Analisis Unjuk Kerja Sistem 4-Qam Ofdm Rof yang Menggunakan Sistem Dithering untuk Mengatasi Efek Nonlinier

Eka Larasati Choerunisa[1], Fauza Khair [2]
Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro, Institut Teknologi Telkom Purwokerto
JL. D.I Panjaitan 128 Purwokerto Selatan 53116, Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia
14101050@st3telkom.ac.id

ABSTRAK – *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) merupakan teknik transmisi data dengan pembawa *multicarrier* dalam sinyal yang saling tegak lurus. OFDM dapat membawa data berkapasitas tinggi. *Radio over Fiber* merupakan *hybrid* teknologi yang menggabungkan teknologi sert optik dan gelombang radio. *Dithering* merupakan sebuah proses injeksi ke sinyal periodik untuk sistem linier dan nonlinier untuk mendapatkan tujuan yang digunakan untuk menambah karakteristik linier dari sistem *open*/*close*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis unjuk kerja OFDM-RoF dengan menggunakan *dithering* dengan teknik modulasi 4-QAM (*Quadrature Amplitudo Modulation).* Hasil simulasi menunjukan bahwa pengaruh besarnya daya pada CW *(Continous Wave) Laser,* pengaruh dari panjang fiber dan mempengaruhi *spectrum* sinyal, konstelasi sinyal, dan daya terima pada *receiver* secara signifikan. Secara analisis sistem yang telah disimulasikan memberikan hasil bahwa variasi daya masukan pada CW *Laser* dengan daya 8 memberikan hasil konstelasi sinyal yang baik. Namun pada nilai daya -8 dBm mengalami perubahan bentuk sinyal yang kurang baik. Hal ini dipengaruhi pada daya kecil, jika semakin panjang jarak dari fiber maka jarak *amplitude* juga semakin besar dan *noise* juga semakin sedikit terjadi. Daya *input* yang baik digunakan pada sistem yang telah disimulasikan ini adalah pada daya *input* besar yaitu 8 dBm.

Kata kunci : OFDM-RoF, *Dithering*, 4-QAM

ABSTRACT –*Orthogonal Frequency Division Multiplexing (on) is a data transmission technique with a carrier signal in multicarrier mutually perpendicular. On may bring high-capacity data. Radio over Fiber is a hybrid technology that combines the technology of sert optical and radio waves. Dithering is a process of periodic signal to the injectors to linear and nonlinear system to get the goal that used to add linear characteristics of open/close System. This research aims to analyze performance on-RoF using modulation technique with dithering 4-QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Simulation results indicate that the influence of the magnitude of the power on the CW (Continous Wave) lasers, influence of fiber length and affect the spectrum of the signal, the signal constellation, and the power received at the receiver in a significant way. In system analysis has been simulated results that the power variation of input Laser with CW power on 8 delivers the signal constellation. However, in the power-8 dBm value changes the shape of the signal. This influenced on small, if power is getting longer distance from the fiber then distance amplitude is also getting larger and also getting a little noise going on. Good input power is used on a system that has simulated the input power is in the big 8 dBm.*

Keyword :OFDM-RoF, Dithering, 4-QAM

I. PENDAHULUAN

Perkembangan yang sangat pesat terhadap penggunaan *mobile broadband end user* mendorong permintaan kapasitas yang meningkat secara eksposional, yang pada akhirnya memaksa pasar teknologi komunikasi bergerak ini harus bisa berkembang dan inovatif [1]. Serat optik erupakan teknologi yang dapat diandalkan dalam hal kecepatan dan kapasitasnya dalam pengiriman data atau informasi yang sangat cepat dan juga memiliki performansi yang sangat baik, namun pada serat optik memiliki beberapa kelemahan yang mempengaruhi kinerja transmisi seperti *absorpstion* atau penyerapan, *dispersion* atau dispersi, dan *scattering* atau hamburan [2].

Karakteristik nonlinier pada sistem OFDM *(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)*-RoF *(Radio over Fiber)* ini menjadi penyebab pergeseran frekuensi cahaya dan memiliki medan listrik yang tinggi pada transmisi *medium. Laser* memiliki sifat *Nonliniear Optics* (NLO), untuk operasi dasar dari laser menggunakan menggunakan beberapa mekanisme nonlinierseperti arus permulaan, emisi stimulasi, dan emisi spontan. Nonlinieradalah penguat serat optik yang berperan menyalurkan cahaya pada media

nonlinier. Nonlineritas merupakan hal penting pada area yang besar pada teknologi serat optik yang berdampak pada panjang gelombang, amplitudo, energi, dan fasa [3]. SBS atau *Stimulated Brillouin Scattering* penyebabnya adalah terjadinya hamburan cahaya pada optik dan solusinya yaitu menggunakan *dithering* [4]. OFDM *(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)* merupakan teknik yang memiliki frekuensi tegak lurus agar menghemat *bandwidth. Radio over Fiber* (RoF) adalah penggabungan dari radio dengan komunikasi serat optik agar memiliki kecepatan yang lebih tinggi. QAM *(Quadrature Amplitudo Modulation)* adalah teknik modulasi yang memiliki performansi yang lebih bagus. Sistem *dithering* adalah proses yang dapat menjadi solusi untuk memecahkan masalah *nonlinier* karena salah satu dari karakteristik *dithering* dapat digunakan untuk mempengaruhi perilaku dinamis dalam suatu sistem [5].

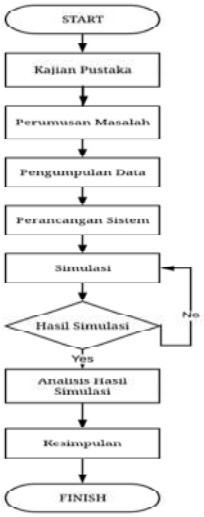
II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Alat Yang Digunakan

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan suatu pemodelan untuk mengetahui bagaimana cara kerja dari sistem *Orthogonal Frequency Division Multiplexing-Radio over Fiber* (OFDM-RoF) menggunakan sistem *dithering*. Dengan kecepatan *bit rate* yang lebih tinggi yaitu 40 Gbps, diharapkan dapat menghasilkan daya keluaran yang baik dan bagus untuk digunakan pada jarak 100 km. variasi nilai *input* dari -8 dBm, -4 dBm, -2 dBm, 0 dBm, 2 dBm, 4 dBm, 8 dBm.

Penelitian ini menggunakan laptop/PC, *software OptiSystem*, *software* MATLAB.

B. Alur Penelitian

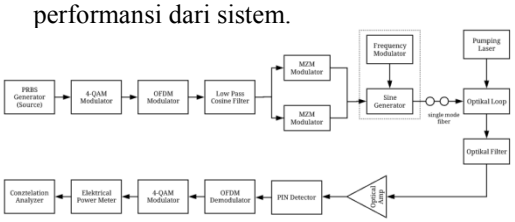


Gambar 1. Alur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan meninjau kajian pustaka untuk menemukan konsep dari suatu permasalahan penelitian pustaka yang telah ada sebelumnya. Kajian pustaka ini dilakukan untuk menemukan kelebihan dan kekurangan yang dapat dianalisis untuk penelitian selanjutnya dan menjadikan kajian pustaka tersebut sebagai acuan. Tujuan dari kajian pustaka yaitu untuk membedakan penelitian dari beberapa yang pernah dilakukan dengan penelitian sebelumnya baik dari segi metode, parameter, simulasi, serta analisis dari perancangan sistem.

Perumusan masalah dilakukan setelah mendapat gagasan dari kajian pustaka yang telah dilakukan. Dalam perumusan masalah dilakukan dengan meninjau pustaka untuk menemukan permasalahan yang akan dianalisis. Tujuan dari perumusan masalah yaitu untuk menentukan permasalahan pada penggunaan *Orthogonal Frequency Division Multipexing* (OFDM) *Radio over Fiber* (RoF) menggunakan sistem *dithering* yang akan menjadi acuan untuk perancangan sistem, analisis hasil penelitian, serta kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

Perancangan sistem dilakukan dengan melakukan peletakan simulasi OFDM-RoF QAM pada sistem *dithering.* Analisis perancangan sistem dilakukan terhadap hasil simulasi yang telah didapatkan untuk mengetahui prformansi dari sistem. Analisis ini berdasarkan dari rumusan masalah yang didapatkan dari sistem OFDM-RoF. Penarikan kesimpulan dilakukan untuk mendapatkan jawaban dari rumusan masalah. Kesimpulan didapatkan dari suatu hasil data yang dilakukan pada simulasi sehingga dapat diketahui performansi dari sistem.

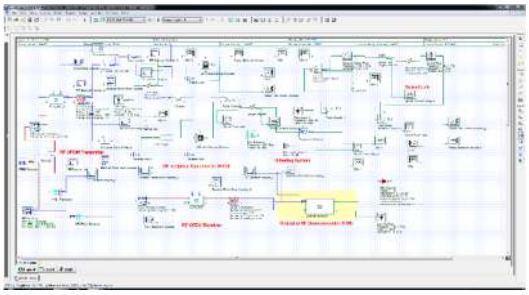


Gambar 2. Blok diagram sistem.

III. HASIL PENELITIAN

Pada bab III ini membahas tentang hasil data yang merupakan tahap selanjutnya setelah tahap perancangan sistem. Bab ini akan dilakukan pengujian untuk mengetahui cars kerja dari sistem.

A. Hasil Perancangan Sistem.



Gambar 3. Rancangan Sistem

Perancanga sistem pada gambar diatas Perancangan sistem OFDM-RoF menggunakan Teknik *dithering* OFDM dengan polarisasi QAM, melalui penelitian ini diharapkan dapat menganalisis unjuk kerja OFDM-RoF pada daya input dan jarak.

Parameter yang diambil datanya yaitu OFDM *Output, amplifier* dan *filtering,* optikal fiber, *dithering, spectrum analyzer,* MZM *Modulaton,* CW *Laser*

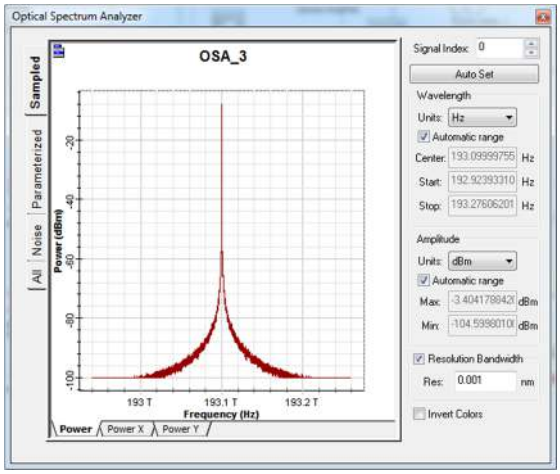
IV. PEMBAHASAN

Pada pembahasan kali ini akan membahas hasil data yang sudah diambil pada sistem.

A. Pengaruh Jarak atau Pengaruh Daya Terhadap Unjuk Kerja Sistem berdasarkan *Spectrum Analyzer.*

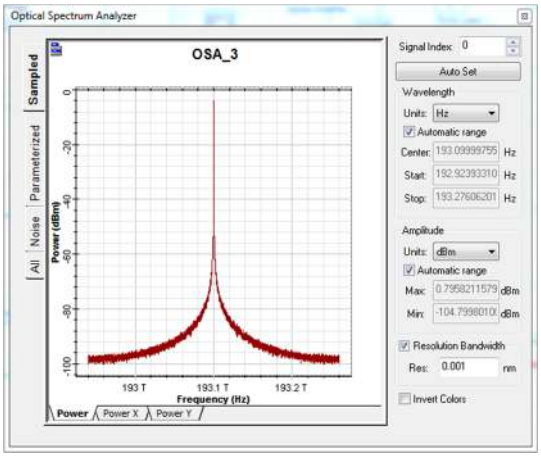
Pada suatu desain awal suatu jaringan telah ditentukan daya sumber optik yang dikopel ke saluran dan daya terima minimum yang diperlukan agar suatu sinyal dapat diterima dengan baik. Dengan melakukan perancangan jaringan dari segi menentukan jarak antara pengirim dan penerima dan juga terhadap daya yang dimasukan.

Berikut adalah hasil *spectrum analyzer* pada daya masukan yang diberikan pada CW *Laser* seperti yang ditunjukan pada gambar 2 dibawah ini :



Gambar 4. *Spectrum Analyzer* dengan daya -8 dBm.

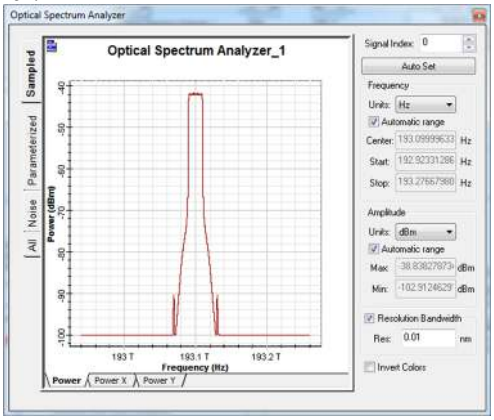
Pada gambar 2, daya masukan yang diberikan pada sistem dan pada CW *Laser* adalah sebesar -8 dBm. Setelah daya dikirimkan melalui mekanisme *up converter* (E/O) pada modulator LiNb-MZM daya yang terkirim pada modulator menjadi berkurang dan mengalami pelemahan menjadi -29,962 dBm. Dapat dilihat pada gambar diatas garis tengah yang memiliki range paling tinggi merupakan frekuensi yang digunakan yaitu 193.1 THz.



Gambar 5. *Spectrum Analyzer* dengan daya -4 dBm.

Gambar *spectrum* sinyal diatas menujukan perubahan bentuk sinyal dari *spectrum* sinyal dan CW *Laser* sebelumnya. Dari sisi *range noise* yang terjadi semakin keatas akan semakin besar yang dapat mempengaruhi performa dari *spectrum* sinyal yang dihasilkan.kemudian panjang *peak* semakin tinggi juga hingga mendekati nol. Peristiwa ini dipengaruhi karena daya yang dinaikan pada CW *Laser* semakin besar dari nilai daya yang sebelumnya. Semakin besar daya yang dinaikan maka sinyalnya dan juga *range noise* akan semakin tinggi.

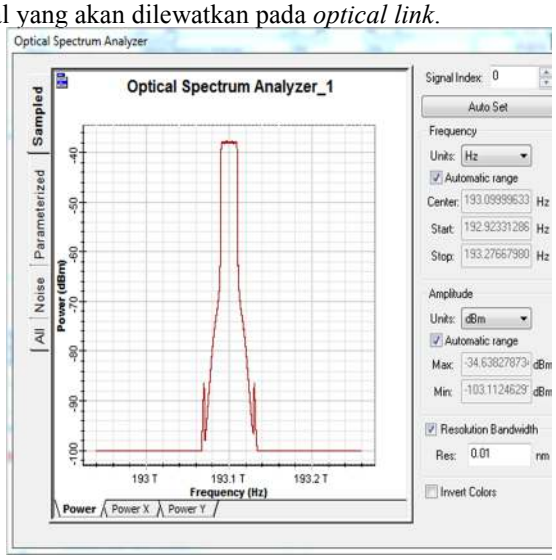
Dibawah ini adalah hasil dari *spectrum* sinyal yang dihasilkan pada MZM *Modulator* yang keluarannya ditunjukan pada *Optical Spectrum Analyzer.*



Gambar 6. Keluaran *Spectrum Analyer* pada *modulator* MZM dengan daya -8dBm

Pada gambar 4. diatas dapat diihat sinyal keluaran *spectrum* dari MZM *modulator* yang bekerja pada panjang gelombang transmisi 193.1 THz. Daya yang digunakan pada sistem diatas adalah -8 dBm yang menunjukan panjang dari *spectrum* pada bagian *power* adalah sebesar – 29,962 dBm dengan jarak *peak* yang sedikit. Jika dilihat dari *Range,* frekuensinya terlihat jarak yang tidak begitu lebar atau dapat diartikan bahwa *noise* yang didapatkan sedikit. *Modulator* MZM dengan sistem modulasi eksternal pada teknologi *over fiber*

pada saat ini lebih unggul karena bentuk modulasinya memiliki performa terbaik.Pada sistem ini menggunakan dua buah MZM *modulator* dimana berfungsi untuk penguatan dari kualitas sinyal yang akan dilewatkan pada *optical link*.

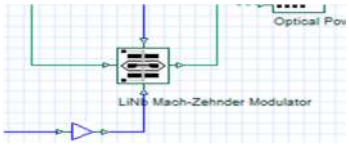


Gambar 7. Keluaran *spectrum analyzer* pada *modulator* dengan daya -4dBm.

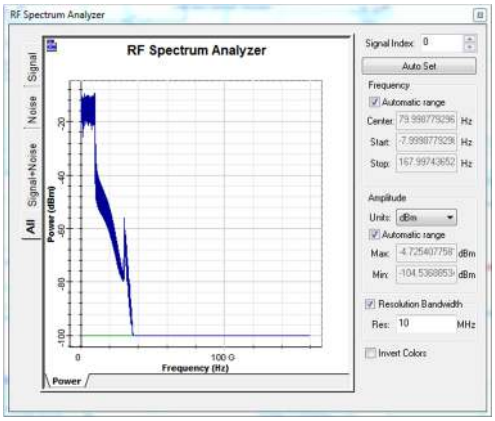
Gambar diatas menunjukan hasil dari *spectrum* pada *modulator* dengan daya masukan adalah -4 dBm. Jika dilihat dari gambar sebelumnya yaitu dengan -8 dBm, pada hasil gambar diatas menujukan bentuk *spectrum* dari gambar ini *spectrum* sinyal sebelumnya. Perubahan pertama dilihat dari bentuk *spectrum* sinyal yang semakin tinggi dengan nilai pada *power*-nya adalah sebesar -28 dBm. Perubahan dari nilai ini terjadi karena perubahan daya masukan yang semakin besar CW *Laser* yang akan mempengaruhi sinyal yang dihasilkan. Terlihat dari *range spectrum* sinyal pada bagian frekuensi bahwa ada *noise* yang ikut mempengaruhi sinyal dari perubahan daya yang dilakukan. Untuk itu sinyal sebelum masuk kebagian *modulator* dilakukan suatu penguatan dengan menggunakan gain, sehingga keluaran sinyal selalu baik walaupun daya yang dimasukan semakin besar.

Level bit modulasi yang digunakan pada modulasi 4 QAM ini adalah 2 *bit* per *symbol* dan memiliki fase 90° pada masing-masing simbol.

Bagian keluaran dari masing-masing *optical modulator* digunakan dengan menggunakan *optical power combiner* sebagai sinyal optik yang akan dilewatkan. Selain itu bagian ini juga dilengkapi penguatan dengan E/O *gain* sebagai kompensasi terhadap gangguan *noise* yang akan menguatkn dari daya yang dikirimkan kebagian selanjutnya dibawah ini.



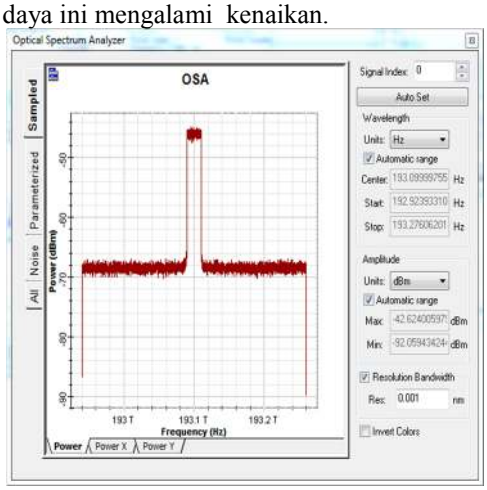
Gambar 8. *Electrical Gain* pada *Modulator*



Gambar 9. *Spectrum Anlyzer* pada *Optical Amplifier*

Dapat dilihat dari gambar diatas yaitu bentuk dari *spectrum* sinyal yang dhasilkan pada bagian *Optical Amplifier*. Terlihat dari bentuk *spectrum* sebelumnya memiliki hasil *spectrum* yang berbeda setelah dayanya naik kembali. *Optical Amplifier* yang digunakan pada bagian ini berfungsi sebagai penanganan untuk menghindari *loss* sinyal yang terjadi pada pengiriman setiap sinyal yang dilakukan.

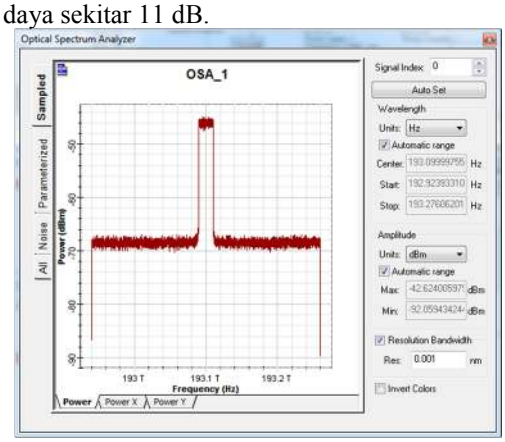
Setelah sinyal keluaran dari *optical amplifier* dikirimkan kemudian sinyal tersebut masuk pada bagian *Optical Link* yang didalamnya diproses dan pada bagian ini terdapat beberapa penggabungan. Daya yang dikirimkan oleh *optical amplifier* kemudian masuk pada *optical fiber* sebesar -26,640 dBm. daya ini mengalami kenaikan.



Gambar 10. *Spectrum Analyzer* pada *Optical Fiber*.

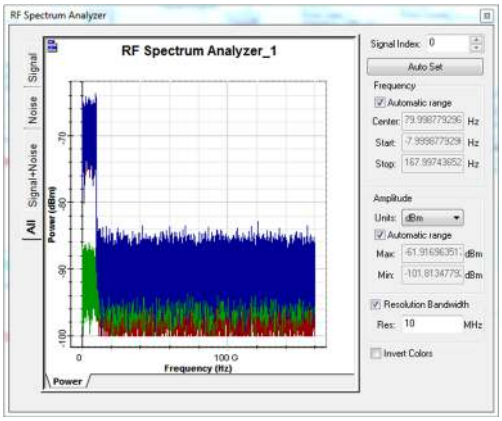
Pengukuran selanjutnya dilakukan pada bagian *Loop Control*. Tahapan ini adalah bagian dari *optical link* yang fungsinya sebagai tempat untuk memvariasikan panjang fiber optik yang digunakan dalam simulasi analisis ini. Keluaran nilai *spectrum* yang dihasilkan pada bagian ini mengalami penurunan daya dari hasil yang sebelumnya. Hal ini dikarenakan oleh *noise* yang didapatkan sangatlah besar yang membuat nilai dan hasil dari *spectrum* sinyal tidak baik. Hasil daya yang diterima dari *loop control* adalah -22.640 dBm

dilihat dari nilai keluaran pada *optical power meter*. Jika diperlihatkan dari daya yang dikirimkan sebelumnya yaitu daya pada *loop control* menjadi naik daya sekitar 11 dB.



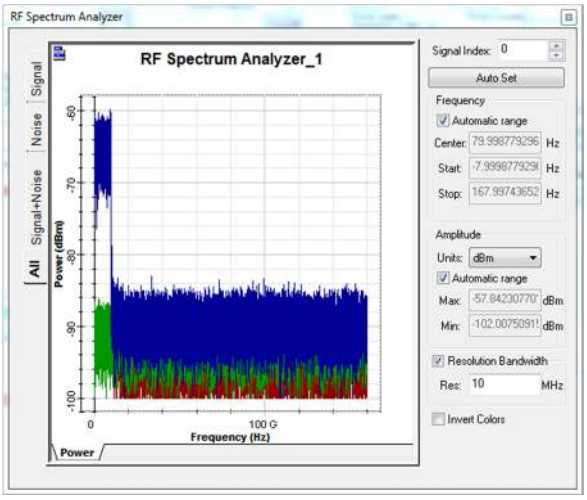
Gambar 11. *Optical Spectrum Analyzer* pada *Loop Control.*

Setelah memvariasi panjang fiber pada bagan *loop control,* sinyal yang dari *optical link* ditransmisikan dengan mengalami pengubahan menjadi mekanisme *down-converter* pada bagian OTR *(Optical to Link Downcoverter).* Sinyal yang dikirimkan sebelumnya mengalami filterisasi pada bagian *loop control* yang dapat dilihat pada bentuk dari *spectrum* sinyalnya, bahwa *range noise* yang dihasilkan sebelumnya pada bagian *optical* fiberjauh lebih besar dari hasil yang didapatkan setelah dilakukan filter pada bagian *loop control.* Bagian *loop control* ini juga ditambahkan penguatan untuk memberikan hasil yang baik pada sinyal yang dikirimkan. Bagian ini diproses pada sistem *coherent detection* yang digunakan sebagai teknik pendeteksian dalam sisten analisis RoF ini. Teknik pendeteksian ini memiliki dua *photodetector* yaitu PIN. Nilai daya pada *photodetector* yang dihasilkan adalah dengan nilai sebesar -38,938 dBm dan daya ini adalah daya yang telah di *down converter.*



Gambar 12. *Spectrum Analyzer* pada *Photodetector* PIN dengan daya -8 dBm.

Berdasarkan pada gambar 12. diatas , menunjuka hasil dsri bentuk yang *spectrum* sinyal yang diterima oleh *Photodetector.* Dari bentuk sinyal tersebut terlihat ada 3 jenis bentuk sinyal yaitu berwarna biru adalah *signal+noise* spektrum, yang berwarna merah adalah sinyal yang diterima dan warna hijau adalah *noise* yang muncul. Dari gambar tersebut sinyal yang diterima dinyatakan kurang baik karena masih ada gangguan *noise.* Teknik penggabungan pada sinyal pada *photodetector* ini adalah dengan menggunakan teknik *multipexing* yang fungsinya adalah sebagai penggabungan dari beberapa sinyal menjadi satu jalur untuk dikirimkan ke suatu kanal transmisi. Contoh sinyal diatas menunjukan performansi yang kurang baik dikarenakan *noise* dengan daya yang digunankan adalah -8 dBm dengan panjang fiber 100 km.



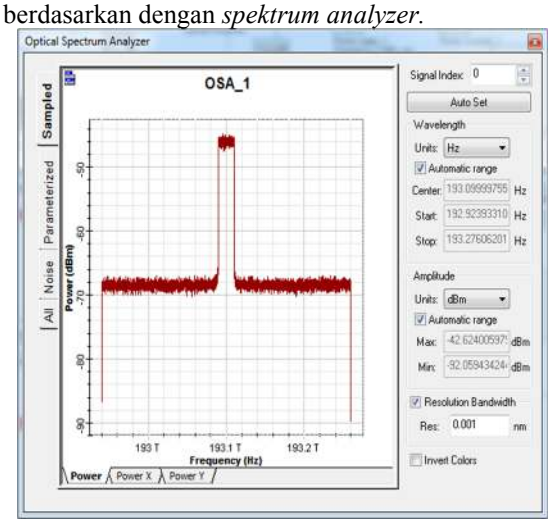
Gambar 13. *Spectrum Analyzer* pada *Photodetector* PIN dengan daya -4 dBm.

Hasil dari bentuk *spectrum* yang ditunjukan pada gambar diatas memberikan informasi yang berbeda dari hasil sebelumnya. Dalam gambar ini menunjukan perubahan dari bentuk *spectrum* sinyal. Dari hasil *spectrum* sebelumnya bahwa nilai yang dihasilkan pada sinyal adalah -78 dBm, sedangkan pada bagian ini sinyal menjadi naik dengan nilai sebesar -60. Hasil ini memberikan perubahan yang baik pada sinyal dilihat dari penguatan daya masukan yang dilakukan. Pada bagian *photodetector,* jika daya daya input yang diberikan semakin besar maka hasil dari pada sinyal yang dihasilkan semakin tinggi. Namun sangat berkebalikan.

Tabel 1. Nilai dari *Optical Power Meter* dan *Electrical Power Meter* pada -8 dBm

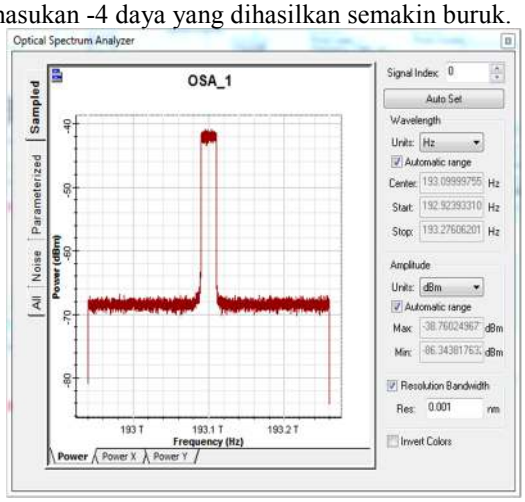
OFM dan EPM	Nilai Daya (dBm)
Daya pada *input* CW Laser	-8
Daya keluaran pada LiNb-MzM *Modulator*	-29,962
Daya keluaran pada *Photodetector* PIN	-38,938
Daya keluran pada *Optical Amplifier*	-57,059
Daya keluaran pada *Optical Fiber*	-22,640
Daya keluaran pada *Dithering*	-22,640

Pada gambar dibawah ini merupakan hasil pengukuran pada sistem *Dithering* yang berdasarkan dengan *spektrum analyzer*.



Gambar 14. *Spectrum Analyzer* pada *Dithering* dengan daya -8 dBm.

Pada hasil diatas daya yang dihasilkan adalah -22,640 dBm, karena semakin besar daya akan semakin bagus, sedangkan semakin kecil daya yang dihasilkan maka akan semakin buruk. Pada daya masukan -4 daya yang dihasilkan semakin buruk.



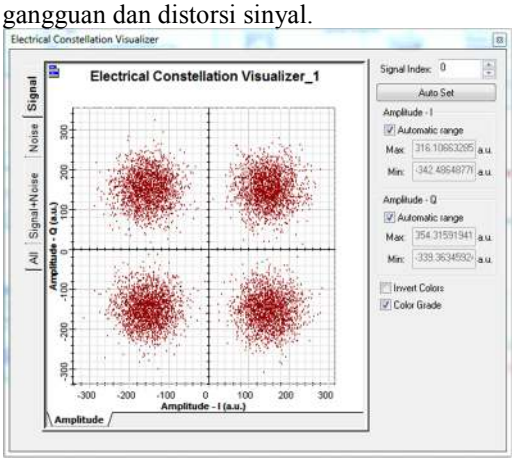
Gambar 15. *Spectrum Analyzer* pada *Dithering* dengan daya -4 dBm.

Tabel 2. *Spectrum Analyzer* pada *Dithering*

Daya Pada CW *Laser* (dBm)	**Daya *Output Dithering* jarak 100 Km (Hz)**
-8	-22,640
-6	-21,081
-4	-19,386
-2	-17,590
0	-15,723
2	-13,810
4	-11,865
6	-9,901
8	-7,923

B. Unjuk Kerja Sistem Berdasarkan diagram konstelasi

Konstelasi sinyal adalah representasi dari sinyal dimodulasi oleh skema modulasi digital seperti *Quadrature Amplitudo Modulation* (QAM) atau *Phase Shift Keying* (PSK), ini mewakili simbol-simbol yang dapat dipilih oleh skema modulasi yang diberikan titik dibidang kompleks. Ukuran konstelasi sinyal dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis gangguan dan distorsi sinyal.

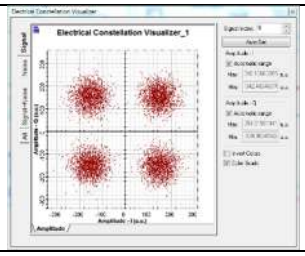


Gambar 16. Bentuk Konstelasi *Output* Konstelasi Sinyal 4-QAM

Dari gambar diatas menunjukan bentuk sinyal konstelasi dari 4-QAM yang memiliki 2 bit per *symbol* pada setiap level sinyalnya. Modulator MZM dengan sistem modulasi eksternal pada teknologi *radio over fiber* pada saat ini *lebih unggul* karena bentuk modulasinya memiliki performa terbaik. *Level* bit modulasi yang digunakan pada modulasi 4-QAM.

C. Pengaruh daya input -8, -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, dan 8 dBm terhadap Konstelasi Sinyal Dengan Panjang Fiber 100 Km

Tabel 3. Gambar *Output* konstelasi sinyal untuk variasi daya pada panjang fiber 100 km.

Power (dBm)	*Output Signal Constelation*
	100 Km
-8	

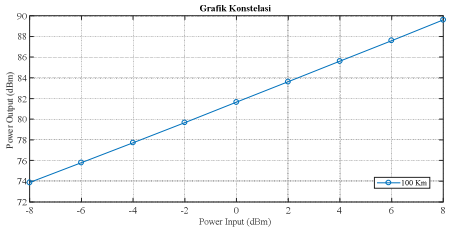
Tabel 4. Nilai *Electrical Power Meter* pada konstelasi sinyal dengan variasi daya dengan panjang fiber 100km.

Trasmitted Power (dBm)	*Electrical Power Meter Signal Constelation*
	100 km
-8	-29,962
-6	-27,962
-4	-25,962

-2	-23,962
0	-21,962
2	-19,962
4	-17,962
6	-15,962
8	-13,962

Dilihat dari nilai *power meter* yang ditunjukan pada tabel memberi suatu kesimpulan bahwa setiap perubahan daya masukan terhadap panjang dari fiber optis memiliki perbandingan nilai yang berbeda-beda.

Dibawah ini menunjukan grafik perbandingan dari performansi sistem terhadap perubahan daya *input* terhadap panjang fiber 100 KM.



Gambar 17. Grafik Nilai Konstelasi Sinyal Terhadap Perubahan Daya.

Grafik Konstelasi sinyal yang ditujukan oleh gambar 4.10 adalah perubahan *spectrum sinyal* yang terjadi berdasarkan dari variasi daya terhadap panjang fiber bentuk dari grafik merupakan jarak 100 Km dengan variasi inputan daya -8, -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, dan 8 dBm. Pada grafik tersebut terlihat bahwa nilai dari *power meterkonstelasi* terus berubah naik dari nilai sebelumnya. Perubahan tersebut mempengaruhi hasil dari bentuk spektrum sinyal pada konstelasi

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil simulasi sistem model jaringan OFDM-RoF dengan Modulasi 4-QAM yang menggunakan *dithering* dengan variasi daya input -8, -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, dan 8 dBm dengan jarak 100 km menunjukan bahwa :

Dapat diketahui bahwa semakin besar daya *input* maka semakin bagus sinyalnya.Daya *input* yang baik digunakan pada sistem ini adalah 8 dBm.

B. Saran

Adapun saran yang penukis berikan dari hasil penelitian analisis tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

Diharapkan dapat menggunakan variasi jarak lebih banyak lagi dan disahakan teliti dalam pengambilan data pada *Software OptiSystem.*

DAFTAR PUSTAKA

[1] S. M. R. M. H. H. W. P. N. Z. G. S. R. P. A. H. G.-k. C. T. Kanesan, "Spectral Shape Impact of Nonliniear Compensator Signal in LTE-RoF System," Vols. 27, No 23, p. 2481, 2015.

[2] S. H. P. I. W. M. A. S. Fakhriy Hario, "Mitigate Nonlinear Impact of Optical Fiber," 2017.

[3] I. W. M. A. S. S. H. S. M. I. Fakhriy Hario, "A Novel Scheme for Orthogonal Frequency Division Multiplexing-Radio over Fiber Based on Modulator and Dithering Technique : Impact of Self Phase Modulation and Group Velocity Dispersion," p. 117, 2017.

[4] W. P. N. Z. G. C. L. Thavamaran Kanesan, "Investigation of Optical Modulators in Optimized Nonliniear Compensated LTE RoF System," Vols. 32, NO 10, p. 1944, 2014.

[5] A. S. I. W. M. S. M. I. S. H. P. Fakhriy Hario P, "Dithering Analysis in an Orthogonal Frequency Divison Multiplexing-Radio over Fiber Link," Vols. 6, No 3, p. 1112, 2016.