

## SISTEM RADIO OVER FIBER DENGAN TEKNOLOGI NEXT GENERATION-PASSIVE OPTICAL NETWORK 2 (NG-PON2)

### RADIO OVER FIBER SYSTEM WITH NEXT GENERATION TECHNOLOGY-PASSIVE OPTICAL NETWORK 2 (NG-PON2)

Al Akbar<sup>1</sup>, Ir. Akhmad Hambali, MT.<sup>2</sup>, Hafidudin, ST, MT.<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>akbaral343@gmail.com <sup>2</sup>ahambali@telkomuniversity.ac.id <sup>3</sup>hafidudin @tass.telkomuniversity.ac.id

#### ABSTRAK

Teknologi jaringan serat optik NG-PON 2 yang diintegrasikan dengan jaringan komunikasi radio yang mampu mendukung layanan *broadband* dan mentransmisikan data dengan kecepatan tinggi yang dikenal dengan teknologi *Radio over Fiber* (ROF), perkembangan transmisi sinyal analog pada *Analog Radio over Fiber* (Analog-ROF), hingga transmisi sinyal radio yang terdigitalisasi pada *Digitized Radio over Fiber* (Digitized ROF). Pada Analog ROF masih terdapat kekurangan yang diantaranya penurunan daya sinyal informasi yang disebabkan oleh attenuasi dari serat optik, mengalami *inter-modulasi* (IMD) yang disebabkan oleh faktor non-linearitas dari gelombang mikro dan serat optik pada jaringan yang berkaitan, dan latensi karena propagasi serat optik.

Pada penelitian ini, dilakukan analisis terhadap performansi sistem *Digitized* ROF dengan menggunakan NG-PON2 yang dilihat berdasarkan Q-Factor, BER, dan daya pada jarak transmisi 5 km sampai dengan 40 km dan dibandingkan dengan performansi sistem Analog ROF. Penelitian dimulai dengan merancang sistem *Analog* ROF dan *Digitized* ROF yang diintegrasikan dengan jaringan NG-PON2. Rancangan yang telah dibuat disimulasikan pada software simulasi.

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi pada skenario *Analog* ROF dengan teknologi NG-PON 2, didapatkan nilai Q-Factor dan BER ideal terdapat pada jarak 15 km yang bernilai 7.8344 dan  $5.35 \times 10^{-18}$  sedangkan pada jarak 20 km nilai Q-Factor dan BER nya 5.80821 dan  $4.694 \times 10^{-09}$ . Pada skenario simulasi *Digitized* ROF dengan NG-PON2 didapatkan nilai Q-Factor dan BER ideal pada jarak 25 dengan nilai Q-Factor dan BER nya 7.70069 dan  $6.406 \times 10^{-13}$  sedangkan pada jarak 30 km nilai Q-Factor dan BER nya 6.86354 dan  $5.832 \times 10^{-10}$ . Kemudian berdasarkan hasil analisis performansi dengan menggunakan parameter jarak maka *Digitized* ROF dapat menjangkau jarak yang lebih jauh dari *Analog* ROF.

**Kata kunci:** *Analog ROF, Digitized ROF, NG-PON 2, Optisystem*

#### ABSTRACT

Optical fiber network technology NG-PON 2 are integrated with radio communications network capable of supporting *broadband* services and high-speed data transmitting technology, known as *Radio over Fiber*, the development of analog signal transmission in *Analog Radio over Fiber* (Analog-ROF), to *digitized* radio signal transmission on *Digitized* Radio over Fiber (Digitized ROF). In Analog ROF there are still deficiencies which include a decrease in information signal power caused by attenuation of optical fibers, meet the *inter-modulation* (IMD) caused by non-linearity of the microwave and fiber optic network related, and latency due to the propagation of optical fiber.

In this research, an analysis of the *Digitized* ROF system performance using NG-PON2 was performed based on Q-Factor, BER, and power at a transmission distance of 5 km to 40 km and compared to the performance of the *Analog* ROF system. The research began by designing an *Analog* ROF and *Digitized* ROF system that was integrated with the NG-PON2 network. The design that has been made will be simulated in the simulation software.

Based on the results of the analysis and simulation on the *Analog* ROF scenario with NG-PON 2 technology, the ideal Q-Factor and BER values are found at a distance of 15 km which is worth 7.8344 and  $5.35 \times 10^{-18}$  while at a distance of 20 km the value of Q-Factor and BER is 5.80821 and  $4.694 \times 10^{-09}$ . In the scenario of simulation Digitized by NG-PON2 ROF obtained Q-Factor and ideal BER at a distance of 25 to the value of the Q-Factor and its BER 7.70069 and  $6.406 \times 10^{-13}$  while at a distance of 30 km Q-Factor and its BER 6.86354 and  $5.832 \times 10^{-10}$ . Then from the results of performance analysis using distance parameters, *Digitized* ROF can reach a greater distance from *Analog* ROF.

**Keyword :** *Analog ROF, Digitized ROF, NG-PON 2, Optisystem*

## 1. Pendahuluan

Permintaan bandwidth selalu mengalami peningkatan yang luar biasa, studi terbaru memperkirakan bahwa pada tahun 2020 peningkatan trafik jaringan akan meningkat 1000 kali dibandingkan dengan jaringan yang ada saat ini. Layanan seperti *streaming video high definition, game online, machine to machine communications, cloud computing*, adalah contoh aplikasi yang memerlukan bandwidth yang besar. Penggunaan trafik disebabkan oleh meningkatnya jumlah perangkat yang terhubung melebihi populasi manusia. Rata-rata, dilaporkan arus trafik akan tumbuh 23% dari tahun 2013 sampai 2018, sedangkan trafik seluler akan memiliki pertumbuhan 61% untuk periode yang sama[1].

Untuk menangani permintaan trafik data dari jumlah pengguna data yang makin meningkat, maka diperlukan juga perencanaan jaringan pita lebar yang cukup matang dari segi frekuensi dan infrastruktur, peningkatan tersebut akan menurunkan kualitas jika tidak diiringi dengan penambahan infrastruktur, *bandwidth*, atau dengan melakukan *upgrade* teknologi. Perkembangan teknologi wireless frekuensi tinggi terkendala dengan jarak dan gangguan elektromagnetik, untuk mengatasi masalah ini teknologi dengan radio dengan serat optik mampu menjadi solusinya[3].

Teknologi *Passive Optical Network* (PON) dengan perkembangannya yaitu *Next Generation-Passive Optical Network 2* (NG-PON2) atau yang dikenal dengan *Time Wavelength Division Multiplexing-Passive Optical Network* (TWDM-PON) yang dikembangkan oleh *Full Service Access Network* dan ITU-T dengan *bitrate* 40 Gbps arah *downstream* dan 10 Gbps arah *upstream* dengan menggunakan 4 *stacking Optical line terminal* (OLT)[8]. Teknologi *Radio over Fiber* (ROF) dipandang sebagai solusi potensial untuk menyediakan bit rate yang tinggi dan mengurangi konsumsi energi, terutama *di base station*, dimana sinyal radio sendiri merupakan sinyal analog yang memiliki kekurangan dalam penerapan teknologi ROF atau disebut *Analog ROF* (AROF) karena rentan terhadap *nonlinearitas* dari komponen *microwave* dan optik yang digunakan mengakibatkan penurunan kualitas sinyal untuk transmisi jarak jauh dengan *bit rate* yang tinggi, dari masalah tersebut sinyal analog didigitalisasi atau dikenal dengan *Digitized ROF* (DROF) yang memudahkan integrasi dengan jaringan *broadband* saat ini dan masa mendatang karena performansi yang tinggi [5].

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Radio over Fiber (ROF)

ROF merupakan proses pengiriman sinyal radio melalui kabel serat optik. Pada sistem *mobile communication*, ROF menggunakan link serat optik untuk mendistribusikan frekuensi radio dari sentral (headend) ke *Radio Access Unit* (RAU) atau dikenal dengan *base station*, Pada *system mobile communication* yang menggunakan *Radio Over Fiber* dan juga kabel serat optik sebagai media transmisinya terdapat elemen utama yakni *Transmitter*, Kabel Fiber Optik dan *Receiver*. *Transmitter* yang dikenal juga sebagai sentral dengan segala aktivitas yang terdapat didalamnya seperti *coding, multiplexing* dan modulasi dilakukan. Lalu pada sisi *receiver* yang dikenal sebagai *base station* bekerja dengan menerima sinyal optik dari transmitter kemudian di konversi ke sinyal listrik untuk selanjutnya sinyal tersebut dapat ditransmisikan ke perangkat *mobile phone* melalui udara dengan menggunakan antenna. Kabel serat optik pada sistem ini berfungsi sebagai media transmisi yang menghubungkan *transmitter* (sentral) dan *receiver* [9].

Terdapat beberapa macam sistem ROF, diantaranya *Analog ROF* (AROF) dan *Digitized ROF* (DROF). *Analog ROF* merupakan sinyal transmisi radio berbentuk analog pada jaringan serat optik. Sementara *Digitized ROF* merupakan transmisi sinyal radio berbentuk analog yang dikonversi menjadi sinyal digital pada saat melalui link serat optik. Pada transmisi jarak jauh, sistem A-ROF mengalami penurunan daya sinyal informasi yang disebabkan oleh atenuasi dari serat optik, dispersi sinyal, dan *distorsi inter-modulasi* (IMD) yang disebabkan oleh *factor non linearitas* dari gelombang mikro dan komponen optis pada jaringan yang berkaitan [3]. Sedangkan *Digitized ROF* yang mengubah sinyal radio berbentuk analog menjadi sinyal digital memproses sinyal radio termodulasi hingga terdigitalisasi.

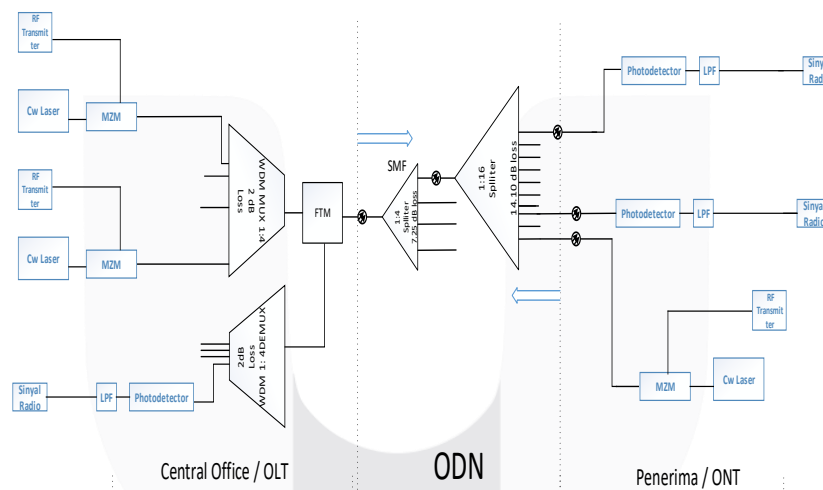
## 2.2 Next Generation-Passive Optical Network 2 (NG-PON2)

Teknik WDM, OFDM, dan TWDM telah dipertimbangkan selama perumusan standarisasi, TWDM sudah terpilih karena mendapat dukungan dari vendor global FSAN. Hal ini menaikkan kapasitas setidaknya 40 Gbps menggunakan *stacking* 4 XG-PON untuk *downstream* dan kapasitas 10 Gbps untuk *upstream*, yang artinya setiap satu *stacking* kanal OLT XG-PON mampu mentransmisikan bit rate sebesar 10 Gbps. PON kepanjangan dari *Passive Optical Network* yang mengandung perangkat pasif optik pada jaringan optik. Perangkat yang dimaksudkan adalah passive splitter, konektor dan kabel optik. Dengan adanya passive splitter kabel optik dibagi menjadi beberapa bagian dengan kualitas informasi yang sama[8]

## 3. Pembahasan

### 3.1 Model Sistem Analog ROF dengan NG-PON 2

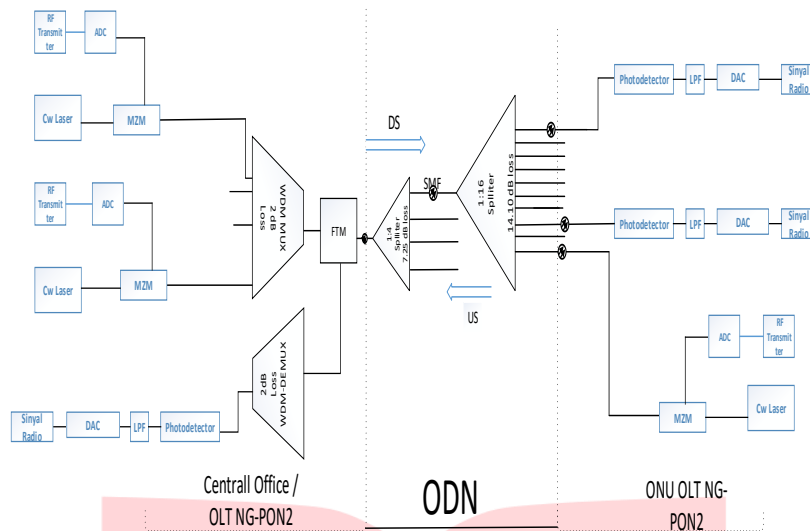
Rancangan sistem untuk *Analog ROF* dengan NG-PON2 dapat dilihat pada **Gambar 3.1** untuk sistem analog ROF dan **Gambar 3.2** untuk sistem *Digitized ROF* dengan NG-PON 2. Pada sistem *Analog ROF* menggunakan konfigurasi jaringan NG-PON 2, yang terdiri dari *transmitter* OLT dengan 4 *stacking* kanal mentransmisikan sinyal informasi dengan bit rate 10 Gbps/kanal, dimultiplexing menggunakan multiplexer menjadi 40 Gbps kemudian ditransmisikan menggunakan kabel Single Mode Fiber (SMF) dengan jarak mulai dari 5 km sampai dengan 40 km ditunjukkan pada **Gambar 3.1** kemudian dilakukan pembagian jumlah user dengan splitter pada blok *Optical Distribution Network (ODN)*, dan diterima pada penerima menggunakan photodetector pada *receiver*.



**Gambar 3.1** Rancangan sistem *Analog ROF* dengan NG-PON2[3]

### 3.2 Model Sistem *Digitized ROF* dengan NG-PON 2

Pada sistem DROF sama dengan AROF hanya menggunakan penambahan komponen Analog to Digital Converter (ADC) pada pengirim yang berfungsi untuk mengkonversi sinyal informasi analog ke sinyal digital kemudian sinyal tersebut dimodulasikan ke sinyal cahaya menggunakan Mach Zender Modulator (MZM) dan ditransmisikan dengan fiber optik dan setelah sampai pada penerima sinyal tersebut dikoversi ulang menggunakan Digital to Analog Converter (DAC) yang berfungsi untuk mengubah sinyal digital kembali menjadi sinyal analog seperti semula untuk mendapatkan sinyal radio awal transmisi.



Gambar 3.2 Rancangan sistem Digitized ROF dengan NG-PON2[3]

### 3.3 Spesifikasi Perangkat

Perangkat yang digunakan pada simulasi yang akan dilakukan membutuhkan data spesifikasi. Berikut spesifikasi perangkat yang digunakan pada penelitian ini:

Tabel 3.1 Parameter OLT NG-PON2[4][2]

No.	Parameter	Nilai
1	<i>Fkuensi Radio</i>	60 GHz
2	<i>Agregated bitrate</i>	40 Gbps
3	<i>Bitrate per channel</i>	10 Gbps
4	<i>Line code</i>	Scrambled NRZ
5	<i>Transmit power (downstream)</i>	4-9 dBm
6	<i>Transmit power(Upstream)</i>	3-8 dBm
7	<i>Channel Spacing</i>	100 Ghz
8	<i>Number of Channel</i>	4

Tabel 3.2 Karakteristik Komponen pada ODN[6]

No.	Komponen	Satuan	Redaman (dB)
1.	<i>SMF (G.652.D)</i>	Km	0.3
2.	<i>Konektor SC/UPC</i>	Buah	0.25
3.	<i>Sambungan</i>	Buah	0.10
4.	<i>Splitter 1:2</i>	Buah	3.70
5.	<i>Splitter 1:4</i>	Buah	7.25
6.	<i>Splitter 1:8</i>	Buah	10.38
7	<i>Splitter 1:16</i>	Buah	14.10

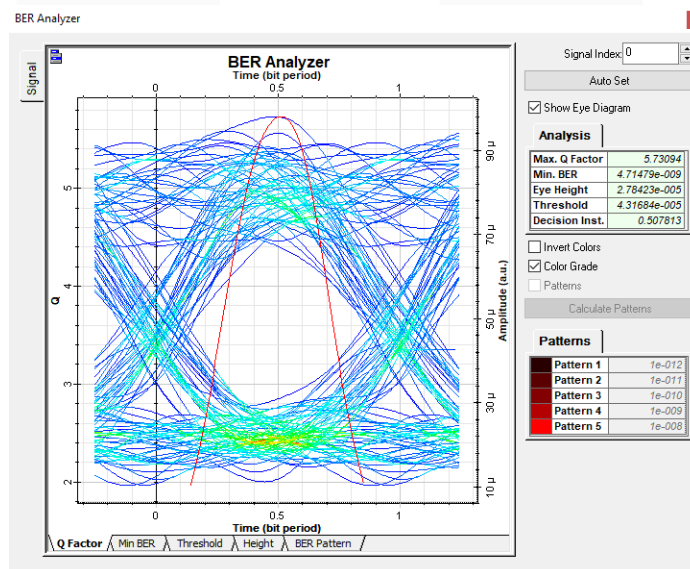
Tabel 3.3 Parameter Receiver[8]

No.	Komponen	Nilai
1.	Photodetector	APD
2.	Panjang Gelombang Tx	1270 Ghz
3.	Sensitivity	-28 dBm
4.	Filter type	Bessel
5.	Temperature	298 Kelvin
6.	Responsitivity	0.85 A/W
7.	Avalanched Gain	10
8.	Resistenace	50 Ohm
9.	Power	2 dBm – 7 dBm
10.	Ionization Ratio	0.45

#### 4. Analisis Hasil Simulasi Sistem

##### 4.1 Sistem Analog ROF dengan NG-PON 2

Pada skenario pertama dilakukan simulasi sistem Analog ROF dengan NG-PON 2, dengan menggunakan splitter 1:4 diasumsikan sebagai ODC dan 1:16 ODP sehingga mampu mengcover hingga 64 user, dengan jarak transmitter ke receiver mulai dari 5 km sampai 40 km.



**Gambar 4.1** Bentuk Eye Diagram, Nilai BER dan Q-Factor sistem Analog ROF dengan NG-PON 2

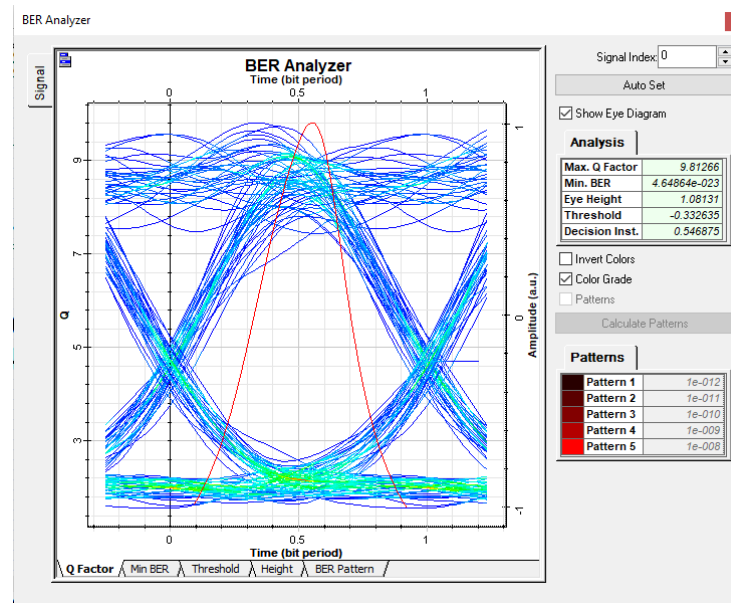
Pada gambar 4.1 pengukuran BER dan Q-Factor pada jarak 20 km yang dilakukan dengan menggunakan perangkat BER analyzer pada Software Optisystem didapatkan nilai BER sebesar  $4.7147 \times 10^{-9}$  dan Q-Factor sebesar 5.73094 yang berarti nilai tersebut diatas memenuhi nilai BER karena berada dibawah standar BER yakni  $10^{-9}$  dan berada diatas standar Q-Factor yakni diatas 6 serta Performansi yang baik juga ditunjukkan oleh diagram mata pada Eye diagram menunjukkan perbedaan yang jelas antara informasi bit "1" dan bit "0". Tinggi diagram mata dapat menunjukkan pengaruh noise adalah kecil, dan lebar diagram mata dapat menunjukkan pengaruh jitter terhadap gelombang pun kecil.

**Tabel 4.1** Nilai rata-rata Q-Factor, BER, dan Power Received hasil simulasi sistem Digital ROF dengan NG-PON 2

Jarak	LPB	Q-factor	BER
5	-18.26925	10.4042	2.658E-19
10	-19.59575	8.62662	6.55E-18
15	-21.265	7.8344	1.3174E-12
20	-23.6965	5.73094	4.7147E-09
25	-24.25425	4.94477	8.1907E-07
30	-26.765	4.13161	2.2587E-05
35	-28.4065	3.16962	7.5672E-04
40	-29.7155	1.9412	0.2533

#### 4.2 Sistem Digitized ROF dengan NG-PON 2

Pada skenario kedua dilakukan simulasi sistem *Digitized* ROF dengan NG-PON 2, dengan menggunakan splitter 1:4 diasumsikan sebagai ODC dan 1:16 ODP sehingga mampu mengcover hingga 64 user, dengan jarak transmitter ke receiver mulai dari 5 km sampai 40 km.

**Gambar 4.2** Bentuk Eye Diagram, Nilai BER dan Q-Factor sistem Analog ROF dengan NG-PON 2

Pada gambar 4.2 pengukuran BER dan Q-Factor pada jarak 20 km yang dilakukan dengan perangkat BER analyzer pada *Software Optisystem* didapatkan nilai BER sebesar  $2.92505 \times 10^{-23}$  dan Q-Factor sebesar 9.81266 yang berarti nilai tersebut diatas memenuhi nilai BER karena berada dibawah standar BER yakni  $10^{-9}$  dan berada diatas standar Q-Factor yakni diatas 6 yang berarti nilai Q-Factor dan BER pada DROF lebih baik daripada AROF pada jarak 20 km, dan lebih lengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.2 serta Performansi yang baik juga ditunjukkan oleh diagram mata pada *Eye diagram* menunjukkan perbedaan yang jelas antara informasi bit "1" dan bit "0". Tinggi diagram mata dapat menunjukkan pengaruh noise adalah kecil, dan lebar diagram mata dapat menunjukkan pengaruh jitter terhadap gelombang pun kecil. Maka dari itu, performansi sistem pada link optik ini dapat dikatakan memiliki noise yang telah teredam oleh adanya perangkat ADC.



**Tabel 4.2** Nilai rata-rata Q-Factor, BER, dan Power Received hasil simulasi sistem Digital ROF dengan NG-PON 2

Jarak	LPB	Q-factor	BER
5	-18.26925	17.3988	3.4503E-68
10	-19.59575	15.4075	6.0632E-54
15	-21.265	12.6084	1.2875E-37
20	-23.6965	8.89619	1.064E-19
25	-24.25425	7.4001	3.906E-14
30	-26.765	6.86354	5.832E-12
35	-28.4065	4.82216	6.763E-07
40	-29.7155	4.19775	0.00001205

## 5. Kesimpulan

Sistem *Analog* ROF dan *Digitized* ROF kedua sistem tersebut dapat diintegrasikan dengan jaringan akses optik NG-PON2 dengan 4 stacking kanal OLT sehingga menghasilkan *bit rate* 40 Gbps menggunakan frekuensi 187.539 THz -187.839 THz dengan spasi kanal sebesar 100 GHz yang ditransmisikan menggunakan *Single Mode Fiber* dengan jarak mulai dari 5 km sampai dengan 40 km, pada sistem *Analog* ROF hanya mampu menjangkau jarak sejauh 15 km dengan nilai Q-Factor sebesar 8.7386 dan BER  $6.55 \times 10^{-18}$  sedangkan untuk jarak 20 sampai dengan 40 km BER dan Q-actor yang dihasilkan tidak memenuhi standar maximal BER yakni  $10^{-9}$  dan minimal Q-Factor yakni 6, sedangkan pada sistem *Digitized* ROF dengan menggunakan NG-PON dengan penambahan komponen ADC dan DAC mampu menjangkau jarak sejauh 30 km dengan nilai Q-Factor sebesar 6.410278 dan BER  $5.832 \times 10^{-10}$  sedangkan untuk jarak 35 km BER nya bernilai  $2.863 \times 10^{-7}$  dan Q-Factor nya bernilai 5.073118 dan pada jarak 40 km BER nya adalah  $2.105 \times 10^{-5}$  dan nilai Q-actornya adalah 4.151892 yang nilai pada jarak 35 dan 40 km, telah berada dibawah nilai Q-Factor dan berada diatas standar BER.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cisco Systems, 'Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2012 – 2017', (February, 2013), pp. 1-34
- [2] ITU-T G.989.2, '40-Gigabit-Passive Optical Network 2 (NG-PON2): Physical Media Dependent (PMD) Layer Specification', 'ITU-T, 2014.
- [3] Rosinel S.Olivera, Diogo F.R.Viana, Mario Lima, Carlos R.L.Frances, Antonio Teixeira, Joao C.W.A.Costa. "Digital Radio over Fiber System in the NG-PON2 context." 2015 Journal of Microwaves, Optoelectronics and electromagnetics Applications. V14 No.512 September 2015.
- [4] Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya, Perangkat, dan Penyelenggaraan POS dan Informatika (2016), Wireless Gigabit untuk Komunikasi Pita Lebar.
- [5] Ng'Oma, A.: 'Radio-over-fiber technologies for multi-gb/s wireless applications', Optical Fiber Communication Conference and Exposition and the National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC), Anaheim, USA, March 2013, pp. 1- 3
- [6] Satya Prianggono, Analisis Performansi Optical Distribution Network (ODN) NG-PON2 menggunakan Teknologi Time and Wavelength Division Multiplexing (TWDM). Bandung: Universitas Telkom, 2016.
- [7] Sushank Chaudhary, Abhishek Sharma, 10 Gbps-60 GHz RoF Transmission System for 5G Applications, Journal of Optical Communications, Januari 2017.
- [8] Y. Luo, X. Zhou and F. Effenberger, TWDM-PON for Next-Generation Network PON Stage 2 (NG-PON2)," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 31, pp. 587-593, February 2013.
- [9] Affida M.Zein., Sena M.Idrus and Nadiatullah 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.