

Perancangan Jaringan Backbone Selular 10 Dan 15 Ghz Scm-Wdm Rof

Design of Cellular Backbone Network 10 and 15 GHz SCM-WDM ROF

As'ad Muhammad Nashrullah¹, Alfikri D. Pratama², Binar Alam Pamungkas³,
Erna Sri Sugesti⁴

^{1,2,3,4} Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro Telkom University, Bandung
e-mail: ¹asadmunash@student.telkomuniversity.ac.id, ²alffpv@student.telkomuniversity.ac.id,
³binarpamungkas@student.telkomuniversity.ac.id, ⁴ernasugesti@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Kebutuhan akan layanan broadband di Indonesia meningkat dengan signifikan. Menurut APJII masyarakat yang mengakses internet sebesar 54,67 % di Indonesia. Pengembangan teknologi komunikasi optik salah satunya adalah Radio Over Fiber (RoF). Objek penelitian ini menggunakan frekuensi 10 dan 15 GHz yang digabungkan dengan teknologi WDM dan SCM pada site operator "3" sebagai rujukan yang berada di kota Tangerang. Parameter yang disimulasikan adalah BER, Q-factor dan keluaran sinyal di output. Berdasarkan hasil analisis diperoleh nilai parameter kualitas Q-Factor pada jaringan 10 GHz adalah 21,721, dan pada jaringan 15 GHz adalah 938867. Nilai BER pada jaringan 10 GHz adalah 5.3557×10^{-105} dB, dan pada jaringan 15 GHz adalah 2.55134×10^{-21} dB.

Kata kunci: SCM, WDM, RoF.

Abstract

The need for broadband services in Indonesia has increased significantly. According to APJII, the people who access the internet are 54.67% in Indonesia. One of the development of optical communication technology is Radio over Fiber (RoF). The object of this study uses 10 and 15 GHz frequencies which are combined with WDM and SCM technology on the operator site "3" as a reference in the city of Tangerang. The simulated parameters are BER, Q-factor and signal output at output. Based on the analysis results obtained Q-Factor quality parameter values on the 10 GHz network are 21,721, and the 15 GHz network is 938867. The BER value of the 10 GHz network is 5.3557×10^{-105} dB, and the 15 GHz network is 2.55134×10^{-21} dB.

Keywords: SCM, WDM, RoF.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan layanan broadband di Indonesia semakin meningkat. Pertumbuhan pengguna internet di Indonesia pada tahun 2017 meningkat dengan hasil masyarakat yang mengakses internet sebesar 54,67% dari jumlah jiwa penduduk Indonesia [1]. Perkembangan teknologi telekomunikasi selalu meningkat dengan inovasi baru dalam memberikan layanan. Salah satu pengembangannya yaitu *radio over fiber*.

Radio over fiber adalah merupakan suatu teknologi baru dalam transmisi yang mengintegrasikan teknik transmisi *wireline* dan *wireless*. Sistem ini menjanjikan untuk komunikasi *wireless broadband*. *Radio over fiber* dapat memberikan *bandwidth* lebih lebar, atenuasi yang rendah, biaya lebih murah dan kekebalan terhadap interferensi frekuensi radio [2]. *Sub Carrier Multiplexing* (SCM) merupakan teknik *multiplexing* yang digunakan dalam ROF, dimana beberapa sinyal digabungkan menjadi satu dalam domain radio frekuensi dan ditransmisikan pada satu panjang gelombang. SCM mampu memberikan efisiensi terhadap *bandwidth* dan daya transmisi.

Penelitian yang berjudul "*Design and Simulation of a Radio Over Fiber System and its Performance Analysis*" oleh Vimala Reddy [3] membahas desain dan simulasi dari perancangan RoF

secara sederhana dengan 2 masukan input sinyal radio yang berbeda dan di transmisikan secara bersamaan menggunakan satu panjang gelombang dimana menghasilkan BER $2,7 \times 10^{-72}$ pada frekuensi 10 GHz dan Q Factor 17,93 pada frekuensi 10 GHz.

Penelitian yang berjudul “Analisis Sistem Komunikasi RoF (*Radio Over Fiber*) Berbasis WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) Dengan OADM (*Optical Add Drop Multiplexing*) Untuk Jarak Jauh” oleh Gede Teguh Laksana [4] membahas analisis yang dilakukan terhadap teknologi Radio over Fiber untuk komunikasi jarak jauh pada frekuensi 2,5 GHz. Teknologi Radio over Fiber berbasis WDM untuk komunikasi jarak jauh menggunakan OADM sudah bekerja dengan baik.

Penelitian yang berjudul “*Performance Analysis and Optimization of Radio over Fiber Link*” oleh Arun Joseph dkk [5], membahas arsitektur RoF pada frekuensi 40 GHz dan melakukan perbandingan terhadap berbagai macam teknik modulasi, karakteristik serat optik, dan konfigurasi penerima.

Penelitian yang berjudul “*Performansi SCM/WDM Radio over Fiber dengan Arsitektur Gigabit Passive Optical Network*” yang dilakukan oleh Sri Mayanti [6], menganalisis tentang jaringan SCM/WDM pada RoF dengan menggunakan arsitektur PON. Sri memberikan rekomendasi terhadap *channel spacing minimum* pada WDM dan *split ratio* maksimum pada *splitter* yang bisa diterapkan pada model sistem. Penelitian tersebut menggunakan modulasi *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) pada model jaringannya.

Penelitian yang berjudul “*Reconfigurable Optical Backbone Network for Ultra-high Capacity Indoor Wireless Communication*” yang dilakukan oleh K.A. Mekonnen, dkk [7], membahas mengenai jaringan RoF dengan frekuensi 60 GHz untuk komunikasi indoor dengan kapasitas besar. Penelitian ini menggunakan satu sumber RF dan berfokus pada sisi *frontend user*.

Radio over fiber ini dapat diterapkan pada berbagai macam teknologi telekomunikasi, salah satunya adalah jaringan *backbone* seluler. Pada penelitian ini dilakukan perancangan jaringan *backbone* seluler dengan frekuensi 10 dan 15 GHz dengan menggunakan teknologi SCM-WDM radio over fiber. Parameter kualitas yang digunakan yaitu *link power budget*, Q-Factor, dan BER.

2. METODE PENELITIAN

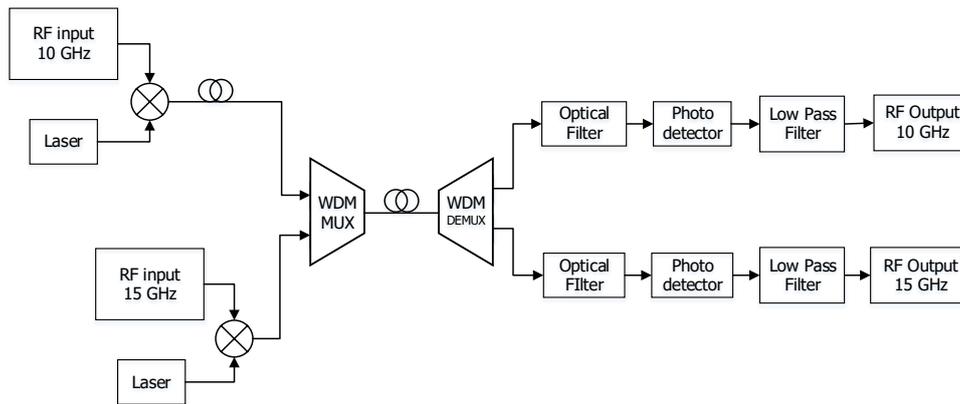
Metode penelitian ini diawali dengan kajian terhadap penelitian terkait yang telah dipaparkan pada bagian sebelumnya. Selanjutnya adalah penjabaran model sistem serta perancangan. Tahapan perancangan diawali dari pemilihan komponen yang digunakan, dan dilanjutkan dengan perancangan pada *software* simulasi sesuai dengan model sistem/arsitektur RoF yang selanjutnya hasil simulasi tersebut dianalisis.

2.1 Model Sistem

Sistem SCM-WDM RoF terdiri dari *transmitter* (pengirim), kabel serat optik, dan *receiver* (penerima). *Subcarrier multiplexing* berasal dari teknologi *microwave* yang menggunakan beberapa pembawa *microwave* untuk transmisi berbagai saluran (*electrical FDM*) melalui kabel atau ruang bebas. Bandwidth total dibatasi hingga di bawah 1 GHz ketika kabel digunakan untuk mengirimkan sinyal *multichannel microwave*. Namun, jika sinyal gelombang mikro ditransmisikan secara optik dengan menggunakan serat optik, lebar pita sinyal dapat dengan mudah melebihi 10 GHz untuk satu pembawa optik [9]. *Wavelength Division Multiplexer* adalah salah satu teknologi multipleksing dalam komunikasi serat optik yang bekerja dengan membawa sinyal informasi yang berbeda pada satu serat optik dengan menggunakan panjang gelombang (warna) cahaya laser yang berbeda. Dengan ini dapat meningkatkan kapasitas dan memungkinkan komunikasi dua arah pada satu serat optik. Sebuah sistem WDM menggunakan *multiplexer* di pemancar sinyal untuk menggabungkan gelombang dan *demultiplexer* pada penerima untuk membagi mereka terpisah [9].

Dalam perancangan perlu disesuaikan dengan spesifikasi perangkat yang digunakan. Adapun perangkat yang digunakan pada sisi *transmitter* terdiri dari sinyal RF yang akan dikirimkan, laser, kabel serat optik, *modulator*, serta *multiplexer* WDM untuk menggabungkan beberapa sumber sinyal optik dengan panjang gelombang yang berbeda. Sinyal-sinyal optik tersebut berisikan sinyal RF yang telah ditumpangkan oleh modulator pada laser dan untuk selanjutnya sinyal-sinyal optik tersebut digabungkan menjadi satu sinyal optik untuk dikirimkan. Sedangkan pada sisi *receiver* terdiri dari

demultiplexer WDM untuk memecah sinyal optik menjadi beberapa bagian, *optical filter* untuk mengambil sinyal optik pada panjang gelombang tertentu, *photodetector pin*, dan LPF.



Gambar 1 Model Sistem SCM-WDM Radio over Fiber

Jenis serat optik yang digunakan adalah *single mode*. Jenis serat ini memiliki jangkauan yang lebih jauh dan *bandwidth* yang lebih lebar dibandingkan dengan jenis lainnya yaitu *multimode*. Untuk jenis kabel yang digunakan adalah G.652, berdasarkan standar ITU-T untuk teknologi WDM [8]. Kabel ini cocok untuk panjang gelombang 1550 nm dan mempunyai redaman karakteristik sebesar 0,2 dB/Km.

Adapun rincian parameter sisi *transmitter* pada perancangan ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Parameter Transmitter RoF

Parameter	Nilai
Bitrate	10 Gbps
Frekuensi RF 1	10 GHz
Frekuensi RF 2	15 GHz
Panjang Gelombang RF 1	1550 nm
Panjang Gelombang RF 2	1520 nm
Transmit power	0 dBm

Tabel 2 menyajikan spesifikasi komponen distribusi yang digunakan dalam perancangan jaringan optik.

Tabel 2 Spesifikasi Komponen Distribusi

Komponen	Redaman (dB)
Konektor	0.2 dB
Sambungan	0.2 dB
Multiplexer WDM	1 dB
Demultiplexer WDM	1 dB

Tabel 3 menyajikan parameter receiver pada perancangan RoF ini.

Tabel 3 Parameter Receiver RoF

Parameter	Nilai
<i>Photodetector</i>	PIN
<i>Filter type</i>	<i>Bessel Optical filter dan Low pass filter</i>

Perancangan jaringan dilakukan di Kota Tangerang untuk dioperator Hutchison 3. Berikut merupakan site yang akan dirancang untuk menggunakan teknologi *radio over fiber* dengan mencantumkan jarak sesungguhnya ditambah dengan 10% toleransi kesalahan.

Site 1: Jalur dari Kelapa Dua ke Pondok Arum dengan jarak 9 km (Toleransi +0,9 km)
 Site 2: Jalur dari Pinang Tangerang ke Pondok Arum dengan jarak 7 km (Toleransi +0,7 km)



Gambar 2 Drafting ROF

Pada Gambar 2, terdapat site 1 yaitu site 103864_KELAPA_DUA_3G yang terhubung menuju site 2 yaitu 096112_Pondok_Arum_3G dan akan transit di site 100316_Pinang_Tangrang_3G dengan jarak dari site 1 sebesar 2 km.

2.2 Parameter Untuk Kelayakan Hasil Perancangan

2.2.1 Link Power Budget

Link Power Budget adalah hasil perhitungan dari penguatan dan pelemahan yang ada pada suatu pemancar. Gain dapat berasal dari amplifier sedangkan *Loss* dapat disebabkan oleh konektor, media penghantar kabel, dan dapat pula berasal dari instalasi [10]. Untuk menghitung *Link power budget* dapat dihitung dengan rumus total redaman seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$\alpha_{total} = L \cdot \alpha_{serat} + N_c \cdot \alpha_c + N_s \cdot \alpha_s + S_p \quad (1)$$

Keterangan :

α_{total}	= Redaman total sistem (dB)
L	= Panjang total sistem (Km)
α_c	= Redaman konektor ($\frac{dB}{buah}$)
α_s	= Redaman sambungan ($\frac{dB}{sambungan}$)
α_{serat}	= Redaman serat optik ($\frac{dB}{km}$)
N_s	= Jumlah sambungan
N_c	= Jumlah konektor
S_p	= Redaman splitter (dB)

Sedangkan untuk mencari nilai daya yang diterima di *photodetector* atau disisi pelanggan dapat dihitung dengan Persamaan (2).

$$P_{RX} = P_{TX} - \alpha_{total} \quad (2)$$

Keterangan :

α_{total}	= Redaman total sistem (dB)
P_{RX}	= Daya terima, sensitivitas penerima (dBm)
P_{TX}	= Daya kirim (dBm)

2.2.2 BER

BER 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. Semakin kecil nilai *Bit Error Rate* maka semakin baik kondisi suatu jaringan

telekomunikasi [10]. Untuk menghitung BER dapat dihitung dengan Persamaan (7).

$$BER = \frac{\exp(-\frac{Q^2}{2})}{Q\sqrt{2\pi}} \quad (3)$$

Keterangan :

Q = Q Factor

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

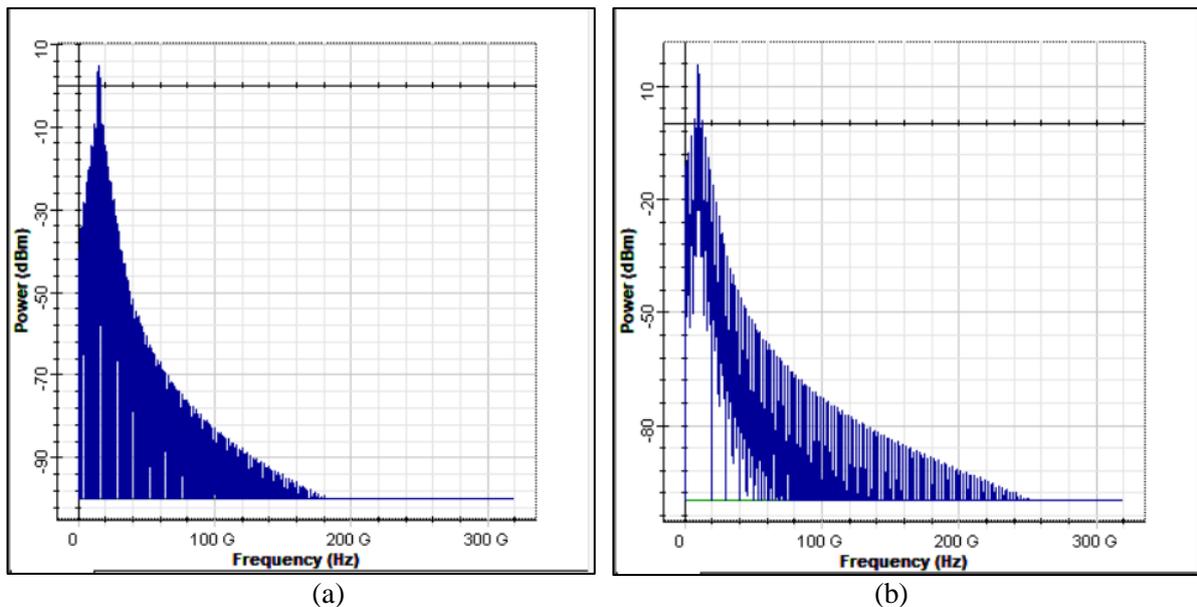
3.1 Simulasi

Pada *software* simulasi, dilakukan perancangan desain sesuai dengan model sistem dan komponen yang diinginkan, seperti penambahan *transmitter*, kabel optik, dan *receiver*. Setelah itu dilakukan *running* simulasi. Dari hasil simulasi, daya terima yang terbaca oleh site penerima Pondok Arum yang dikirimkan dari site sumber ditampilkan pada tabel 4.

Tabel 4 Hasil Link Power Budget

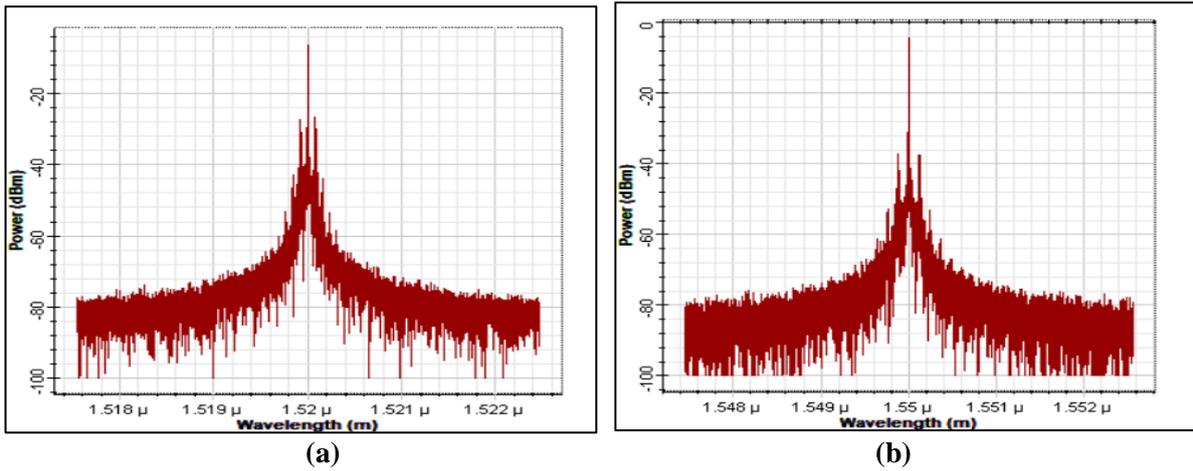
Sumber	Prx
Site 1	- 6.9 dBm
Site 2	-5.6 dBm

Sinyal RF yang dibangkitkan adalah 10 dan 15 GHz, berikut dapat dilihat hasil dari *spectrum analyzer* pada Gambar 3.



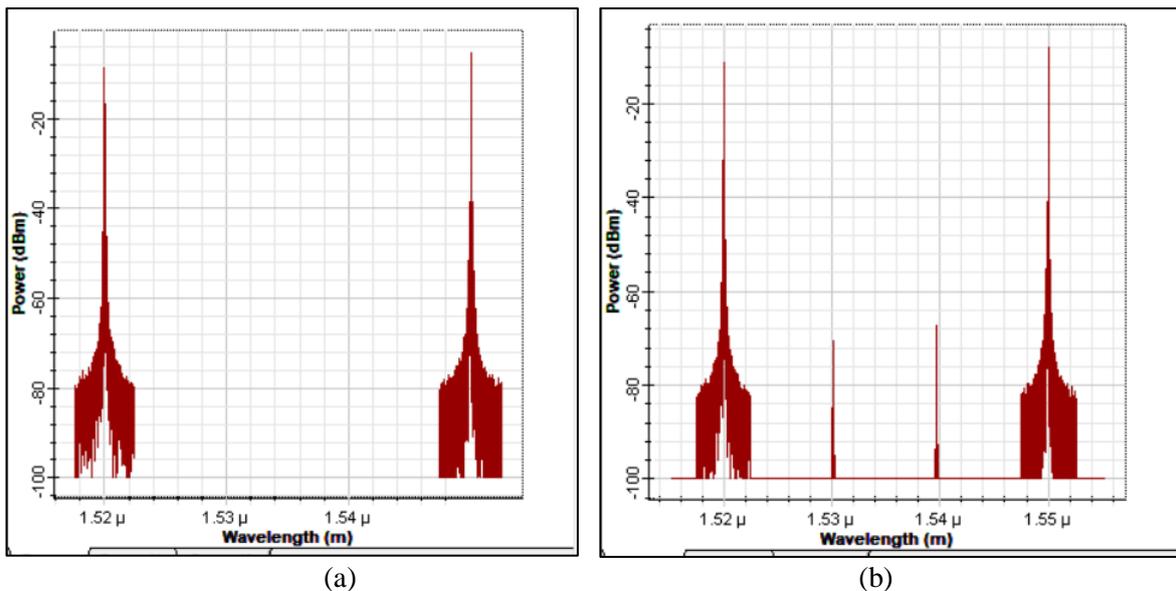
Gambar 3 (a) Spektral sinyal RF 10 GHz dan
(b) Spektral sinyal RF 15 GHz

Setelah sinyal dibangkitkan maka tahapan selanjutnya menumpangkan sinyal RF dengan sinyal optik. Sinyal RF 10 GHz ditumpangkan pada sinyal optik oleh modulator dengan panjang gelombang 1520 nm dan sinyal 15 GHz akan ditumpangkan melalui sinyal optik dengan panjang gelombang 1550 nm. Sinyal yang sudah ditumpangkan dapat dilihat pada Gambar 4.



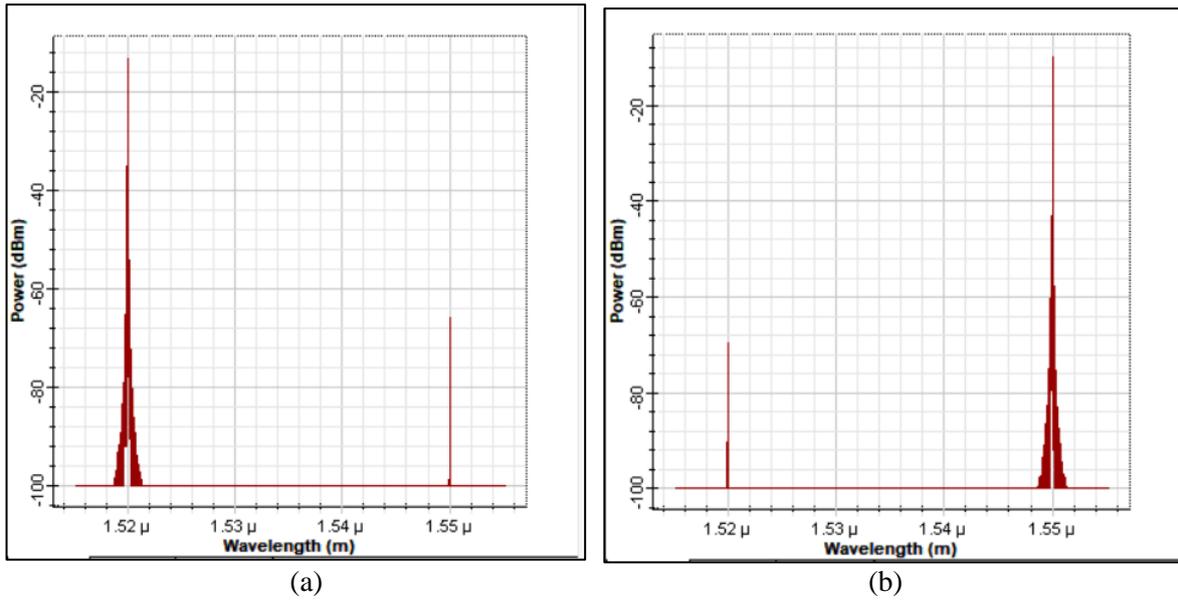
Gambar 4 (a) Penumpangan RF 10 GHz ke sinyal optik pada panjang gelombang 1520 nm
 (b) Penumpangan RF 15 GHz ke sinyal optik pada panjang gelombang 1550 nm

Setelah sinyal ditumpangkan melalui sinyal optik, kedua sinyal tersebut akan digabungkan dengan menggunakan teknologi WDM. Pada Gambar 5 akan tampak hasil sinyal keluaran dari WDM *multiplexer* yang mana kedua sinyal optik sudah digabungkan. Setelah sinyal digabungkan sinyal akan di transmisikan sampai akhirnya keluar di *Demultiplexer* WDM. Gambar 5 juga memperlihatkan sinyal keluaran dari WDM *demultiplexer* setelah dipisahkan.



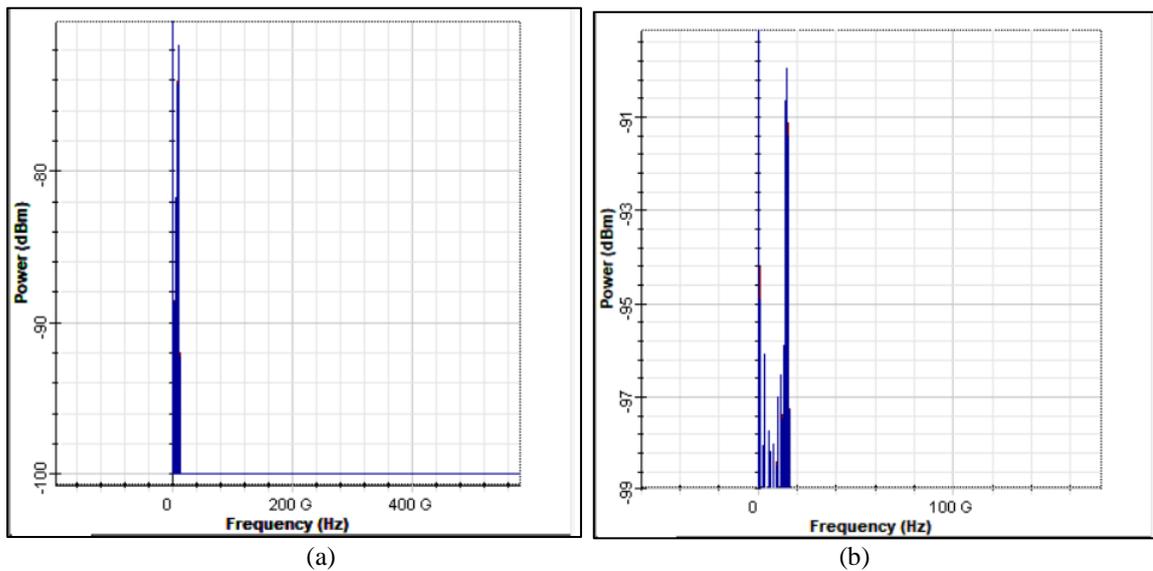
Gambar 5 (a) Sinyal keluaran Mux
 (b) Sinyal Keluaran Demux

Jika diperhatikan pada hasil keluaran Demux, ternyata muncul sinyal *noise* yang timbul pada panjang gelombang 1530 nm dan 1540 nm. Selanjutnya, sinyal optik tersebut *filter* sesuai dengan panjang gelombang semula yaitu 1520 nm dan 1550 nm dengan menggunakan *bassel optical filter*. Hasil sinyal keluaran yang sudah *filter* dapat dilihat pada Gambar 6.



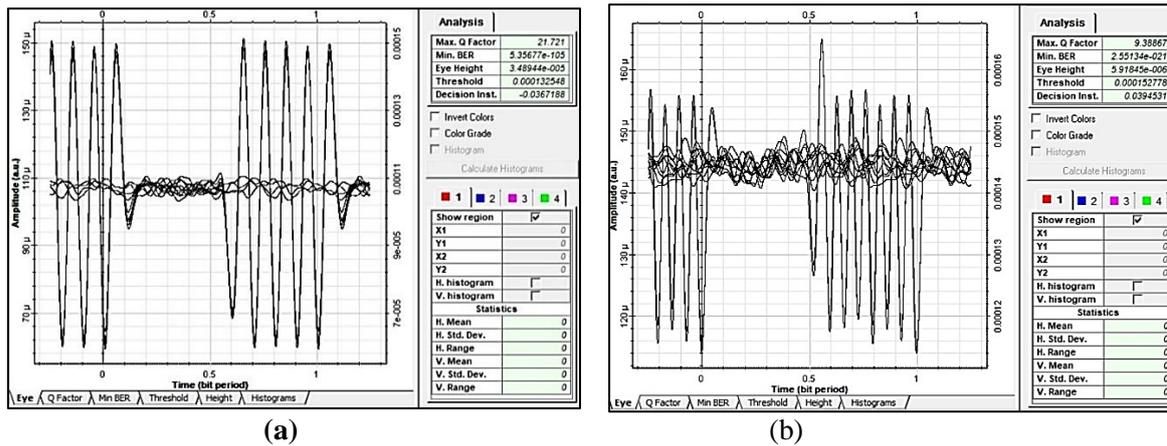
Gambar 6. (a) Sinyal Hasil *Bassel Optical Filter* dengan panjang gelombang 1520 nm
 (b) Sinyal Hasil *Bassel Optical Filter* dengan panjang gelombang 1550 nm

Setelah melalui *bassel optical filter* untuk mengambil kembali sinyal RF maka digunakan *low pass filter*. Hasil sinyal LPF dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. (a) Hasil Low Pass Filter Sinyal Output 10 GHz
 (b) Hasil Low Pass Filter Sinyal Output 15 GHz

Meskipun masih terdapat sinyal RF lainnya meskipun sudah di *filter*. Tetapi jika dilihat pada Gambar 7, tampak bahwa didapat sinyal RF yang semula dikirim yaitu pada frekuensi 10 GHz dan 15 GHz. Selanjutnya sinyal akhir tersebut diukur nilai BER dan Q-Factor nya untuk mengetahui kualitas dan kelayakannya. Hasil pengukuran BER dan Q-Factor di kedua sinyal RF tersebut ditunjukkan pada Gambar 8.



(a) Hasil Q-FACTOR, Bit Error Rate (BER) 10 GHz
 (b) Hasil Q-FACTOR, Bit Error Rate (BER) 15 GHz

Berdasarkan hasil pengukuran pada Gambar 8 terhadap Q-Factor dan BER, dituangkan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Hasil Pengukuran BER dan Q-Factor

Sinyal	BER	Q-Factor
15 GHz	$2.55134 \cdot 10^{-21}$	9.38867
10 GHz	$5.35677 \cdot 10^{-105}$	21.721

Hasil pengukuran daya yang diterima oleh sisi *receiver* masih berada diatas -29 dBm. Sedangkan nilai BER yang didapatkan berada dibawah 10^{-9} , serta nilai Q-Factor yang didapatkan berada diatas 6 [11].

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menghasilkan perancangan jaringan backbone selular dapat menggunakan teknologi scm-wdm radio over fiber. Sinyal yang dikirimkan dengan menggunakan WDM dapat menimbulkan noise pada sisi *demultiplexer*. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh nilai parameter kualitas Q-Factor pada jaringan 10 GHz adalah 21,721, dan pada jaringan 15 GHz adalah 938867. Nilai BER pada jaringan 10 GHz adalah 5.3557×10^{-105} dB, dan pada jaringan 15 GHz adalah 2.55134×10^{-21} dB. Berdasarkan nilai Q-Factor dan BER yang diperoleh, hasil perancangan memiliki kualitas jaringan yang baik dan layak diimplementasikan.

5. SARAN

1. Untuk penelitian kedepannya diharapkan untuk dapat menganalisa pada sisi jenis modulator yang paling efektif dalam perancangan *Radio Over Fiber*.
2. Analisa pada jumlah input sinyal radio jika jumlah inputan sinyal lebih dari 2 (dua) masukan sinyal.
3. Lakukan analisa pada pemilihan panjang gelombang untuk memodulasi sinyal radio pada siinyal optik untuk mengurangi *noise* dari proses modulasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. P. J. I. I. APJII, "Penetrasi dan Perilaku Pengguna Internet Indonesia Survey Tahun 2017," 2017.
 [2] L. G. Kazovsky, *Broadband Optical Access Network*, New York: John Willey & Son, Inc., 2011.
 [3] V. Reddy and L. Jolly, "Design and Simulation of a Radio Over Fiber System and its

- Performance Analysis," *International Journal of Computer Applications*, vol. 133, no. 12, pp. 36-43, 2016.
- [4] G. T. Laksana, A. Hambali and A. D. Pambudi, "Analisis Sistem Komunikasi RoF (Radio Over Fiber) Berbasis WDM (Wavelength Division Multiplexing) Dengan OADM (Optical Add Drop Multiplexing) Untuk Jarak Jauh," *e-Proceeding of Engineering Telkom University*, vol. 3, 2016.
- [5] A. Joseph and S. Prince, "Performance Analysis and Optimization of Radio over Fiber Link," in *International Conference on Communication and Signal Processing*, 2014.
- [6] S. Mayanti, "Performansi SCM/WDM Radio over Fiber dengan Arsitektur Gigabit Passive Optical Network," *Laporan Tugas Akhir. Pekanbaru: Jurusan Teknik Elektro UIN Suska Riau*, 2015.
- [7] K. Mekonnen, C. Oh, Z. Cao and N. Tessema, "Reconfigurable Optical Backbone Network for Ultra-high," in *IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP)*, Long Beach, 2016.
- [8] P. Pesek, J. Bohata, S. Zvanovec and J. Perez, "Analysis of Dual Polarization WDM and SCM Radio over Fiber and Radio over FSO for C-RAN Architecture," in *Wireless and Optical Communication Conference (WOCC)*, 2016.
- [9] G. Kaiser, *Optical Fiber Communication 3rd Edition*, McGraw-Hill Higher Education, 2010.
- [10] G. P. Agrawal, *Fiber-Optic Communication Systems 3rd Edition*, New York: John Willey & Son, Inc., 2002.
- [11] J. Johnny and S. Shashidharan, "Design and Simulation of a Radio Over Fiber System," in *OPNTDS*, 2012.