



ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA MULTIPLEXING LEVEL RF DENGAN LEVEL OPTIK PADA SISTEM ROF YANG MENGGUNAKAN TEKNIK MODULASI OPTIK EXTERNAL

Andika Hidayatullah¹⁾, Puji Laila Sukma²⁾, Dede Abdul Kholik³⁾, Agung Leowedi⁴⁾, Hafidh Tiftazani⁵⁾

^{1), 2), 3), 4), 5)} Teknik Elektro S1, Universitas Riau
Jl Bina Widya, 12,5 Simpang Baru 28293-Indonesia
Email : Puji.laila1028@student.unri.ac.id

Dikimkan: 24 November 2022

Direvisi: 27 Juli 2025

Diterima: 27 Juli 2025

Abstrak

Radio over Fiber (RoF) adalah generasi berikutnya dari teknologi akses internet broadband nirkabel. Ada radio dimodulasi menjadi cahaya oleh sinyal radio yang dihasilkan di stasiun pusat melalui sistem serat optik. Dan ditransmisikan ke setiap base station melalui kabel optik. Stasiun pangkalan harus diganti. Sinyal optik diubah menjadi sinyal listrik, diperkuat dan ditransmisikan. Sinyal RF dimodulasi ke Cahaya adalah fungsi utama dari sistem. Modulasi langsung dan eksternal yang digunakan dalam RoF sistem. Modulator eksternal adalah pilihan pertama untuk sistem RoF berkinerja tinggi karena ada banyak laba. Modulator Mach-Zehnder (MZM) adalah modulator eksternal serbaguna yang memungkinkan menarik untuk sistem radio serat optik. Dengan menggunakan kombinasi medan listrik yang berbeda, Modulator Mach-Zehnder dapat digunakan untuk menghasilkan modulasi fase, modulasi amplitudo atau banyak format modulasi lainnya. Berikut ini adalah simulasi dan studi eksperimental Radio over Fiber (RoF) menggunakan modulator Mach-Zehnder (MZM) sebagai modulator eksternal dilakukan. Jurnal ini menganalisis kinerja modulator dalam berbagai konfigurasi.

Kata kunci: Radio over Fiber, Modulasi Mach-Zehnder.

Abstract

Radio over Fiber (RoF) is the next generation of wireless broadband internet access technology. There radio is modulated into light by radio signals generated at the central station via a fiber optic system. And transmitted to each base station via optical cable. The base station must be replaced. The optical signal is converted into an electrical signal, amplified and transmitted. The RF signal is modulated to Light is the main function of the system. Direct and external modulation are used in RoF systems. External modulators are the first choice for high performance RoF systems because there are many advantages. The Mach-Zehnder Modulator (MZM) is a versatile external modulator that allows pulling for fiber optic radio systems. Using different combinations of electric fields, the Mach-Zehnder Modulator can be used to produce phase modulation, amplitude modulation or many other modulation formats. The following is a simulation and experimental study of Radio over Fiber (RoF) using a Mach-Zehnder modulator (MZM) as an external modulator. This paper analyzes the performance of the modulator in various configurations.

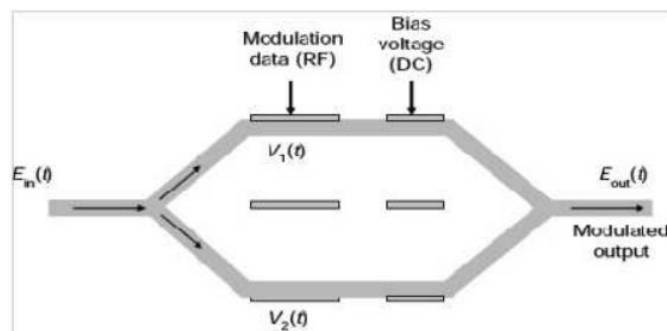
Keyword: Radio over Fiber, Modulator Mach-Zehnder.

PENDAHULUAN

Radio over fiber (RoF) adalah sebuah alat dalam proses pengiriman data informasi yang berbentuk sinyal radio melalui suatu media transmisi berupa kabel yang bernama serat optik. Sinyal yang ditransmisikan menggunakan jaringan optik dapat menjangkau lebih jauh dengan kualitas sinyal yang baik, dibandingkan dengan sinyal menggunakan transmisi udara. Hal ini dikarenakan *noise* atau redaman yang terdapat pada serat optik jauh lebih sedikit dibandingkan media media yang lain.

Pada sistem mobile communication, Radio over Fiber juga menggunakan jaringan serat optiknya untuk mendistribusikan frekuensi radio dari sentral ke remote antenna unit (RAU) atau dikenal juga dengan BTS. Pada sistem komunikasi yang menggunakan Radio over Fiber yang menggunakan kabel serat optik sebagai media transmisinya, terdapat beberapa elemen-elemen utama yakni Transmitter, Kabel Fiber Optik dan Receiver.

Modulator merupakan proses penumpangan sinyal pada media transmisi. Modulator optik yang sering digunakan pada sistem komunikasi serat optik adalah Mach Zehnder modulator (MZM). Mach Zehnder Modulator merupakan device yang terintegrasi dan dapat mendukung suatu jaringan serat optik agar menjadi lebih handal. Device tersebut memiliki kapasitas bandwidth yang besar. Device teut memiliki kecepatan pemodulasian sampai dengan orde giga. Mach Zehnder Modulator juga merupakan salah satu device elektro optik yang bekerja berdasarkan interferensi yang dihasilkan dari gelombang cahaya yang koheren. Gambar dibawah ini merupakan bentuk umum dari komponen Mach Zehnder Modulator :



MZM (William Shieh and Ivan Djordjevic, 2010)

Gambar 1. Modulator Mach Zehnder

Pada Mach Zehnder Modulator, gelombang cahaya terbagi 2 oleh coupler 3-dB sehingga menghasilkan gelombang yang sama besar dan sefasa. Pada lengan interaksi pertama diberikan tegangan listrik dengan tegangan yang berbeda-beda. Sehingga mengakibatkan suatu perpaduan antar dua gelombang yang menimbulkan interferensi. Fasa gelombang datang pada lengan pertama akan berbeda dengan fasa yang awal karena terjadi interferensi pada lengan modulator. Namun tidak hanya peristiwa interferensi yang menyebabkan perubahan fasa tetapi bahan penyusun juga menyebabkan perubahan fasa pada lengan berikutnya, gelombang akan kembali dipadukan dengan gelombang yang tidak diberi tegangan listrik. Namun kedua gelombang cahaya tidak lagi sefasa sehingga pada saat penggabungan akan terlihat intensitas yang berbeda pada keluaran. (Yunan Hutagaol, 2011).

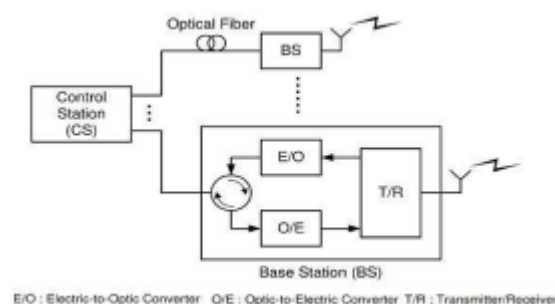
Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan kinerja multiplexing pada level RF dengan multiplexing yang dilakukan pada level optik untuk system RoF yang menggunakan modulasi optik external.

Sambungan serat optic komunikasi nirkabel dan sistem distribusi informasi. Beberapa konsep sistem Radio over Fiber (RoF) adalah telah dipelajari dalam beberapa tahun terakhir, masing-masing sangat menarik karena loss yang rendah dan sangat luas. Bandwidth yang dibutuhkan untuk layanan mobile broadband. Dan sistem seluler menggunakan radio melalui tautan serat dikantor pusat (CO) melayani beberapa Unit Antena Jarak Jauh (RAU). Dalam berbagai aplikasi ukuran sel seluler sangat kecil sehingga banyak RAU yang harus di install pada jaringan ini. Karena memerlukan RAU dalam jumlah besar, biaya jaringan peningkatan penyebaran dan operasi. Jadi tujuan utamanya adalah sistem komunikasi RoF mengurangi biaya RAU.

Dikerahkan dengan cara ini, biaya jaringan di masa mendatang adalah baik. Menyebarkan serat multimode (MMF) bisa mahal solusi efektif untuk sistem RoF diameter inti serat multimode jauh lebih besar dari serat tunggal modus serat. Karena rentang dinamisnya yang tinggi dan tidak tersamar (SFDR) persyaratan, RoF juga mendukung didalam ruangan aplikasi MMF Link mungkin sudah terpasang. Dalam hal ini biaya pemasangan dapat dihindari. Untuk aplikasi RoF dalam ruangan, jaraknya relatif pendek dan oleh karena itu, memilih MMF adalah pilihan yang masuk akal. Namun, transmisi sinyal di radio melalui tautan MMF bisa lebih buruk dibandingkan dengan nirkabel melalui tautan serat mode tunggal karena peningkatan efek dispersi modal yang terlihat pada MMF. Jaditugas utamanya adalah meningkatkan transmitansi kualitas di radio melalui system MMF dengan mengurangi dampak dari modal yang terdiversifikasi.

1. Radio over Fiber

Sistem Radio over Fiber (RoF) terdiri dari stasiun pusat yang terhubung ke sejumlah Base Station (BS) melalui serat optik. Sistem RoF secara umum dapat dilihat pada Gambar 1. Kantor pusat melakukan hampir semua pemrosesan sinyal, termasuk modulasi, demodulasi, dan perutean. Karena banyaknya BTS yang dikerahkan, BS dibuat sederhana secara fungsional. Base station mengubah sinyal optik menjadi sinyal nirkabel dan sebaliknya. Ini sangat mengurangi kompleksitas peralatan dan biaya pemeliharaan jaringan. Kompleksitas rendah, redaman rendah, biaya rendah, bandwidth lebar, dll. Ini adalah beberapa keuntungan dari sistem RoF.



Gambar 2. Sistem RoF

Penelitian sedang berlangsung di bidang modulasi cepat sumber laser di RoF. Modulasi pembawa optik dapat dilakukan dengan menggunakan laser termulasi langsung atau menggunakan modulator eksternal seperti modulator Mach-Zehnder (MZM) atau modulator penyerapan elektro (EAM).

Modulasi langsung berarti bahwa sinyal secara langsung memodulasi arus dioda laser. Keterbatasan modulasi langsung adalah penyebaran pulsa, kehilangan informasi, dan keterbatasan

bandwidth. Modulasi eksternal membutuhkan sumber laser yang tidak termodulasi dan modulator eksternal. Modulasi eksternal mahal dan kompleks, tetapi menawarkan kinerja yang lebih kuat daripada modulasi langsung.

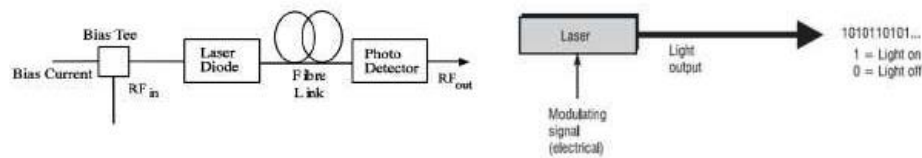
Dua modulator eksternal yang umum digunakan adalah modulator Mach-Zehnder (MZM) dan modulator penyerapan-elektro (EAM), masing-masing dengan prinsip operasi yang berbeda. Kinerja modulator Mach Zehnder dalam sistem Radio over Fiber dianalisis dalam jurnal ini.

2. Tipe Modulasi Optik

Secara umum, modulasi optis dibagi menjadi direct modulation dan eksternal modulation.

a. Direct Modulation

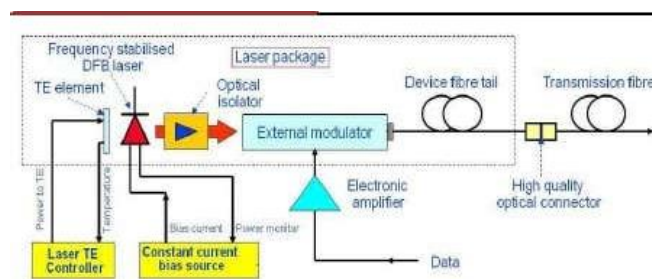
Pada Direct Modulation arus yang mengaktifkan sumber cahaya dinyalakan dan dimatikan secara langsung untuk merepresentasikan nilai “0” atau “1” sesuai dengan data sinyal. Walaupun dianggap sebagai teknik modulasi yang paling sederhana, direct modulation dapat menyebabkan berfluktuasinya panjanggelombang yang ditransmisikan atau yang biasa disebut dengan chirping. Chirping diakibatkan oleh dinyalakan dan dimatikannya sumber optis secara langsung yang berpengaruh pada bahan semikonduktor. Akibat dari efek chirping tersebut direct modulation tidak cocok untuk digunakan pada sistem transmisi jarak jauh atau sistem transmisi dengan bit rate yang tinggi.



Gambar 3. Skema Direct Modulation

b. Eksternal Modulation

Digunakan untuk sistem transmisi jarak jauh atau sistem transmisi dengan bitrate tinggi. Pada eksternal modulation, sumber optis memancar secara kontinyuan perepresentasian data sinyal dilakukan dengan perangkat modulator eksternal. Tergantung pada sifat bahan yang digunakan untuk memodulasi sinyal, Indirect modulation dibagi menjadi absorptive modulator dan refractive modulator.



Gambar 4. Skema Eksternal Modulation

METODE PENELITIAN

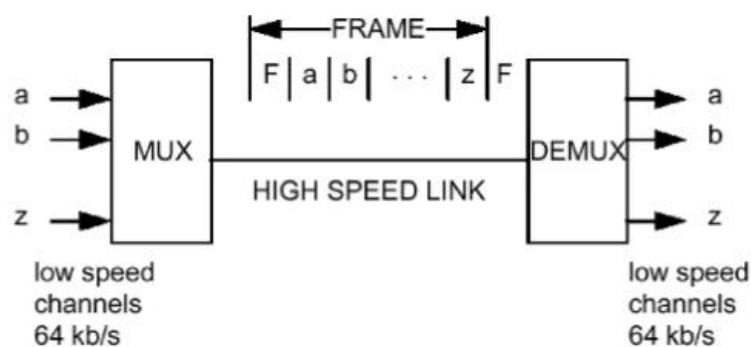
a. Multiplex pada Sistem RoF

Multiplex dapat dilakukan pada level RF maupun Optik. Multiplex pada level RF dilakukan dengan WDM (Wavelength Division Multiplexing) dan OADM.

a. WDM (Wavelength Division Multiplexing)

Revolusi penggunaan bandwidth yang besar dan pertumbuhan internet maupun komunikasi data lainnya mendukung membuat keterbatasan pada system 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 40 Gbit/s perkanal. Keuntungan dari penggunaan teknologi WDM ini adalah kapasitas kanal bisa bertambah pada system komunikasi serat optic 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.

WDM adalah suatu teknologi transmisi dalam system komunikasi serat optic yang memanfaatkan cahaya dari serat optic dengan panjang gelombang yang berbeda-beda untuk ditransmisikan secara simultan melalui serat optic tunggal. Jumlah panjang gelombang yang dapat di transmisikan 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.655 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 disperse kromatik lebih rendah (disperse optimal).



Gambar 5. multiplex pada level RF

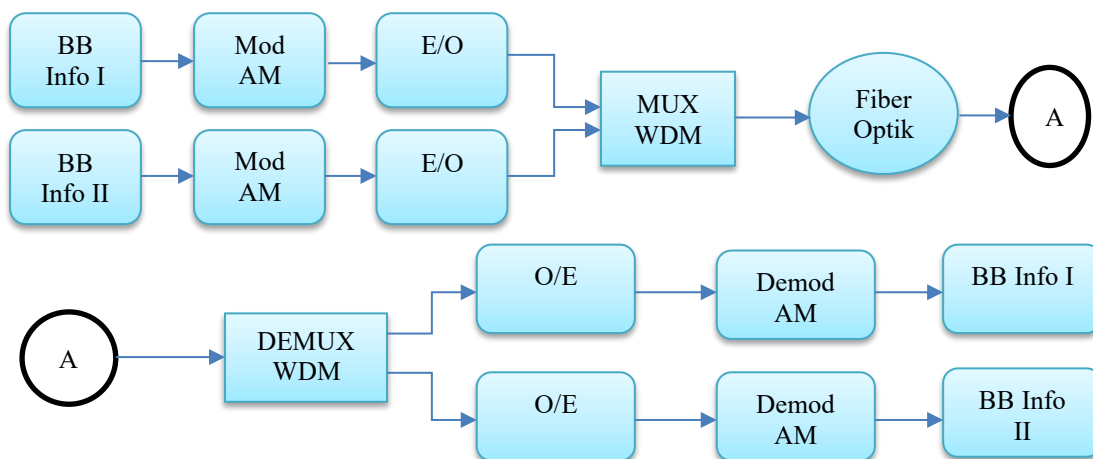
b. OADM

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 OADM ini adalah mempunyai

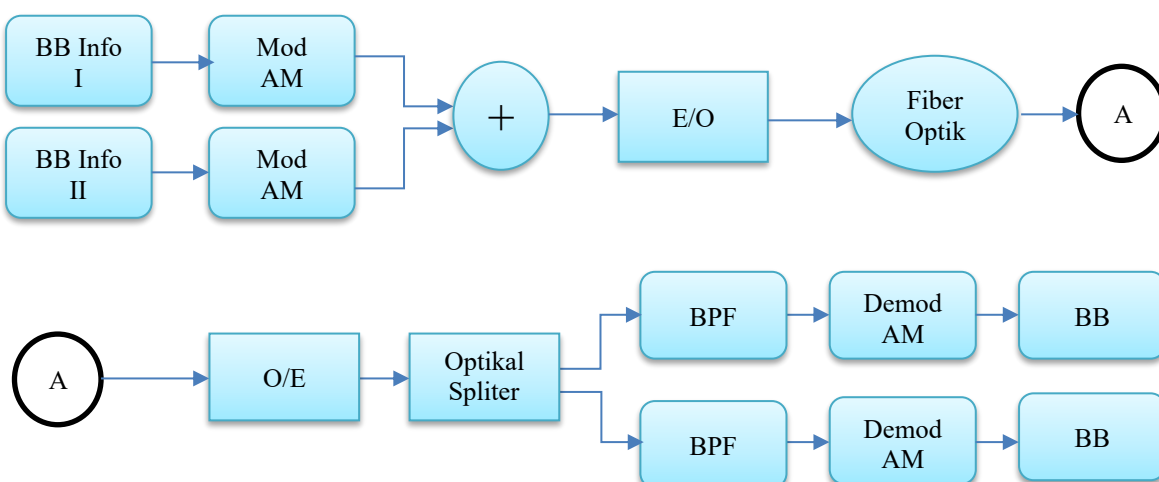
refleksi yang bagus, temperature yang stabil, narrow spectral band width dan low cost implementation. Add/Drop berfungsi untuk memilih panjang gelombang tertentu dari banyak panjang gelombang yang dilewatkan dalam suatu saluran optic kemudian menyalurkannya ke saluran optic lain. Dalam OADM terdapat beberapa perangkat pasif optic diantaranya FBG (Fiber Bragg Grating) dan circulator. Perangkat ini sangat fundamental dalam perancangan jaringan system komunikasi serat optic. 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 ke dalam OADM dimana dilakukan multiplex kembali. Dalam OADM tidak ada proses perubahan sinyal optic menjadi sinyal elektrik semuanya dilakukan pada spectrum panjang gelombang.

b. Gambar rangkaian yang akan di rancang

Dibawah ini merupakan gambaran dari rangkaian Optical Multiplexing dan RF Multiplexing yang akan di rancang pada software OptySystem.



Gambar 6. Rancangan rangkaian Optical Multiplexing



Gambar 7. Rancangan rangkaian RF Multiplexing

c. Simulasi

Pengukuran kinerja dalam penelitian ini dilakukan secara simulasi menggunakan software optisystem. Rangkaian simulasi dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9 Rangkaian terdiri atas beberapa komponen yang di jelaskan dalam table 1 sampai 17

Seting parameter untuk komponen yang digunakan dapat dilihat pada table 1 sampai 17

Table 1. Seting parameter Pseudo-Random Bit Sequence Generator 1

Name	Value	Units	Mode
Bit rate	Bit rate	Bit/s	Script
Operation mode	Order		Normal
Order	$\text{Log}(\text{Sequence length})/\text{log}$		Script
Mark probability	0.5		Normal
Number of leading zeros	$(\text{Time window} * 3 / 100)$		Script
Number of trailing zeros	$(\text{Time window} * 3 / 100)$		Script

Table 2. Setting parameter NRZ Pulse Generator 1

Name	Value	Units	Mode
Rectangle Shape	Exponential		Normal
Amplitude	1	a.u.	Normal
Bias	0	a.u.	Normal
Position	0	Bit	Normal
Rise time	0.05	Bit	Normal
Fall time	0.05	Bit	Normal

Table 3. Setting parameter Electrical Amplitude Modulator 1

Name	Value	Units	Mode
Frequency	10	Ghz	Normal
Gain	1	a.u.	Normal
Bias	0	a.u.	Normal
Phase	0	deg	Normal

Table 4. Setting parameter CW laser 1

Name	value	Units	Mode
Frequency	193.1	THz	normal
Power	5	dBm	normal
Linewidth	10	MHz	normal
Initial phase	0	deg	normal

Table 5. Setting parameter Mach-Zehnder Modulator 1

Name	Value	Units	Mode
Extinction ratio	30	dB	Normal
Negative signal chirp			Normal
Symmetry factor	-1		Normal

Table 6. Setting parameter Pseudo-Random Bit Sequence Generator 2

Name	Value	Units	Mode
Bit rate	Bit rate	Bit/s	Script
Operation mode	Order		Normal
Order	$\log(\text{Sequence length})/\log$		Script
Mark probability	0.5		Normal
Number of leading zeros	$(\text{Time window} * 3 / 100)$		Script
Number of trailing zeros	$(\text{Time window} * 3 / 100)$		Script

Table 7. Setting parameter NRZ Pulse Generator 2

Name	Value	Units	Mode
Rectangle Shape	Exponential		Normal
Amplitude	1	a.u.	Normal
Bias	0	a.u.	Normal
Position	0	Bit	Normal
Rise time	0.05	Bit	Normal
Fall time	0.05	Bit	Normal

Table 8. Setting parameter Electrical Amplitude Modulator 2

Name	Value	Units	Mode
Frequency	10	Ghz	Normal
Gain	1	a.u.	Normal
Bias	0	a.u.	Normal
Phase	0	deg	Normal

Table 9. Setting parameter CW laser 2

Name	value	Units	Mode
Frequency	193.1	THz	normal
Power	5	dBm	normal
Linewidth	10	MHz	normal
Initial phase	0	deg	normal

Table 10. Setting parameter Mach-Zehnder Modulator 2

Name	Value	Units	Mode
Extinction ratio	30	dB	Normal
Negative signal chirp			Normal
Symmetry factor	-1		Normal

Table 11. Setting parameter WDM 2x1_1

Name	Value	Units	Mode
Bandwidth	50	GHz	Normal
Insertion loss	0	dB	Normal
Depth	5	dB	Normal
Filter type			Normal
Filter order	2		Normal

Table 12. Setting parameter Optical Fiber_1

Name	Value	Units	Mode
User defined reference w			Normal
Reference wavelength	1550	Nm	Normal
Length	2	Km	Normal
Attenuation effect			Normal
Attenuation data type	Constant		Normal
Attenuation	0.2	dB/km	Normal
Attenuation vs. wavelengt	Attenuation.dat		Normal

Table 13. Setting parameter WDM 2x1_1

Name	Value	Units	Mode
Bandwidth	50	GHz	Normal
Insertion loss	0	dB	Normal
Depth	5	dB	Normal
Filter type			Normal
Filter order	2		Normal

Table 14. Setting parameter Photodetector PIN 1

Name	Value	Units	Mode
Responsivity	1	A/W	Normal
Dark current	10	nA	Normal

Table 15. Setting parameter Electrical Amplitude Demodulator 1

Name	Value	Units	Mode
Frequency	10	GHz	Normal
Phase	0	deg	Normal
Gain	1		normal

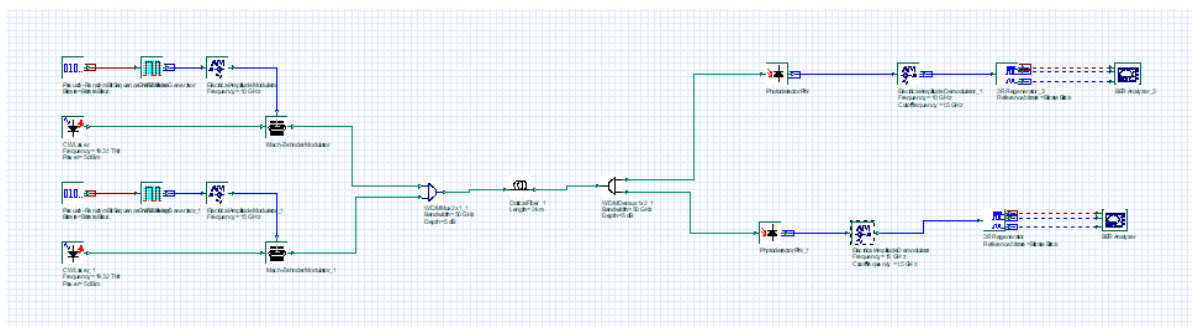
Table 16. Setting parameter Photodetector PIN 1

Name	Value	Units	Mode
Responsivity	1	A/W	Normal
Dark current	10	nA	Normal

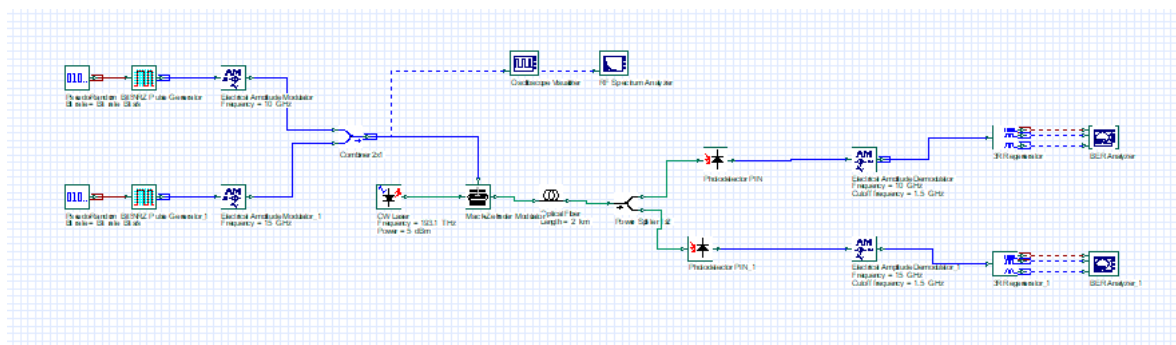
Table 17. Setting parameter Electrical Amplitude Demodulator 1

Name	Value	Units	Mode
Frequency	15	GHz	Normal
Phase	0	deg	Normal
Gain	1		normal

Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan kinerja sistem RoF yang menggunakan multiplex pada level RF dengan sistem RoF yang menggunakan multiplex pada level optik. Adapun modulasi optik yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe modulasi external menggunakan single drive MZM.



Gambar 8. Rangkaian percobaan Optical Multiplexing



Gambar 9. Rangkaian percobaan RF Multiplexing

Ada beberapa metode kompensasi dispersi modal, misalnya mengubah profil indeks bias serat, berlaku pra-distorsi atau pasca-distorsi. Apa yang berubah metode indeks bias menyamakan propagasi yang berbeda modal kecepatan serat. Aplikasi langkah demi langkah serat indeks (GI) adalah metode yang terkenal untuk mengurangi efeknya diversifikasi modal. Namun, serat indeks bergradasi adalah lebih mahal dari serat Step Index (SI). Di samping itu metode pra dan pasca distorsi tangan lebih kompleks ini karena memerlukan pemrosesan sinyal digital tambahan.

Dalam jurnal ini, struktur penerima diusulkan efek diversifikasi modal. dikompensasi oleh penerima namun, efek modal dalam domain optik tidak fokus pada penundaan mode, tetapi kurang jumlah mode. Idealnya, gunakan mode filter atau stripper pada input anda dapat mengurangi jumlah mode menjadi satu. Struktur penerima dapat dioptimalkan untuk radio yang dipasang di atas. Sistem serat multimode, karena dapat mengurangi modal didistribusikan tanpa mengubah jaringan optik. penerima ini

Dengan menerapkan struktur penerima ini, mode tingkat tinggi tersaring. Namun, ini akan mentransfer beberapa kekuatan. Karena ini adalah mode tingkat tinggi, pemfilteran mode menghasilkan

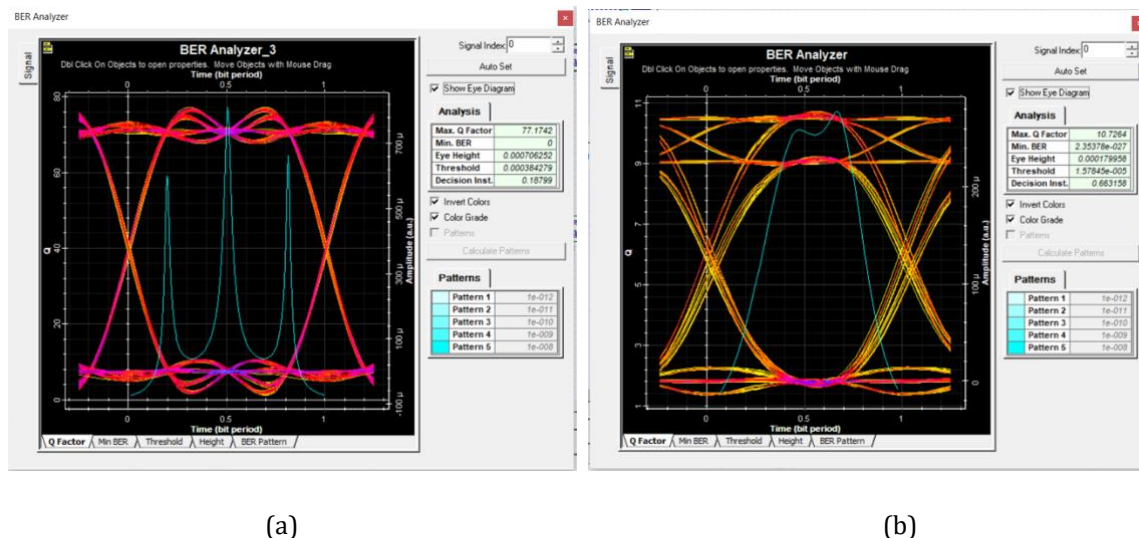
kehilangan daya dalam koneksi yang mengakibatkan signal-to-noise ratio reduksi (SNR). Jika penerima berisik pemfilteran mode dapat menimbulkan batasan komunikasi. Dalam hal ini, struktur penerima yang ditingkatkan dibuat dan diteliti untuk memecahkan masalah tingkat lanjut redaman mode filter. Metode penerimaan ini telah diuji dengan simulasi dan pengukuran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari metode serta perancangan rangkaian yang telah dilakukan pada software optisystem, maka di dapatkan hasil perhitungan parameter dari rangkaian tersebut, diantaranya adalah Q-Factor dan BER. Q-Factor adalah faktor kualitas yang akan menentukan bagus atau tidaknya kualitas suatu *link* WDM. Dalam sistem komunikasi serat optic khususnya WDM, minimal ukuran Q-Factor yang bagus adalah 6. Sedangkan BER (*Bit Error Rate*) adalah rasio perbandingan antara kesalahan atau kerusakan bit (*error*) dengan bit yang dikirimkan keseluruhan. Nilai BER yang bagus adalah 10^{-9} .

Dari kedua parameter tersebut, di dapatkan bahwa ketika dilakukan variasi bit rate dari 10 GHZ sampai bit rate yang tidak memenuhi standar, nilai dari Q factor akan semakin menurun ketika bit rate nya semakin besar. Sedangkan untuk nilai BER nya, ketika nilai bit rate nya semakin besar maka nilai BER nya akan semakin besar. Berdasarkan percobaan yang dilakukan pada software optisystem, dapat diperhatikan bahwa nilai Q-Factor dan BER yang paling optimum di dapatkan pada bit rate 10 GHZ. Seiring dengan meningkatnya bit rate, maka nilai Q-Factor dan BER juga semakin menurun, dimana pada bit rate 15 GHZ nilai Q-Factor dan BER sudah tidak memenuhi standar.

Hasil percobaan tersebut membuktikan bahwa pengaruh dari perubahan bit rate, akan memberikan dampak kepada parameter Q-Factor dan BER. Oleh karena itu, melalui percobaan ini dapat diberikan suatu kesimpulan bahwa untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam suatu sistem WDM-RoF dengan jarak 20km, maka dapat mempertimbangkan untuk menggunakan bit rate dengan rentang 10-15 GHZ. Semakin kecil nilai bit rate nya, maka akan semakin optimal parameter Q-factor dan BER yang dihasilkannya.



Gambar 10. (a) Hasil Q-Factor dan BER pada Bit Rate 10 GHZ; (b) Hasil Q-Factor dan BER pada Bit Rate 15 GHZ

KESIMPULAN

Radio over fiber merupakan suatu teknologi baru dalam transmisi yang mengintegrasikan teknik *wireline* dan *wireless*. *Radio over fiber* dapat memberikan *bandwidth* lebih lebar, atenuasi yang rendah, biaya yang lebih murah dan kekebalan terhadap interferensi frekuensi radio. *Sub carrier multiplexing* (SCM) merupakan teknik *multiplexing* yang digunakan pada RoF, dimana beberapa sinyal digabungkan menjadi satu dalam domain radio frekuensi dan ditransmisikan pada satu panjang gelombang.

Kesimpulan dari penelitian ini membuktikan bahwa pengaruh dari perubahan bit rate, akan memberikan dampak kepada parameter Q-Factor dan BER. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh nilai parameter kualitas Q-Factor pada Frekuensi 10GHz adalah 77.1742 dan pada frekuensi 15GHz adalah 10.7264. Untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam suatu sistem WDM-RoF dengan jarak 20km, maka dapat mempertimbangkan untuk menggunakan bit rate dengan rentang 10-15 GHZ. Yang dimana semakin kecil nilai bit rate nya, maka akan semakin optimal parameter Q-factor dan BER yang dihasilkannya.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Cseh, T., & Berceli, T. (2013, July). Improved receiver techniques for Radio over Multimode fiber systems. In *Proceedings of the 2013 18th European Conference on Network and Optical Communications & 2013 8th Conference on Optical Cabling and Infrastructure (NOC-OC&I)* (pp. 23-26). IEEE.
- [2] Almasoudi, F., Alatawi, K., & Matin, M. A. (2013). Study of OFDM technique on RoF passive optical network.
- [3] Thomas, V. A., El-Hajjar, M., & Hanzo, L. (2015). Millimeter-wave radio over fiber optical upconversion techniques relying on link nonlinearity. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(1), 29-53.
- [4] Yu, J., Huang, M. F., Jia, Z., Chowdhury, A., Chien, H. C., Dong, Z., ... & Chang, G. K. (2010, March). Arbitrary-frequency optical millimeter-wave generation for radio over fiber systems. In *2010 Conference on Optical Fiber Communication (OFC/NFOEC), collocated National Fiber Optic Engineers Conference* (pp. 1-3). IEEE.
- [5] Sathishkumar, A., Majji, S., Patnala, T. R., Karanam, S. R., Kumar, A., & Malyadri, M. (2022, May). Experimentation Methodology of Orthogonal Frequency Division Multiplexing Signals Process using Radio over Fiber (RoF) system. In *2022 International Virtual Conference on Power Engineering Computing and Control: Developments in Electric Vehicles and Energy Sector for Sustainable Future (PECCON)* (pp. 01-05). IEEE.
- [6] Shao, Y. F., Gui, L., Wang, S. K., Luo, Y. X., & Tan, Z. F. (2014). 60GHz Radio over Fiber System with 5Gb/s 32QAM-OFDM Downlink Signals Using Self-Mixing Homodyne Detection Technique. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 475, pp. 828-831). Trans Tech Publications Ltd.
- [7] Ynoquio Herrera, L. E., Leibel, R. G., Castro do Amaral, G., Urban, P. J., & von der Weid, J. P. (2018). Linearized electro