

# Performansi *Digitized Radio over Fiber* pada Jaringan SCM WDM PON

Rika Susanti<sup>1</sup>, Dedi Kurniawan<sup>2</sup>, Teddy Purnamirza<sup>3</sup>, Hasdi Radiles<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau

Jl. HR. Soebrantas No.155 Panam, Pekanbaru

e-mail: <sup>1</sup>rika.susanti@uin-suska.ac.id, <sup>2</sup>dedikurniawan@student.uin-suska.ac.id

## Abstrak

*Digitalisasi sinyal radio pada teknologi Radio over Fiber untuk mengatasi permasalahan disebabkan oleh efek nonlinieritas dari gelombang mikro dan komponen optik. Untuk meningkatkan kapasitas jaringan Digital Radio over Fiber, Wavelength Division Multiplexing digunakan untuk menggabungkan beberapa kanal optik, dan Sub-Carrier Multiplexing digunakan untuk mentransmisikan beberapa sub-carrier yang membawa sinyal informasi yang di-multiplex dalam domain Radio Frequency. Pada penelitian ini dilakukan analisis performansi BER model sistem dengan bitrate 20 Gbps dan 40 Gbps. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan performansi yang baik sesuai dengan standar yang telah ditetapkan, baik untuk bitrate 20 Gbps maupun 40 Gbps. Jarak transmisi maksimum yang dapat dijangkau oleh model sistem adalah 80 km.*

**Kata kunci:** *Digital Radio over Fiber, Radio over Fiber, Subcarrier Multiplexing, Wavelength Division Multiplexing*

## Abstract

*Digitizing radio signals on Radio over Fiber technology was developed to overcome the problems caused by the nonlinearity effects of microwaves and optical components. In order to increase the network capacity, Wavelength Division Multiplexing was used to combine several optical channels. Moreover, Sub-Carrier Multiplexing technique also was added to transmit the number of sub-carrier that multiplexed the signal in Radio Frequency domain. In this study, it was conducted BER performance analysis toward SCM WDM PON DRoF. Based on simulation results, the model system is able to show good performance for bitrate 20 Gbps and 40 Gbps as the standard requirement. The maximum transmission distance obtained reaches 80 km.*

**Keywords:** *Digital Radio over Fiber, Radio over Fiber, Subcarrier Multiplexing, Wavelength Division Multiplexing*

## 1. Pendahuluan

Pengguna jaringan *mobile* di dunia, khususnya di Indonesia terus mengalami peningkatan. Pada tahun 2018, setidaknya ada 250 juta pengguna dari berbagai operator *seluler* di Indonesia [1]. Jumlah pengguna data seluler di Indonesia memiliki *trend* meningkat setiap tahunnya [2]. Peningkatan jumlah pengguna ini harus diiringi dengan kemajuan dan perkembangan teknologi untuk memenuhi kebutuhan layanan berkecepatan tinggi dan berkapasitas besar, yang bisa diakses dimana dan kapan saja. *Radio over Fiber* (RoF) menggabungkan sistem komunikasi *wireless* yang fleksibel dengan jaringan optik yang andal, sehingga dapat memberikan solusi terhadap peningkatan kapasitas dan mobilitas jaringan akses berbasis gelombang mikro dan serat optik yang *low cost* [3].

Penggunaan *bit rate* yang tinggi pada satu kanal dengan panjang gelombang tunggal akan rentan terhadap *chromatic dispersion*, *nonlinear crosstalk* dan *Polarization Mode Dispersion* (PMD) yang disebabkan oleh pelebaran *bandwidth* sinyal [3-4]. Oleh sebab itu, diperlukan teknik *multiplexing* di dalam pentransmisian data. *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) dapat diterapkan pada sistem RoF, sehingga berbagai jenis trafik (data, suara dan video) dapat ditransmisikan secara bersamaan dengan menggunakan beberapa panjang gelombang dalam satu serat optik tunggal berkecepatan tinggi [5-7].

*Multiplexing* pada kanal radio juga perlu dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut. *Sub-Carrier Multiplexing* (SCM) dapat mentransmisikan beberapa *sub-carrier* yang membawa data analog atau digital yang di-*multiplex* dalam domain *Radio Frequency* (RF). Hal ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi *bandwidth* dan daya transmisi [5][8][9]. Di samping

itu, SCM memiliki arsitektur yang sederhana, *low cost*, dan juga dapat mengurangi efek dispersi [5][9].

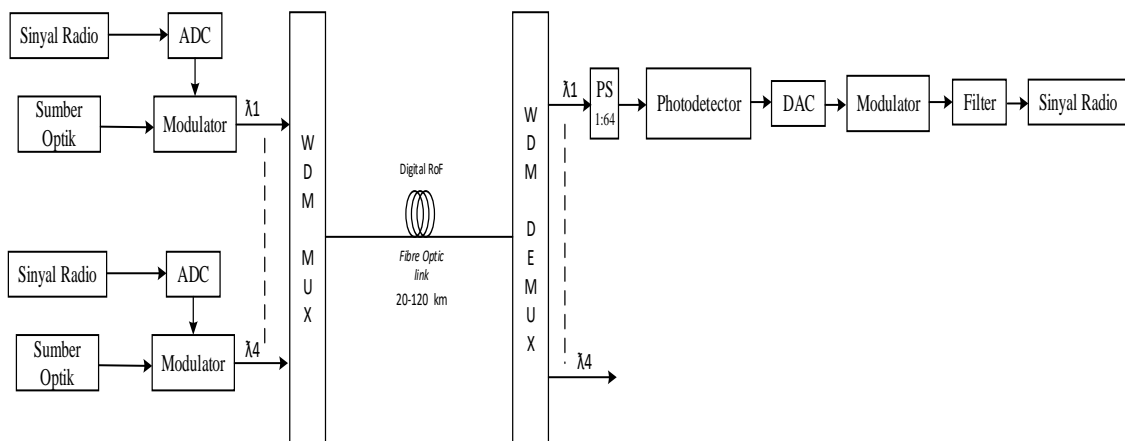
Penelitian [8] telah mengembangkan sistem SCM-WDM dengan menggunakan arsitektur *Passive Optical Network* (PON) pada sistem *Analog Radio over Fiber* (ARoF). *Passive Optical Network* (PON) merupakan teknologi jaringan akses optik yang menawarkan fleksibilitas, cakupan wilayah yang luas, dan *low cost* untuk jaringan *point to multipoint* [10]. Salah satu permasalahan yang timbul ketika sinyal radio analog ditransmisikan melalui saluran optik adalah adanya *Inter-Modulation Distortion* (IMD) yang disebabkan oleh efek nonlinieritas dari gelombang mikro dan komponen optik [4][8]. Untuk mengatasi masalah pada sinyal radio analog tersebut, kemudian dikembangkan teknologi *Digitized Radio-over-Fiber* (DRoF) dengan memanfaatkan pengubahan sinyal analog menjadi sinyal digital. Sinyal informasi dalam bentuk digital tersebut mampu menjaga kualitas sinyal yang ditransmisikan pada jarak jauh dengan performansi yang tinggi dan dapat diintegrasikan dengan *broadband existing network* maupun *future network* [11].

Penelitian [4] dan [11] membandingkan performansi ARoF dengan DRoF. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa performansi parameter *Bit Error Rate* (BER) dan *Q-factor* yang dihasilkan oleh sistem DRoF lebih baik dari pada sistem ARoF [11]. Parameter *Signal Noise to Ratio* (SNR) yang dihasilkan oleh sistem DRoF juga lebih baik dibandingkan sistem ARoF [4]. Pada penelitian tersebut hanya terdapat *multiplexing* (WDM) di sisi kanal optik saja.

Pada penelitian ini dilakukan pengembangan sistem DRoF dengan menggunakan teknik SCM-WDM-PON. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan *bandwidth* sistem melalui penggunaan beberapa panjang gelombang dan menambah efisiensi *cost* karena penggunaan perangkat pasif pada jaringan distribusi yang dapat memperluas cakupan wilayah dan peningkatan jumlah *end user*.

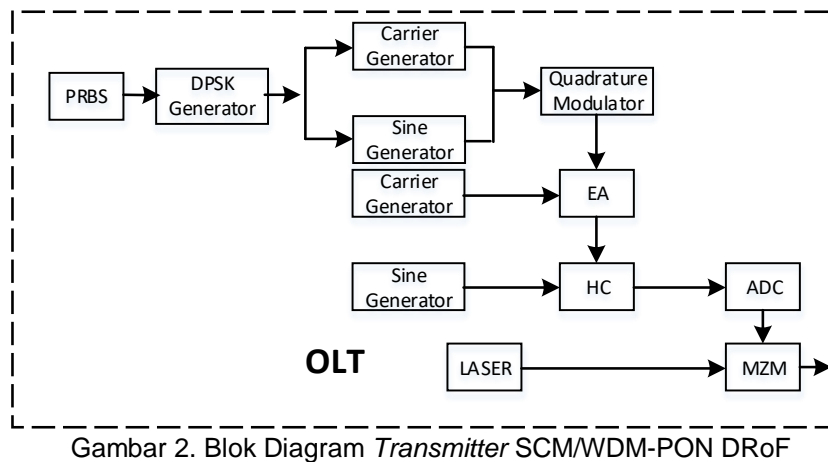
## 2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan dan simulasi DRoF pada jaringan SCM WDM PON dengan menggunakan Optisystem. *Software* ini merupakan perangkat lunak yang komprehensif untuk mendesain, mensimulasikan dan menguji sebuah jaringan optik. *Software* ini juga dilengkapi dengan *virtual instrument* sehingga penelitian dapat dilakukan tanpa terkendala oleh keterbatasan peralatan. Gambar 1 menampilkan blok diagram model jaringan SCM/WDM PON pada sistem DRoF secara umum.



Gambar 1. Model Jaringan SCM/WDM PON pada Sistem DRoF

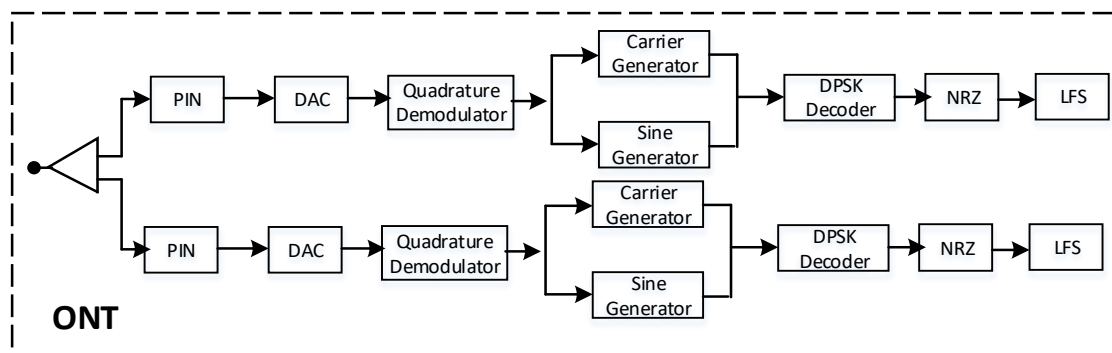
Pada sisi *transmitter*, digunakan beberapa komponen optik yang dapat dilihat pada blok diagram berikut.



Sinyal informasi dibangkitkan dengan menggunakan *Pseudo Random Bit Sequence* (PRBS). Sinyal informasi tersebut dimodulasi dengan menggunakan teknik modulasi *Differential Phase Shift Keying* (DPSK). *Electrical adder* berfungsi untuk menggabungkan sinyal informasi yang telah dimodulasi dengan sinyal *carrier* yang dihasilkan oleh *Carrier Generator* (CG). Beberapa *subcarrier* akan dimultiplex pada bagian ini. Frekuensi yang digunakan pada SCM menggunakan frekuensi 2,4 GHz, 5,8 GHz, 10,8 GHz, dan 18 GHz. Sinyal-sinyal tersebut dibawa dengan sinyal RF yang dikopelkan dengan menggunakan *Hybrid Coupler* (HC). Sinyal radio yang masih berbentuk analog tersebut didigitalisasi menggunakan *Analog to Digital Converter* (ADC), kemudian ditumpangkan ke sinyal cahaya oleh *Mach Zehnder Modulator* (MZM), untuk kemudian diteruskan ke *WDM multiplexer*. Beberapa kanal informasi digabungkan terlebih dahulu sebelum informasi disalurkan ke media transmisi.

Media transmisi yang digunakan dalam model sistem ini adalah serat optik jenis *step indeks singlemode*. Serat ini dipilih karena mempunyai dispersi dan *loss* yang kecil, sehingga dapat digunakan untuk transmisi data dengan *bit rate* yang tinggi dan merupakan pilihan terbaik untuk sistem komunikasi jarak jauh. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi sistem untuk jarak 20 hingga 120 km.

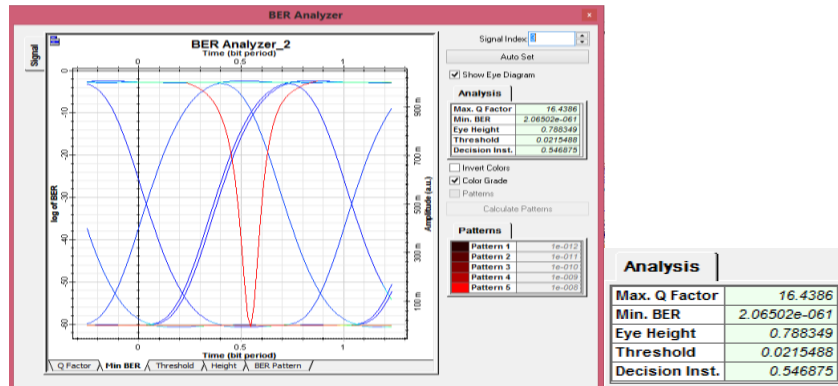
Sinyal optik yang ditransmisikan melalui serat optik kemudian diteruskan ke sisi *receiver*. Blok diagram sisi *receiver* dapat dilihat pada Gambar 3.



Sinyal optik yang ditransmisikan melalui serat optik didemultiplex dengan menggunakan *WDM Demultiplexer* (*WDM Demux*). *Splitter* membagi sinyal optik ke beberapa penerima *Optical Network Terminal* (ONT). Pada masing-masing ONT, sinyal optik dideteksi oleh *photodetector* PIN dan mengubah sinyal optik tersebut kembali menjadi sinyal elektrik. Selanjutnya sinyal elektrik yang berbentuk digital tersebut diubah kembali ke analog menggunakan *Digital to Analog Converter* (DAC) dan diteruskan ke *band pass bessed filter* dan didemodulasi. Selanjutnya sinyal tersebut difilter kembali dengan menggunakan *low pass filter* untuk mendapatkan sinyal informasi sesuai dengan frekuensi yang diinginkan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Analisis performansi jaringan SCM WDM PON pada DRoF dilakukan dengan dua skenario penelitian, yaitu menganalisis performansi jaringan untuk *bitrate* 20 Gbps dan 40 Gbps, dan menentukan jarak transmisi maksimum model sistem. Parameter yang digunakan untuk melihat performansi jaringan adalah parameter *Bit Error Rate* (BER). Gambar 4 menampilkan *eye pattern* sinyal keluaran model sistem DRoF SCM WDM-PON untuk jarak 40 km, *bitrate* 40 Gbps, 100 *sub-carrier*, dan daya input 0 dBm.

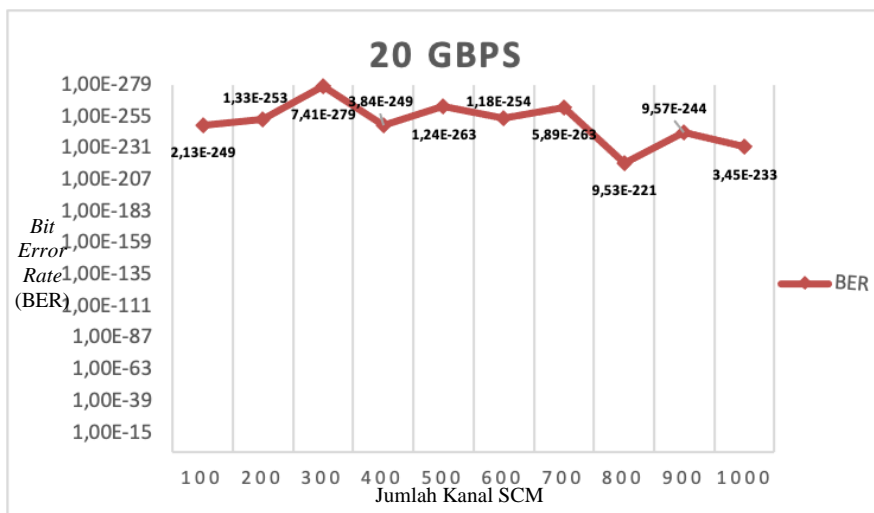


Gambar 4. Hasil *Bit Error Rate* (BER) Model Sistem DRoF SCM WDM-PON

Berdasarkan hasil simulasi di atas, diperoleh BER sebesar  $2,065 \times 10^{-61}$  dan *Q Factor* sebesar 16,4386. Hasil ini merupakan validasi terhadap model sistem yang telah didesain, dan telah memenuhi standar minimum BER sebesar  $10^{-12}$  dan *Q-faktor*  $\geq 7$  [12-13].

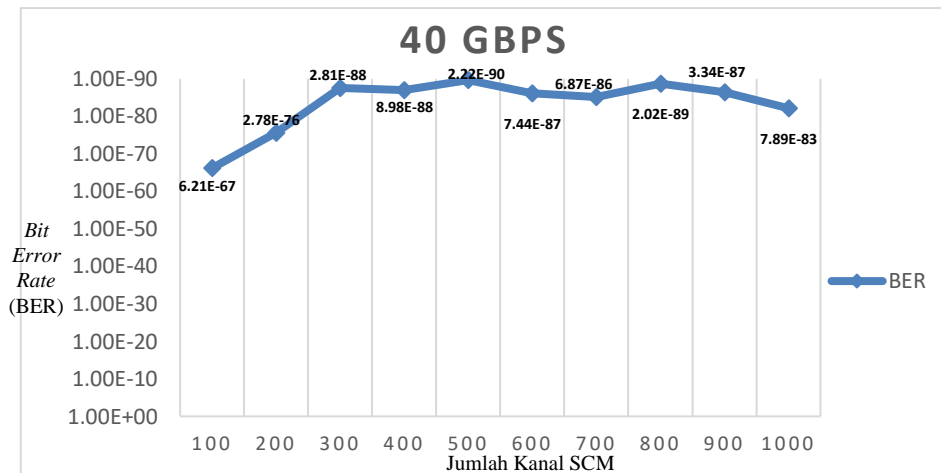
#### 3.1. Performansi BER untuk beberapa *Bit Rate*

Pada skenario penelitian ini dilakukan simulasi terhadap model sistem DRoF SCM WDM-PON dengan *bit rate* 20 dan 40 Gbps. Simulasi dilakukan untuk jumlah jumlah *sub-carrier* dari 100 hingga 1000 *sub-carrier*. Gambar 5 menampilkan performansi BER model sistem SCM WDM PON DRoF untuk *bitrate* 20 Gbps, jarak transmisi 40 km, dan daya input 0 dBm.



Gambar 5. Performansi BER Sistem SCM WDM PON DRoF untuk *Bitrate* 20 Gbps

Dari grafik di atas terlihat bahwa pada *bitrate* 20 Gbps, nilai BER yang dihasilkan berada pada rentang nilai  $9,53 \times 10^{-221}$  hingga  $7,41 \times 10^{-279}$ . Dari nilai BER tersebut, jelas terlihat bahwa performansi model sistem sangat baik karena mempunyai nilai BER yang jauh lebih kecil dari  $10^{-12}$  (nilai yang digunakan sebagai indikator performansi). Sehingga dapat disimpulkan bahwa model sistem dengan *bitrate* 20 Gbps dan jarak 40 km mampu memberikan kinerja yang baik untuk 1000 *sub-carrier* yang telah disimulasikan. Performansi BER untuk *bitrate* 40 Gbps dapat dilihat pada Gambar 6.



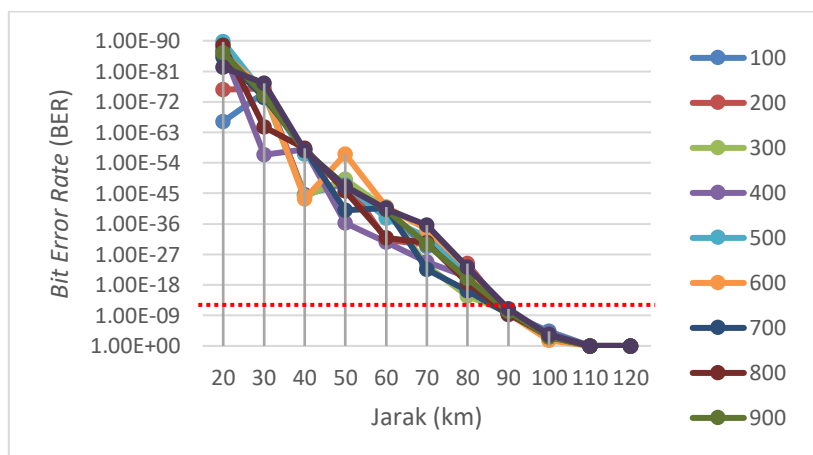
Gambar 6. Performansi BER Sistem SCM WDM PON DRoF untuk *Bitrate* 40 Gbps

Seperti halnya pada *bitrate* 20 Gbps, jarak transmisi dan daya input yang digunakan pada model sistem dengan *bitrate* 40 Gbps juga sama, yaitu 40 km dan 0 dBm. Jumlah *sub-carrier* yang digunakan juga sama, yaitu dari 100 hingga 1000 *sub-carrier*. Berdasarkan grafik yang terdapat pada Gambar 6, model sistem SCM WDM PON DRoF juga mampu memberikan kinerja yang baik untuk 1000 *sub-carrier* yang telah disimulasikan. Nilai BER yang dihasilkan berada pada rentang nilai  $6,21 \times 10^{-67}$  hingga  $2,22 \times 10^{-90}$ . Jika dilakukan perbandingan nilai BER antara model sistem dengan *bitrate* 20 Gbps dan 40 Gbps, terlihat bahwa nilai BER dengan *bitrate* 40 Gbps lebih besar dibandingkan dengan *bitrate* 20 Gbps. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh efek dispersi atau pelebaran pulsa pada saat pentransmisi sinyal.

### 3.2. Jarak Transmisi Maksimum dengan Jumlah *Sub-Carrier* Berbeda-beda

Pada skenario penelitian ini dilakukan simulasi terhadap model sistem SCM WDM-PON *Digital Radio over Fiber* untuk melihat jarak maksimum yang dapat dicapai oleh model sistem dengan jumlah kanal SCM 100 – 1000 kanal. Gambar 7 menampilkan jarak transmisi model sistem terhadap nilai BER untuk *bitrate* 40 Gbps. Daya input yang diberikan pada model sistem adalah 0 dBm.

Berdasarkan grafik yang terdapat pada Gambar 7, terlihat bahwa jarak transmisi maksimum yang mampu dicapai oleh model sistem SCM WDM PON DRoF berkisar 80 km untuk jumlah *sub-carrier* hingga 1000 *sub-carrier*. Semakin panjang jarak transmisi maka nilai BER akan semakin besar, sehingga jarak transmisi akan semakin pendek. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh redaman pada serat optik yang bertambah seiring dengan penambahan jarak transmisi. Tetapi perbedaan jarak transmisi untuk 100 hingga 1000 *sub-carrier* yang diperoleh dari hasil simulasi ini, tidak terlalu berbeda secara signifikan.



Gambar 7. Jarak Transmisi terhadap BER Model Sistem SCM WDM PON DRoF

#### 4. Kesimpulan

Perancangan model sistem dengan penambahan teknik SCM dapat diimplementasikan pada sistem DRoF WDM-PON pada *bit rate* 20 dan 40 Gbps dengan kanal SCM yang mampu dimultiplekskan sebanyak 1000 *sub-carrier*. Jarak transmisi maksimum yang dapat dijangkau sejauh 80 km. Penambahan jarak transmisi mempengaruhi nilai BER yang dihasilkan, semakin panjang jarak transmisi semakin besar pula nilai BER sistem.

#### Daftar Pustaka

- [1] Kominfo RI. "Inilah rincian jumlah pelanggan prabayar masing-masing operator" [online]: Tersedia: [https://kominfo.go.id/content/detail/13131/inilah-rincian-jumlah-pelanggan-prabayar-masing-masing-operator/0/sorotan\\_media](https://kominfo.go.id/content/detail/13131/inilah-rincian-jumlah-pelanggan-prabayar-masing-masing-operator/0/sorotan_media). (diakses pada 27 Oktober 2019).
- [2] K. Ariansyah. "Proyeksi Jumlah Pelanggan Telepon Bergerak Seluler di Indonesia". Buletin Pos dan Telekomunikasi, Jakarta: Kominfo RI. 2014.
- [3] Chi H Lee. *Microwave Photonics*, 2<sup>nd</sup> Edition. CRC Press. 2017.
- [4] Z.S Pratama, A. Hambali, dan B. Pamukti. "Performansi *Digitized Radio-over-Fiber* (D-RoF) pada Jaringan 40G WDM-PON sisi *Downstream*". *e-Proceeding of Engineering*, Bandung: Universitas Telkom. 2018.
- [5] R. Aparna dan S. Aswathy Chandran. "*Performance Analysis of Optical Communication System using Wavelength Division and Sub Carrier Multiplexing*". *International Journal of Engineering Research & Technology* (IJERT). India: T K M Institute of Technology Kollam. 2015.
- [6] Capmany, J, dkk. "*Multiwavelength Single Sideband Modulation for WDM Radio-Over-Fiber Systems Using a Fiber Grating Array Tandem Device*". 2005.
- [7] N.E. Musa dan R. Susanti. "Analisis Performansi *Array Waveguide Grating* Menggunakan Filter *Fiber Bragg Gratings* pada Jaringan SCM/WDM *Radio over Fiber*". Skripsi. Pekanbaru: UIN Sultan Syarif Kasim Riau. 2016.
- [8] R. Susanti, Gusmawandi, Sutoyo, dan F. Amilia. "Performansi SCM/WDM *Radio Over Fiber* dengan Arsitektur PON menggunakan M-ary PSK". Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi dan Industri (SNTIKI) 9, Pekanbaru: UIN Sultan Syarif Kasim Riau. 2017.
- [9] M.A. Jalil dan A.K. Al-Samarrie. "*Radio-over-Fibersystem Capacity Improvements by using Wavelength Division Multiplexing and Subcarrier Multiplexing Techniques*". *Engineering and Technology Journal*. Baghdad: University of Technology. 2015.
- [10] R. Susanti, et.al." *Distribution of 4G Radio over Fiber on Gigabit Passive Optical Network Architecture*". *Jurnal Teknologi*. Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia. 2011.
- [11] G.Aarthi dan N.Sangeetha. "*Comparative Analysis of Analog and Digitized Radio-over-Fiber Systems*". *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*. India: VIT University. 2014.
- [12] ITU. "ITU-T G.694.1 Transmission media and optical systems characteristics – Characteristics of optical systems: *Transmission System and Media, Digital System and networks*". ITU-T. 2012.
- [13] ITU. "ITU-T G.sup39 *Optical System Design and Engineering Considerations: Transmission System and Media, Digital System and networks*". ITU-T. 2016.