

## ANALISIS SISTEM KOMUNIKASI *RoF* (*RADIO OVER FIBER*) BERBASIS WDM (*WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING*) DENGAN OADM (*OPTICAL ADD DROP MULTIPLEXING*) UNTUK JARAK JAUH

### ANALYSIS OF *ROF* (*RADIO OVER FIBER*) COMMUNICATION SYSTEM BASED ON WDM (*WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING*) WITH OADM (*OPTICAL ADD DROP MULTIPLEXING*) FOR LONG HAUL

Gede Teguh Laksana<sup>1</sup>, Akhmad Hambali Ir., M.T.<sup>2</sup>, Afief Dias Pambudi S.T., M.T.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[gedeteguh@students.telkomuniversity.ac.id](mailto:gedeteguh@students.telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup>[ahambali@telkomuniversity.ac.id](mailto:ahambali@telkomuniversity.ac.id),

<sup>3</sup>[afiefdiaspambudi@telkomuniversity.ac.id](mailto:afiefdiaspambudi@telkomuniversity.ac.id)

#### Abstrak

*Radio over fiber* merupakan suatu proses pengiriman sinyal radio melalui kabel serat optik. Melihat perkembangan komunikasi di dunia yang sangat pesat, *Radio over Fiber* dapat diaplikasikan guna mendukung layanan multimedia. Dalam rangka mendukung layanan multimedia, *Radio over Fiber* diharapkan dapat mendukung komunikasi untuk jarak jauh. Oleh karena itu dilakukan analisis terhadap *Radio over Fiber* untuk komunikasi jarak jauh yang dikombinasikan dengan teknik WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) dan dipadukan dengan perangkat OADM (*Optical Add Drop Multiplexer*). *Radio over Fiber* disimulasikan oleh sinyal frekuensi radio 2.5 GHz yang ditumpangkan kedalam suatu panjang gelombang. Laju data yang digunakan sebesar 1 Gbps. Untuk mencapai penerima pada jarak yang jauh akan dilakukan penguatan oleh *Optical Amplifier* berupa EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*). Teknologi *Radio over Fiber* untuk komunikasi jarak jauh sangat rentan terhadap nilai BER dan redaman yang tinggi sehingga dibutuhkan perancangan sistem yang matang dan spesifikasi perangkat yang memadai. Adapun performansi yang didapatkan oleh keempat panjang gelombang pada jarak terjauh yaitu 155.5 km masih berada diatas sensitivitas penerima yaitu -17.217 dBm. Keempat panjang gelombang juga masih mencapai nilai BER minimal untuk layanan multimedia yaitu  $10^{-9}$ .

**Kata kunci:** *radio over fiber, optical add drop multiplexer, wavelength division multiplexing, komunikasi jarak jauh*

#### Abstract

*Radio over fiber* is a process of sending radio signals over fiber optic cables. Seeing the development of communication in the world very rapidly, *Radio over Fiber* can be applied to support multimedia services. In order to support multimedia services, *Radio over Fiber* expected to support communication for long distances. Therefore, analyzing the *Radio over Fiber* for long distance communication techniques combined with WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) and combined with the OADM (*Optical Add Drop Multiplexer*). *Radio over Fiber* is simulated by a 2.5 GHz radio frequency signal is superimposed into a wavelength. The bit rate used for 1 Gbps. To reach the receiver at long distances there will be strengthening by the form of *Optical Amplifier* EDFA (*Erbium doped Fiber Amplifier*). *Radio over Fiber* technology for long distance communication is very vulnerable to value BER and high attenuation so that it takes a mature system design and specifications of the device are adequate. The performance obtained by the four wavelengths at the farthest distance is 155.5 km remained above the receiver sensitivity is -17 217 dBm. The fourth wavelength is also still achieve a minimum BER values for multimedia services is  $10^{-9}$ .

**Keywords:** *radio over fiber, optical add drop multiplexer, wavelength division multiplexing, long distance communication*

#### 1. Pendahuluan

*Radio over Fiber* memiliki peran penting dalam perkembangan teknologi dan informasi khususnya untuk layanan multimedia. Adapun kelebihan *Radio over Fiber* yaitu cakupan area luas, kapasitas yang lebih besar, biayanya lebih murah, penggunaan daya lebih rendah dan mudah dalam pemasangan. *Radio over Fiber* merupakan suatu proses pengiriman sinyal radio melalui serat optik. Proses transmisi dengan menggunakan kabel serat optik

membuat gangguan yang timbul akan kecil, sehingga sinyal yang dibawa tetap bagus. Selain itu dengan menggunakan kabel serat optik dapat menghemat biaya dan menambah performansi untuk *high speed fiber* [2][5].

Pada perkembangannya, teknologi *Radio over Fiber* telah dikombinasikan dengan berbagai teknik untuk meningkatkan kualitas dan performansinya.. Adapun beberapa teknik yang kombinasikan dengan teknologi RoF seperti SCM, WDM dan OFM. Untuk jaringan komunikasi optik jarak jauh telah diimplementasikan pada kabel optik dengan panjang gelombang 1550 nm menggunakan teknik WDM. Teknik WDM ini cukup mudah diimplementasikan, hemat biaya dan juga mendukung kebutuhan layanan multimedia saat ini [2].

Penelitian *Radio over Fiber* menggunakan OADM telah dilakukan sebelumnya masih dengan jarak terjauh 60 km menggunakan *bit rate* 622 Mbps yang menghasilkan nilai BER diatas  $10^{-9}$  [18]. Pada penelitian ini dilakukan analisis untuk sistem komunikasi jarak jauh serta menggunakan *bit rate* 1 Gbps. Dengan menggunakan *bit rate* yang mencapai Gbps ini diharapkan dalam komunikasi jarak jauh pada *Radio over Fiber* tetap dapat mencapai nilai BER diatas standar yaitu  $10^{-9}$ .

Sistem komunikasi Radio over Fiber berbasis WDM dengan menggunakan OADM ini menggunakan *Single Mode Fiber* dengan menambahkan *optical amplifier* berupa EDFA pada jarak 40 km atau lebih. Sistem dibagi kedalam blok pengirim, serat optik, blok OADM dan blok penerima. Kemudian dilakukan analisis terhadap hasil yang didapatkan pada blok OADM dan blok penerima dengan turut mempertimbangkan efek nonlinear pada serat optik.

## 2. Dasar Teori dan Perancangan

### 2.1 *Radio over Fiber*

*Radio over fiber* merupakan suatu proses pengiriman sinyal radio melalui kabel serat optik. Sinyal yang bisa dilewatkan kedalam serat optik dapat berupa sinyal *baseband*, sinyal IF (*Intermediete Frequency*) atau sinyal RF (*Radio Frequency*). Sinyal yang dapat dikirimkan pada media transmisi serat optik mampu menjangkau jarak yang lebih jauh dibandingkan dengan melalui media transmisi udara. Hal ini disebabkan redaman yang ada pada serat optik jauh lebih kecil dengan media transmisi udara. Jenis modulasi yang digunakan adalah modulasi eksternal dengan cara mempengaruhi intensitas cahaya dengan intensitas langsung dari sinyal informasi. Modulator yang digunakan pada sistem komunikasi *Radio over Fiber* adalah *Electroabsorption Modulator* atau *Machzender Modulator*.

*Radio over Fiber* membuat fungsi sinyal *processing* yang terpusat ke dalam satu lokasi yang dibagi bersama. Pemanfaatan penggunaan banyak panjang gelombang memungkinkan untuk terjadinya kenaikan kapasitas kanal tanpa adanya penambahan kabel sehingga efisiensi kabel optik akan tercapai [8].

### 2.2 *Wavelength Division Multiplexing*

Revolusi penggunaan *bandwidth* yang besar dan pertumbuhan internet maupun komunikasi data lainnya mendukung membuat keterbatasan pada sistem TDMA (*Time Division Multiple Access*). Untuk mengantisipasi hal tersebut dikembangkanlah teknologi yang dinamakan WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) yang dapat memultiplikasi kapasitas kanal pada *single* serat. Dimana dalam satu serat bisa menyalurkan kapasitas sebesar 40Gbit/s per kanal. Keuntungan dari penggunaan teknologi WDM ini adalah kapasitas kanal bisa bertambah pada sistem komunikasi serat optik yang sudah ada tanpa perlu menginstallasi penggunaan serat yang baru sehingga secara signifikan akan menghemat biaya pada installasi, tapi secara signifikan akan menambah kapasitas kanal [4].

WDM adalah suatu teknologi transmisi dalam sistem komunikasi serat optik yang memanfaatkan cahaya dari serat optik dengan panjang gelombang yang berbeda-beda untuk ditransmisikan secara simultan melalui serat optik tunggal. Jumlah panjang gelombang yang dapat ditransmisikan dalam jaringan pada suatu serat terus berkembang (4, 8, 16, 32 dan seterusnya), jenis serat yang direkomendasikan oleh ITU-T (*International Telecommunication Union*) adalah G.650 – G.659 dan yang sering digunakan saat ini adalah jenis serat G.655. Jenis serat ini sering mempunyai karakteristik umum NZDSF (*Non Zero Dispersion Shifted Fiber*) adalah serat yang memiliki koefisien dispersi kromatik lebih rendah (dispersi optimal) [5].

### 2.3 *Optical Add Drop Multiplexer*

OADM merupakan perangkat yang sangat penting bagi teknologi WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), suatu teknologi transmisi sinyal yang terdiri dari banyak panjang gelombang secara simultan tanpa terjadinya interferensi satu sama lain. *Wavelength selective optical add/drop filter* sangat dibutuhkan untuk penambahan dan penurunan setiap WDM kanal pada setiap node WDM *optical access network*. Karakteristik dari ADM ini adalah mempunyai refleksi yang bagus, temperature yang stabil, *narrow spectral bandwidth* dan *low cost implementation*. *Add/Drop* berfungsi untuk memilih panjang gelombang tertentu dari banyak panjang gelombang

yang dilewatkan dalam suatu saluran optik kemudian menyalurkannya ke saluran optik lain. Dalam OADM terdapat beberapa perangkat pasif optik diantaranya FBG (*Fiber Bragg Grating*) dan *circulator*. Perangkat ini sangat fundamental dalam perancangan jaringan sistem komunikasi serat optik. Beberapa panjang gelombang akan dikirimkan dari sisi pengirim menggunakan teknologi WDM. Panjang gelombang yang masuk ke OADM diseleksi atau *demultiplex* mana yang akan di *drop* oleh OADM dan akan keluar pada *port drop*, sisanya akan diteruskan. Pada *port add* akan masuk panjang gelombang baru yang masuk kedalam OADM dimana dilakukan *multiplex* kembali. Dalam OADM tidak ada proses perubahan sinyal optik menjadi sinyal elektrik semuanya dilakukan pada spektrum panjang gelombang [6].

## 2.4 EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*)

Pada sistem komunikasi serat optik jarak jauh (*long haul*) diperlukan beberapa tahapan penguatan terhadap sinyal. Penguatan pada sinyal dengan sinyal tambahan yang dapat mengganggu harus diperhatikan agar pada sisi penerima sinyal informasi tadi dapat diidentifikasi. Oleh karena itu, penguat dengan penguatan optik secara langsung diperlukan untuk memberikan penguatan yang besar, menghindari crosstalk dan tidak sensitif terhadap polarisasi [16]. Penguat EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) merupakan penguat yang dapat memberikan penguatan langsung terhadap sinyal optik.

*Erbium Doped Fiber Amplifier* merupakan serat optik yang di *doped* dengan elemen aktif yaitu *erbium* hingga beberapa meter. *Ion erbium* memiliki kemampuan menyerap foton dengan panjang gelombang yang tinggi. Prinsip penguatan pada EDFA mirip dengan laser yaitu penguatan terjadi dengan adanya stimulasi atau rangsangan sinyal dari luar. Pompa yang dipakai pada EDFA untuk memindahkan atom-atom atau *ion erbium* dari level energi dasar ke level energi atas dengan panjang gelombang pompa  $\lambda_p = 980$  nm atau  $\lambda_p = 1480$  nm. Sehingga pompa berfungsi untuk memberikan energi kepada *ion erbium*. Proses penguatan terjadi ketika sinyal *input* dilewatkan ke serat *erbium doped*. Sehingga sinyal *input* berfungsi sebagai perangsang pada saat *ion erbium* telah berkumpul dilevel energi atas (*population inversion*). *Ion erbium* akan kembali ke tingkat dasarnya dengan emisi yang distimulasi (*stimulated emission*). Emisi yang terjadi dengan melepaskan energi *photon*. Energi tersebut bersifat koheren sehingga menyebabkan penguatan sinyal *input* secara optik [17].

## 2.5 Parameter

### 2.5.1 PLB (*Power Link Budget*)

*Power link budget* adalah perhitungan daya yang dilakukan pada suatu sistem transmisi yang didasarkan pada karakteristik saluran (redaman), sumber optik, dan sensitivitas *photodetector*. Perhitungan daya sinyal memiliki persamaan sebagai berikut [9]:

$$\alpha_{total} = (L_1 \times \alpha_{serat}) + (L_2 \times \alpha_{serat}) \quad (1)$$

Keterangan :

$L_1$  = Panjang serat optik Pertama (Km)

$L_2$  = Panjang serat optik Kedua (Km)

$\alpha_{total}$  = Redaman total sistem (dB)

$\alpha_{serat}$  = Redaman serat (dB/Km)

Perhitungan Margin Daya :

$$M = (P_T - P_R) - \alpha_{total} - SM \quad (2)$$

Keterangan :

M = Margin Daya

$P_T$  = Daya keluaran sumber (dBm)

$P_R$  = Sensitivitas daya detector (dBm)

$\alpha_{total}$  = Redaman total sistem (dB)

SM = Safety Margin (6-8dB)

Sedangkan untuk nilai daya yang diterima di *photodetector* atau blok penerima dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_{Rx} = P_{Tx} - \alpha_{total} \quad (3)$$

Keterangan :

$\alpha_{total}$  = Redaman total sistem (dB)

$P_{Rx}$  = Daya terima, sensitivitas penerima (dBm)

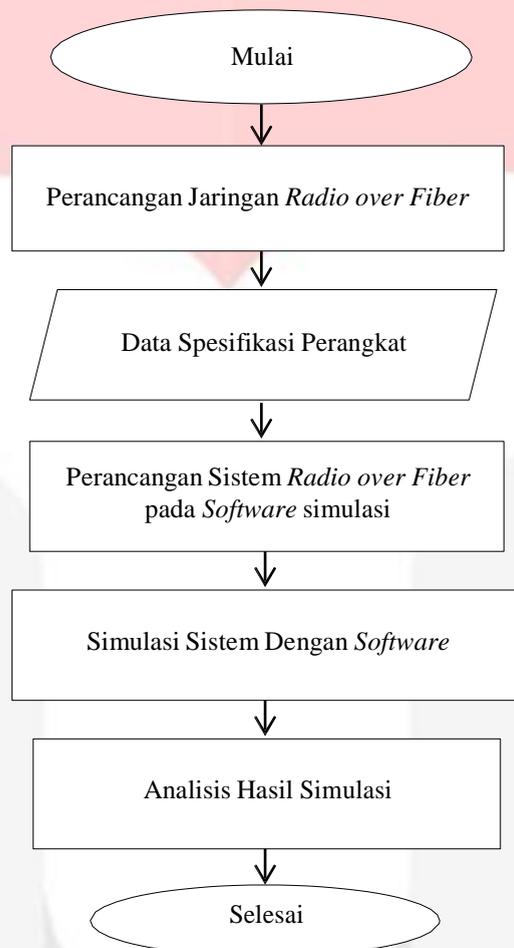
$P_{Tx}$  = Daya kirim (dBm)

### 2.5.2 Bit Error Rate

*Bit error rate* merupakan laju kesalahan bit yang terjadi dalam mentransmisikan sinyal digital. Sensitivitas merupakan daya optik minimum dari sinyal yang datang pada *bit error rate* yang dibutuhkan. BER untuk sistem komunikasi optik sebesar  $10^{-9}$ . Maksudnya terdapat kemungkinan 1 bit yang error dari  $10^9$  data yang dikirimkan dalam satu kali proses transmisi. Semakin kecil nilai *bit error rate* maka semakin baik suatu jaringan telekomunikasi [9].

## 3. Perancangan Sistem

### 3.1 Diagram Alir



Gambar 1. Diagram Alir

### 3.2 Konfigurasi Sistem

### 3.3 Spesifikasi Perangkat

Dalam perancangan perlu dilakukan pengaturan sesuai dengan spesifikasi perangkat yang digunakan. Adapun perangkat yang digunakan seperti Kabel serat optik, LASER, *Photodetector* APD, *Optical Amplifier* EDFA dengan spesifikasi perangkat berikut:

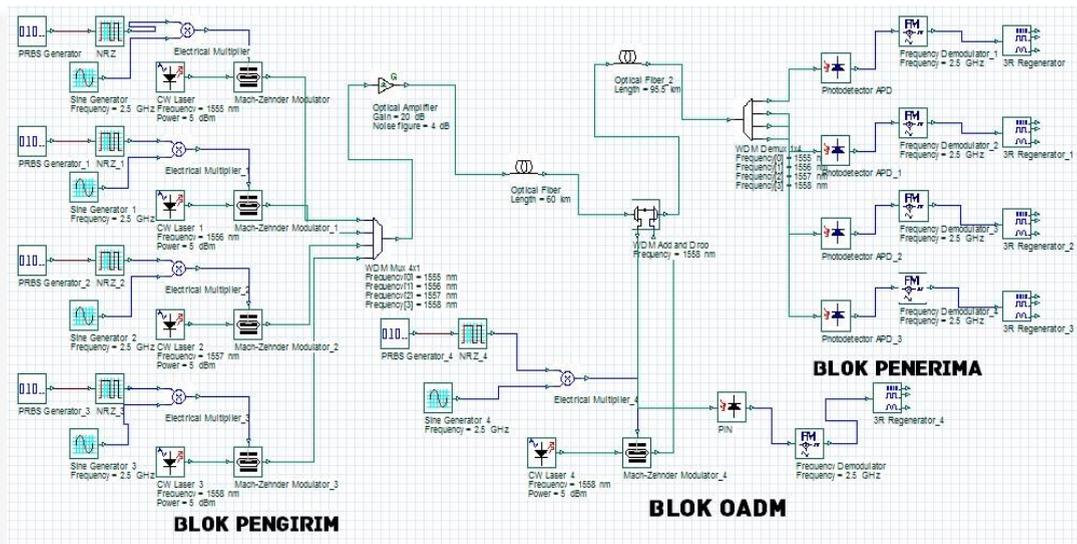
Serat optik yang digunakan jenisnya *single mode* dimana memiliki jangkauan yang jauh dan bandwidth yang lebih lebar dibanding jenis *multi mode*. Jenis kabel yang digunakan yaitu G.652 menurut standar ITU-T untuk teknologi WDM. Kabel optik ini cocok untuk panjang gelombang 1550 nm dan mempunyai redaman karakteristik sebesar 0.2 dB/Km dan dispersi *chromatic* sebesar 17 ps/nm x km [8].

Tabel 1. Spesifikasi Perangkat [10]

Perangkat		Wavelength	Power/Sensitivitas	Gain/Loss
Minimum Tx Power	LASER	1550 nm	1 dBm	-
Maximum Rx Sensitivity	APD	1550 nm	-26 dBm	-
Available Output OA	EDFA	1550 nm	12 – 27 dBm	13-30 dB
Loss Mux/Demux	WDM	-	-	3 dB
Loss Add/Drop	OADM	-	-	3 dB

### 3.4 Perancangan Sistem Pada Software

Perancangan sistem menggunakan serat optik *single mode* dalam teknologi *Radio over Fiber* berbasis WDM menggunakan OADM (*Optical Add Drop Multiplexer*). Pada tahap ini akan dilakukan pemodelan sistem pada teknologi WDM dan RoF. Teknologi WDM digunakan untuk memenuhi kebutuhan beberapa panjang gelombang sekaligus sedangkan teknologi RoF digunakan untuk meningkatkan performansi untuk *high speed* data pada akses nirkabel yang menggunakan frekuensi radio. Laju data yang digunakan sebesar 1 Gbps. Sinyal frekuensi radio 2.5 GHz akan ditumpangkan pada setiap kanal dengan panjang gelombang yang berbeda. Digunakan 4 kanal dengan masing-masing panjang gelombang 1555nm, 1556nm, 1557 nm dan 1558 nm. Kemudian untuk menggabungkan keempat panjang gelombang tersebut digunakan WDM *Multiplexer*. Selanjutnya akan digunakan *Booster Amplifier* berupa EDFA untuk meningkatkan gain serat optik. Pada jarak 60 km dari WDM *Multiplexer* akan ditempatkan perangkat OADM untuk melakukan *add* dan *drop* panjang gelombang 1558 nm. Selanjutnya akan diteruskan pada serat optik sepanjang 95.5 km menuju WDM *Demultiplexer* untuk dipisahkan sesuai dengan panjang gelombang yang dikirimkan. Kemudian masing-masing panjang gelombang akan diterima oleh *photodetector*.



Gambar 1. Perancangan Sistem Pada Simulator

## 4. Analisis Hasil Simulasi

### 4.1 Power Link Budget

Berdasarkan hasil perhitungan dan hasil simulasi yang dijalankan memiliki perbedaan nilai yang cukup kecil atau hampir mendekati. Perbedaan tersebut bisa disebabkan oleh redaman yang tak terduga misalnya bending. Namun nilai daya terima keduanya masih layak karena diatas dari sensitivitas penerima sebesar -26 dBm. Adapun sebaiknya menggunakan perangkat dengan nilai redaman rendah untuk memaksimalkan level daya terima pada blok penerima. Penggunaan dan penempatan penguat optik juga sangat berpengaruh terhadap nilai level daya terima khususnya untuk komunikasi jarak jauh. Hasil perhitungan dan hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Perhitungan dan Hasil Simulasi

Panjang Gelombang	Hasil Perhitungan		Hasil Simulasi	
	Blok OADM	Blok Penerima	Blok OADM	Blok Penerima
1555 nm	-	-9.1 dBm	-	-9.298 dBm
1556 nm	-	-9.1 dBm	-	-9.269 dBm
1557 nm	-	-9.1 dBm	-	-9.644 dBm
1558 nm	10 dBm	-17.1 dBm	9.88 dBm	-17.217 dBm
Sensitivitas	-26 dBm		-26 dBm	
Keterangan	Layak		Layak	

#### 4.2 Bit Error Rate

Nilai BER pada blok OADM sebesar  $2.11 \times 10^{-44}$  telah memenuhi batas standar yang dimungkinkan untuk komunikasi multimedia yaitu  $10^{-9}$ . Kemudian nilai BER pada blok penerima masing-masing untuk panjang gelombang 1555 nm, 1556 nm, 1557 nm dan 1558 nm sebesar  $7.42 \times 10^{-75}$ ,  $1.87 \times 10^{-46}$ ,  $4.93 \times 10^{-16}$  dan  $2.00 \times 10^{-18}$  juga memenuhi batas standar yaitu  $10^{-9}$ . Diketahui juga bahwa nilai BER berbanding terbalik dengan Q Faktor, dimana semakin kecil nilai BER maka Q Faktor makin besar. Keempat panjang gelombang (kanal) menghasilkan nilai BER yang berbeda-beda dikarenakan terjadinya degradasi sinyal optik. Hasil selengkapnya untuk BER dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil BER Sistem

Blok	Panjang Gelombang	Q Faktor	BER	Eye Height	Threshold
Penerima	1555 nm	18.26	$7.42 \times 10^{-75}$	0.686291	0.5757
	1556 nm	14.26	$1.87 \times 10^{-46}$	0.435209	0.3138
	1557 nm	8.02	$4.93 \times 10^{-16}$	0.412304	0.547934
	1558 nm	8.67	$2.00 \times 10^{-18}$	0.353932	0.515556
OADM	1558 nm	13.92	$2.11 \times 10^{-44}$	0.574809	0.460172

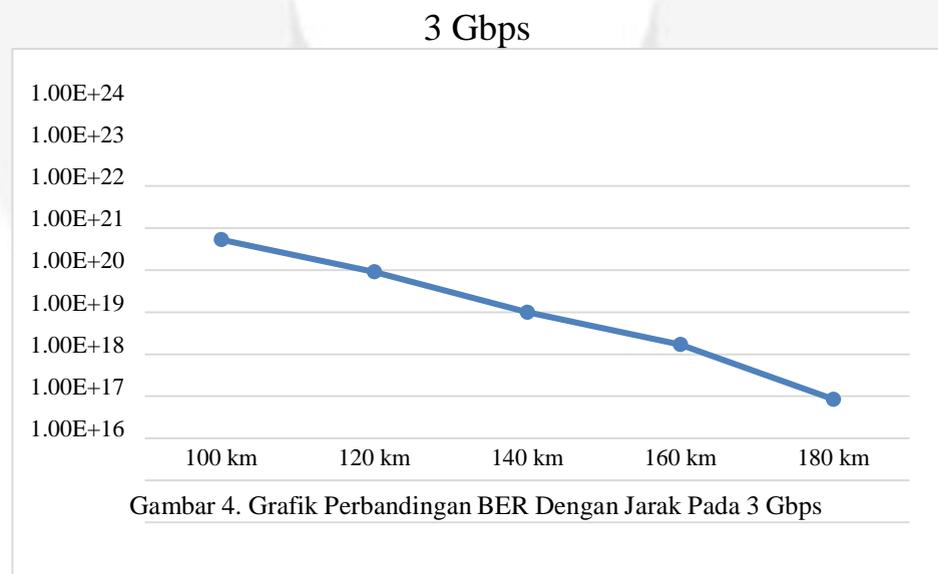
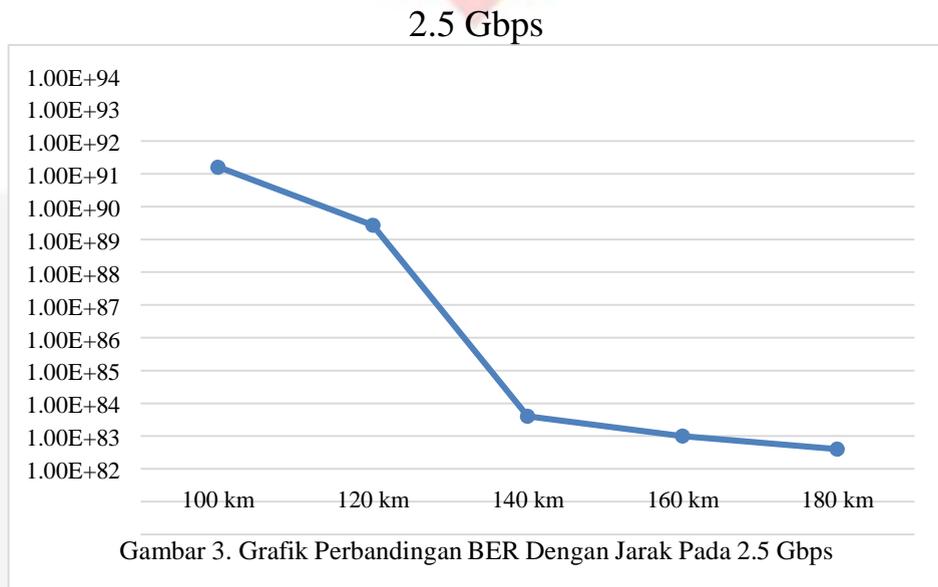
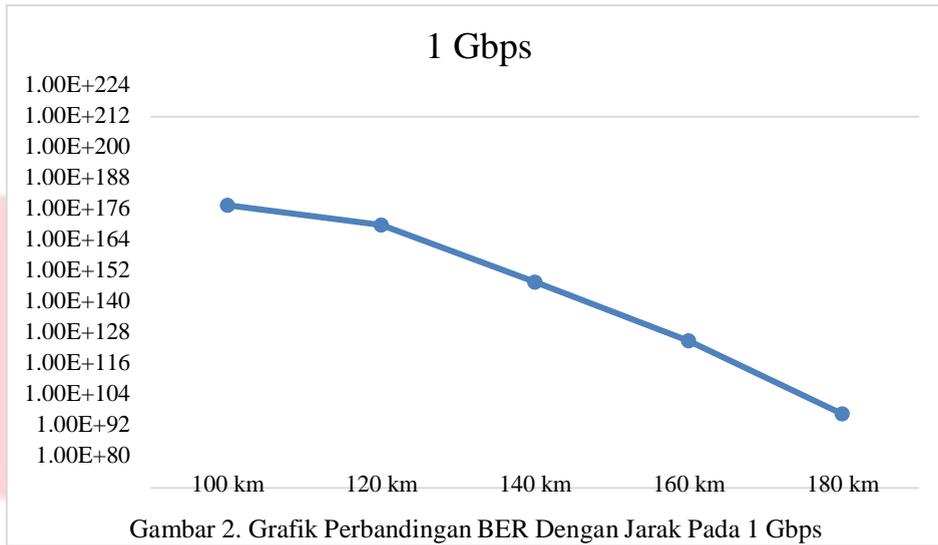
#### 4.3 Perbandingan BER Dengan Jarak dan Bit Rate

Setelah nilai BER diketahui pada bit rate 1 Gbps, selanjutnya akan dilakukan percobaan untuk mengetahui kinerja sistem bila menggunakan *bit rate* yang lebih besar dengan jarak yang bervariasi. Pada percobaan hanya mengamati satu panjang gelombang yaitu 1555 nm dimana memiliki BER minimum. *Bit rate* yang digunakan ada empat dan jarak yang digunakan dari 100 km sampai 160 km.

Tabel 4 Perbandingan BER Terhadap Bit Rate dan Jarak

Bit Rate \ Jarak	1 Gbps	2.5 Gbps	3 Gbps	10 Gbps
100 km	$4.31685 \times 10^{-189}$	$1.6026 \times 10^{-93}$	$5.3253 \times 10^{-22}$	0.0093912
120 km	$9.95191 \times 10^{-181}$	$2.76602 \times 10^{-91}$	$9.13225 \times 10^{-22}$	0.0199453
140 km	$6.5967 \times 10^{-159}$	$4.01395 \times 10^{-85}$	$1.0656 \times 10^{-21}$	0.0186533
160 km	$1.04877 \times 10^{-137}$	$1.05142 \times 10^{-85}$	$1.77363 \times 10^{-20}$	0.0187021
180 km	$4.87846 \times 10^{-108}$	$5.06769 \times 10^{-84}$	$8.59988 \times 10^{-18}$	0.032081

Pada tabel 4 terlihat bahwa semakin besar *bit rate* yang digunakan maka nilai BER akan semakin besar yang berarti kualitas sinyal menurun. Sedangkan jika jarak yang digunakan semakin jauh maka nilai BER juga akan semakin besar.



*Bit rate* yang digunakan yaitu 1 Gbps, 2.5 Gbps dan 4 Gbps masih berada diatas standar BER yang diinginkan yaitu  $10^{-9}$ . Namun ketika menggunakan *bit rate* 10 Gbps nilai BER tidak mencapai standar, hal ini dapat disebabkan oleh spesifikasi perangkat yang digunakan belum mendukung *bit rate* 10 Gbps keatas dan juga jarak tempuh yang cukup jauh.

## 5 Kesimpulan

Dari hasil percobaan dan analisis yang dilakukan terhadap teknologi *Radio over Fiber* untuk komunikasi jarak jauh didapatkan kesimpulan. Teknologi *Radio over Fiber* berbasis WDM untuk komunikasi jarak jauh menggunakan OADM sudah bekerja dengan baik.. Level daya terima terendah sebesar  $-17.217$  dBm dengan laju data sebesar 1 Gbps yang masih terdeteksi oleh *photodetector* APD sejauh 155.5 km masih berada diatas sensitivitas penerima sebesar  $-26$  dBm. Nilai BER pada keempat panjang gelombang yaitu  $7.42 \times 10^{-75}$ ,  $1.87 \times 10^{-46}$ ,  $4.93 \times 10^{-16}$  dan  $2.00 \times 10^{-18}$  masih memenuhi standar untuk komunikasi multimedia sebesar  $10^{-9}$ .

## Daftar Pustaka

- [1] Ajay Kumar Vyas, Dr. Navneet Agrawal, "Radio over Fiber: Future Technology of Communication," International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS), 2012.
- [2] D. J. Blumenthal, "Lecture 8: Intro to Optical Amplifiers", Winter 2006.
- [3] A.Hambali, "Analisa Karakteristik Gain Serat Optik Erbium Doped Fiber Amplifier Mode Tunggal", Universitas Indonesia, Jakarta, 2003.
- [4] N. Mohamed1,, S. M. Idrus, dkk.2012. Frequency Up-Conversion Technique for Radio Over Fiber (RoF) Remote Antenna Unit Configuration. Universiti Teknologi Malaysia, Razak School of Engineering and Advanced Technology. Kuala Lumpur. Malaysia.
- [5] Johnson, Malcom.2009. Optical Fiber, Cables and Systems, ITU-T Manual. Geneva, Switzerland.
- [6] Abd El-Naser A. Mohammed, Ahmed Nabih Zaki Rashed, and Mahmoud M. Eid. (2010). "Important Role of Optical Add Drop Multiplexers (OADMs) With Different Multiplexing Techniques in Optical Communication Networks," International Journal of Computing, Vol. 9, No. 2, pp. 152-164.
- [7] Widiyanto, Bagus. (2014). Analisis dan Simulasi Transmisi Dua Arah Berbasis WDM Dengan OADM Pada RoF Menggunakan *Optisystem* : Telkom University.
- [8] ITU-T, Telecommunication Standardization Sector of ITU G.652, 2009.
- [9] G.Keiser, Optical Fiber Communications 3<sup>rd</sup> Edition. Singapore: McGraw-Hill Co, 2000.
- [10] Bin Yeong Yoon, Bong Kyu Kim, Dongsoo Lee, Mun Seop Lee. ETRI. Marek Hajduczenia, Siemens Networks S.A. *Availability Transmitters, Receivers and Optical Amplifiers*. Dallas. 2006.