessel	<i>Type</i>
4	<i>Avalanche Gain</i>	3	-
5	<i>Ionization Ratio</i>	0.45	-
6	<i>Responsivity</i>	0.85	A/W
7	<i>Resistance</i>	50	Ohm
8	<i>Dark Current</i>	10	nA
9	<i>Bandwidth</i>	2.5	GHz
10	<i>Temperature</i>	298	Kelvin

Untuk blok *receiver* terdapat pada Tabel 4 yang terdiri dari *Optical Filter, Optical Photodetector, Low Pass Bessel Filter, Bit Error Rate Analyzer* dan *Optical Power Meter*. *Photodetector* dengan jenis APD, *Low Pass Bessel Filter* yang berfungsi untuk mendapatkan sinyal elektrik dari APD. Kemudian untuk menampilkan hasil dari kinerja sistem dibutuhkan perangkat *BER Analyzer* untuk mengetahui nilai *Q Factor* dan BER, *Optical Power Meter* untuk mengetahui daya terima pada receiver.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi dengan 2 skema yang dibedakan berdasarkan jumlah ONU nya, skema I menggunakan ONU sebanyak 64 dan skema II menggunakan ONU sebanyak 128.

Simulasi dilakukan pada *Optisystem 7* dengan menggunakan parameter yang sudah ditentukan.

A. Analisis Skema I

Pada skema I dilakukan simulasi *Radio Over Fiber Next Generation PON2* pada *Optisystem 7*. Menggunakan parameter yang sudah ditentukan yaitu menggunakan jarak mulai dari 10 km sampai 40 km dan spasi 10 km. Bitrate yang digunakan yaitu 40 Gbps masing-masing kanal memiliki *bitrate* sebesar 10 Gbps. Kemudian frekuensi radio yang digunakan yaitu 60 GHz. Kemudian pada skema ini menggunakan two stage *passive splitter* yang terletak di ODC dengan rasio 1:4 dan ODP dengan rasio 1:8. Kemudian pada sisi pengirim terdapat *splitter* dengan rasio 1:2 yang berfungsi sebagai

Fiber Termination Management (FTM). Kemudian akan dilakukan simulasi pada sistem yang

menggunakan EDFA yang posisinya sebagai booster amplifier.

TABEL 5
HASIL SIMULASI SKEMA I

Jarak (km)	LPB		SNR		Q-Factor		BER	
	Tanpa EDFA	Dengan EDFA	Tanpa EDFA	Dengan EDFA	Tanpa EDFA	Dengan EDFA	Tanpa EDFA	Dengan EDFA
10	-22.9472 dBm	-13.9333 dBm	14.9185 dB	30.1472 dB	6.6886	15.4049	8.2014×10^{-10}	5.114×10^{-46}
20	-26.2522 dBm	-17.2092 dBm	9.5914 dB	23.6696 dB	3.9396	11.212	6.9895×10^{-5}	6.824×10^{-26}
30	-29.4583 dBm	-20.441 dBm	3.0819 dB	18.404 dB	1.8807	8.0609	2.5454×10^{-1}	9.3452×10^{-16}
40	-32.7083 dBm	-23.691 dBm	0.2077 dB	12.7573 dB	0,0519	5.3439	1	3.9158×10^{-7}

Pada Tabel 5 terdapat hasil simulasi, skenario I tanpa menggunakan EDFA dapat menempuh jarak 10 km dan dengan menggunakan EDFA dapat menempuh jarak 30 km dengan hasil kinerja LPB ≥ -28 dBm, Q-Factor ≥ 6 , dan BER $\leq 10^{-9}$.

B. Analisis Skema II

Skema II dilakukan simulasi *radio over fiber* NG-PON2. Simulasi dilakukan pada *Optisystem 7* dengan menggunakan parameter yang sudah ditentukan. Skema ini menggunakan jarak yang bervariasi mulai dari 10 km sampai 40 km

dengan spasi 10 km. *Bitrate* yang digunakan yaitu 40 Gbps arah dari 4 kanal OLT yang masing-masing kanal memiliki *bitrate* sebesar 10 Gbps. Kemudian frekuensi radio yang digunakan yaitu 60 GHz. Kemudian pada skema ini menggunakan two stage passive splitter yang terletak di ODC dengan rasio 1:8 dan ODP dengan rasio 1:8. Kemudian pada sisi pengirim terdapat splitter dengan rasio 1:2 yang berfungsi sebagai *Fiber Termination Management*. Kemudian akan dilakukan simulasi pada sistem yang menggunakan EDFA yang posisinya sebagai booster amplifier.

TABEL 6
HASIL SIMULASI SKEMA II

Jarak (km)	LPB		SNR		Q-Factor		BER	
	Tanpa EDFA	Dengan EDFA	Tanpa EDFA	Dengan EDFA	Tanpa EDFA	Dengan EDFA	Tanpa EDFA	Dengan EDFA
10	-26.066 dBm	-17.014 dBm	11.1032 dB	25.5538 dB	4.1585	11.8621	3.7764×10^{-5}	1.3377×10^{-28}
20	-29.3156 dBm	-20.2639 dBm	4.49711 dB	22.0761 dB	1.8509	8.458	2.5507×10^{-1}	5.4516×10^{-17}
30	-32.5656 dBm	-23.514 dBm	1.2842 dB	15.6509 dB	0,32105	5.7689	1	1.2902×10^{-8}
40	-35.8156 dBm	-26.764 dBm	0,4863 dB	9.464 dB	0,1215	3.3237	1	5.1471×10^{-4}

Pada Tabel 6 terdapat hasil simulasi, skema II tanpa menggunakan EDFA tidak dapat menempuh jarak dan dengan menggunakan EDFA dapat menempuh jarak 20 km dengan hasil kinerja LPB ≥ -28 dBm, Q-Factor ≥ 6 , dan BER $\leq 10^{-9}$.

V. KESIMPULAN

Radio over Fiber Next Generation PON2 berhasil dilakukan dengan *bitrate* 40 Gbps, menggunakan 4 panjang gelombang dengan frekuensi dari 1596,34 nm – 1598,89 nm dengan spasi kanal 0,85 nm, frekuensi radio sebesar 60 GHz, dan menggunakan penguat optik jenis EDFA dengan

posisi booster amplifier. Hasil simulasi pada Skema I dapat menjangkau jarak 10 km dengan sistem tanpa menggunakan EDFA mendapatkan hasil kinerja terbaik. Hasil simulasi pada Skema I dapat menjangkau jarak 30 km dengan sistem menggunakan EDFA mendapatkan hasil kinerja terbaik. Hasil simulasi pada Skema II dapat menjangkau jarak 10 km dengan sistem tanpa menggunakan EDFA mendapatkan hasil kinerja terbaik. Hasil simulasi pada Skema II dapat menjangkau jarak 20 km dengan sistem menggunakan EDFA mendapat hasil kinerja terbaik. Hasil simulasi pada penelitian ini membuktikan

bahwa dengan menambahkan penguat optik pada sistem dapat menambah kualitas dari kinerja jaringan dan dapat menempuh jarak yang cukup jauh.

REFERENSI

- [1] Rajbir Singh, Manoj Ahlawat, Deepak Sharma, "A Review on Radio over Fiber communication System", International Journal of Enhanced Research in Management & Computer Applications, Vol. 6 Issue 4, April-2017.
- [2] Vikas Kumar Pandey, Sanjeev Gupta, Bharti Chaurasiya, " Radio-Over-Fiber (ROF) Technology With WDM PON System", International Journal of Innovation and Scientific Research, Vol. 7 No. 2, August 2014
- [3] Affida M. Zin, Sevia M. Idrus, dan Nadiatulhuda Zulkifli, "The Characterization of Radio-over-Fiber Employed GPON Architecture for Wireless Distribution Network", International Journal of Machine Learning and Computing, Vol. 1, No. 5, December 2011
- [4] Neelam Kumari, Parvin Kumar Kaushik, "REVIEW ON RADIO OVER FIBER TECHNOLOGY", IJARSE, Vol. No.3, Issue No.2, February 2014
- [5] International Telecommunication Union, "40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification", Recommendation ITU-T G.989.2, 12/2014.
- [6] International Telecommunication Union, "Characteristics of a single-mode optical fibre and cable", Recommendation ITU-T G.652, 03/2009.
- [7] Gerd Keiser, Optical Fiber Communication
- [8] 4th Edition, Boston: McGraw-Hill, 2015.
- [9] D. Nisset, "NG-PON2 Technology and Standards", IEEE Journal of Lightwave Technology, 2015.
- H. S. Abbas and M. A. Gregory, "The Next Generation of Passive Optical Networks: A Review," Journal of Network and Computer Applications, 2016