ANALISIS PERFORMASI SUBCARRIER INTENSITY MODULATION PADA KANAL MODEL KIM DAN KRUSE DI FREE SPACE OPTIC

ANALYSIS OF SUBCARRIER INTENSITY MODULATION PERFORMANCE ON KIM AND KRUSE CANAL MODEL IN FREE SPACE OPTIC

Fatrheza Imantaqwa, Ir. Hambali, M.T.[2], Kris Sujatmoko, S.T., M.T.[3]
[1,2,3] Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
[1]**rhezafate@student.telkomuniversity.ac.id**, [2]**ahambali@telkomuniversity.co.id**,
[3]**krissujatmoko@telkomuniversity.ac.id**

Abstrak

Free Space Optic (FSO) adalah komunikasi berbasis optik tanpa menggunakan kabel. Sebelumnya ada sebuah teknologi optik yang menggunakan radio frekuensi (RF) sebagai sinyal pembawanya, yaitu *Radio over Fiber* (RoF). Namun RoF memiliki beberapa kekurangan seperti interferensi elektrik, distorsi, dan noise yang besar. Oleh karena itu dibuatlah teknologi *Free Space Optic* (FSO). FSO juga merupakan teknologi untuk jaringan backup. Contohnya bila ada bencana gempa, lalu kabel optik rusak, maka langsung digantikan dengan FSO yang tidak memakai kabel.

Free Space Optic (FSO) adalah teknologi komunikasi berbasis optik yang propagasi cahayanya terjadi di alam terbuka. Teknologi ini memanfaatkan system kerja *Line Of Sight* (LOS), dan full duplex. Pada umumnya FSO ini menggunakan LASER sebagai *light sourcenya*. FSO memiliki beberapa kelebihan seperti kurangnya gangguan, mudahnya maintenance, dan kecepatan yang tinggi.

Pada penelitian ini, disimulasikan dan dianalisis menggunakan *Subcarrier Intensity Modulation* (SIM) pada kanal model *Kim* dan *Kruse*, dengan penggunaan empat panjang gelombang dan variasi *visibility*. Setelah pengujian dengan SIM, dibandingkan dengan modulasi OOK-NRZ dan OOK-RZ dengan parameter dan kanal yang sama. BER menggunakan SIM lebih baik daripada menggunakan modulasi OOK-NRZ dan OOK-RZ, dan pada panjang gelombang 1550 nm dengan nilai 10^{-98}pada kanal model Kim dan 10^{-73} pada kanal model Kruse.

Kata kunci : FSO, SIM, *Kim, Kruse*, BER.

Abstract

Free Space Optic (FSO) is optical based communication without using cables. Previously there was an optical technology that uses radio frequency (RF) as its carrier signal, namely Radio over Fiber (RoF). But RoF has several disadvantages such as electrical interference, distortion, and large noise. Therefore Free Space Optic (FSO) technology was created. FSO is also a technology for backup networks. For example, if there is an earthquake, then the optical cable is damaged, immediately be replaced with an FSO that does not use cables.

Free Space Optic (FSO) is an optical-based communication technology whose light propagation takes place in the open. This technology makes use of the Line Of Sight (LOS) and full duplex work systems. In general, this FSO uses LASER as its light source. The FSO has several advantages such as lack of interference, easy maintenance, and high speed.

In this study, it was simulated and analyzed using Subcarrier Intensity Modulation (SIM) on Kim and Kruse's channel models, with the use of four wavelengths and variations in visibility. After testing with SIM, it compared with OOK-NRZ and OOK-RZ modulation with the same parameters and channels. BER using SIM is better than using OOK-NRZ and OOK-RZ modulation, and at wavelengths of 1550 nm with values of 10^{-98}on Kim's model channel and 10^{-73} on the Kruse model canal.

Keywords: FSO, SIM, *Kim, Kruse,* BER

1. Pendahuluan

Free Space Optic (FSO) adalah teknologi komunikasi berbasis optik yang propagasi cahayanya terjadi di alam terbuka. Teknologi ini memanfaatkan system kerja Line Of Sight (LOS), full duplex, serta pada komunikasi terrestrial FSO menggunakan atmosfer sebagai media transmisinya. Oleh karena itu, sistem komunikasi ini mempunyai banyak factor yang dapat meredam dan menginterferensi sinyal cahaya. Banyaknya molekul di udara, jarak dari pengirim dan penerima,

serta kondisi di atmosfer menjadi factor yang harus dipertimbangkan. Terdapat 2 faktor lain yang sangat penting dalam proses pengiriman sinyal cahaya pada FSO yakni cuaca dan turbulensi. Pada umumnya FSO ini menggunakan light source yaitu *Light Amplification of Stimulated Emition by Radiation* (LASER) karena lebih terfokus dan jarak pancaran yang jauh. FSO memiliki beberapa kelebihan seperti kurangnya gangguan, mudahnya maintenance, dan kecepatan yang tinggi [2].

Pada penelitian ini dilakukan analisis *Free Space Optic* (FSO) dengan variasi panjang gelombang yang digunakan antara lain 690 nm,780 nm,850 nm dan 1550 nm. Kemudian dilakukan pengamatan terhadap berbagai visibility dari pengirim ke penerima yang disertai dengan factor redaman pada setiap panjang gelombang menggunakan modulasi SIM pada kanal *Kim* dan *Kruse* untuk mengetahui performasi BER dan akan dibandingkan dengan modulasi *On Off Keying Null Return-to-Zero* (OOK-NRZ) dan *On Off Keying Return-to-Zero* (OOK-RZ).

2. Konsep Dasar

2.1 *Free Space Optic*

Free Space Optic (FSO) merupakan komunikasi *Line Of Sight* (LOS) dimana terjadi di alam terbuka menggunakan laser sebagai sumber cahayanya untuk mengirimkan data dengan kecepatan yang tinggi, mencapai 40 Gbps. Komunikasi ini menggunakan frekuensi optik 192 – 350 THz sehingga memungkinkan menggunakan data rate yang tinggi [2].

2.2 *Subcarrier Intensity Modulation*

Subcarrier Intensity Modulation (SIM) adalah modulasi yang dapat mencapai tingkat bit yang tinggi dengan beberapa *subcarrier*. Prosesnya diawali dengan aliran data biner yang dipisahkan menjadi beberapa sub-aliran. Kemudian sub-aliran tersebut dimodulasi. Modulasi ini telah banyak digunakan dalam mentransmisikan sinyal pada kabel televisi dan juga digunakan pada multiplexing panjang gelombang.

Dengan M yang diganti-ganti agar bisa mengetahui dan menganalisa sinyal yang dimodulasi. Persamaannya adalah sebagai berikut.

$$m_i(t) = g(t)a_{ic}\cos(w_{ci}t + \phi_i) + g(t)a_{is}\sin(w_{ci}t + \phi_i). \quad (1)$$

g(t) adalah fungsi pembentukan pulsa, w_ci adalah frekuensi sudut subcarrier, dan w_ci adalah fasa. Sedangkan a_ic dan a_isadalah amplitudo sinyal. Setelah itu sinyal di gabungkan menjadi sinyal baru, m(t), yang memiliki persamaan

$$m(t) = \sum_{i=1}^{N} m_i\,(t) \quad (2)$$

Di sisi penerima ada sinyal elektrik, i(t) dimana memiliki persamaan

$$i(t) = RI[1 + \xi m(t)] + n(t) \quad (3)$$

Dengan R adalah responsivitas, I adalah daya yang diterima, dan ξ adalah indeks modulasi optik [6].

2.3 *Visibility*

Salah satu parameter yang bisa digunakan untuk mengukur besarnya redaman di atmosfer adalah *visibility*. *Visibility* adalah jarak pandang atau ukuran jarak dimana suatu benda atau cahaya bisa terlihat dengan jelas.Terdapat dua model kanal yang dapat menghitung besar redaman atmosfer menggunakan *visibility* yaitu kanal model *Kim* dan model *Kruse*. Persamaan dasar untuk menghitung besarnya redaman atmosfer adalah sebagai berikut [9]:

$$A = \frac{3{,}91}{V}\left(\frac{\lambda}{550}\right)^{-q}, \frac{dB}{km} \quad (4)$$

Dimana V adalah *visibility* dalam km, λ adalah panjang gelombang dalam nm, q adalah ukuran parikel di atmosfer, dan A adalah redaman atmosfer dalam dB/km. Pendekatan model *Kruse* bisa digunakan untuk semua kondisi atmosfer. Persamaan untuk kanal model *Kruse* adalah, [9]:

$$q = \begin{cases} 1.6, & V \geq 50\ km \\ 1.3, & 6\ km \leq V < 50\ km \\ 0.585V^{1/3}, & V < 6\ km \end{cases} \quad (5)$$

Pada model *Kim* bisa digunakan untuk kondisi berembun atau visibility visibility yang rendah karena lebih spesifik. Persamaan untuk kanal model *kim* adalah,[9]:

$$q = \begin{cases} 1.6, & V \geq 50\ km \\ 1.3, & 6\ km \leq V < 50\ km \\ 0.16V + 0.34, & 1\ km \leq V6\ km \\ V - 0.5, & 0.5\ km \leq V < 1\ km \\ 0, & V < 0.5\ km. \end{cases} \quad (6)$$

Berbagai jenis cuaca ditunjukan oleh Tabel 1, dengan berbagai kondisi digunakan sebagai acuan visibility yang digunakan pada perhitungan redaman atmosfer akibat jarak pandang antara pengirim dan penerima.

Tabel 1 Kondisi Atmosfer

Kondisi Atmosfer	*Visibility* (m)	Attenuasi (dB/km)
Dense Fog	50	315
Thick Fog	200	75
Moderate Fog	500	28.9
Light Fog	770	18.3
Very Light fFg	1000	13.8
Light mist	2000	6.6
Very Light Mist	4000	3.1
Clear Air	20000	0.54
Very Clear Air	50000	0.19

2.4 Modulasi *On-Off Keying*

Modulasi OOK merupakan modulasi yang umum digunakan dalam sistem komunikasi optik tanpa kabel dan digunakan dalam sistem *Intensity-Modulated with Direct-Detection* (IM/DD). Ketika ada sinyal optik yang menempati sebagian durasi bit menghasilkan nilai bit 1, Sedangkan ketika tidak ada sinyal optik pada durasi tertentu nilai bit 0.

Pada modulasi OOK bisa menggunakan dua tipe, yaitu *Non Return-to-Zero* (NRZ) dan *Return-to-Zero* (RZ). Pada tipe NRZ memiliki efisiensi yang lebih buruk dari RZ karena mempunyai durasi pulsa yang lebih besar dari bit. Pada NRZ bit 1 berarti memiliki level daya tinggi sedangkan bit 0 memiliki level daya rendah.

Pada RZ, bit 1 dinyatakan dengan setengah periode pertama dengan level daya tinggi dan setengah periode kedua dengan level daya rendah. Sedangkan bit 0 memiliki level daya rendah [4].

2.5 *Background Noise*

Background noise disebabkan oleh pendeteksian foton yang dihasilkan pada lingkungan. Terdapat dua sumber yang berkontribusi kepada *background noise*, yaitu matahari dan langit. Ada sumber lain yang dianggap terlalu lemah sehingga dipertimbangkan terhadap FSO karena kurang berpengaruh, yaitu bintang dan *background noise* / *background radiation* yang dipantulkan. Namun mereka berpengaruh pada *backgroumd noise* di luar angkasa. Berikut ini adalah persamaan untuk *irradiance* (daya per unit area) dari sumber matahari dan langit:

$$I_{sky} = \frac{N(\lambda)\Delta\lambda\pi\Omega^2}{4} \tag{7}$$

$$I_{sun} = W(\lambda)\Delta\lambda \tag{8}$$

Dimana $N(\lambda)$ adalah pancaran spektral langit, $W(\lambda)$ adalah pancaran radiasi spektral matahari, Δλ adalah bandwidth OBPF, dan Ω adalah sudut pandang bidang fotodetektor dalam radian. Pemilihan nilai FOV dan Δλ yang sangat sempit bermanfaat karena dampak *background noise* dapat dikurangi OBPF. Persamaan dari *background noise* adalah sebagai berikut:

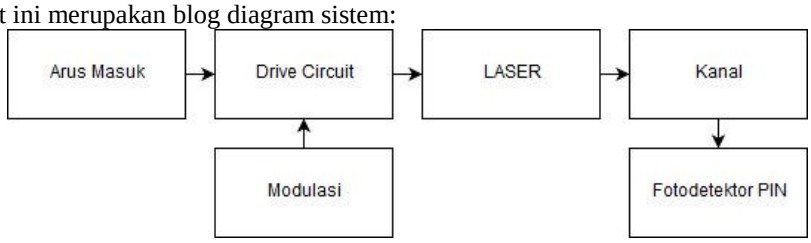
$$\sigma_{bg}^2 = 2qBR\left(I_{sky} + I_{sun}\right) \tag{9}$$

Dimana σ_{bg}^2 adalah *background noise*, q adalah konstanta elektron, B adalah *bandwidth*, dan R adalah responsivitas dari penerima.

3. Perancangan Sistem

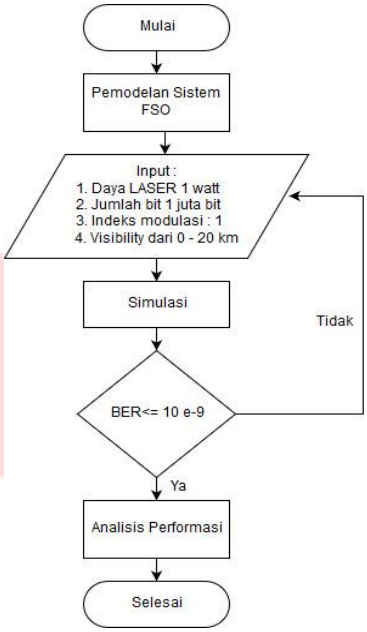
3.1 Desain Sistem

Berikut ini merupakan blog diagram sistem:



Gambar 1 Blok Diagram Sistem

3.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 2 *Flow Chart* Sistem

3.3 Parameter Pengujian

Permasalahan yang ada dalam penelitian ini adalah agar mengetahui performa dari *Subcarrier Intensity Modulation* (SIM) pada kanal model *Kim* dan model *Kruse* di *Free Space Optic* (FSO). Langkah awal untuk menjalankan peneletian ini adalah dengan menentukan atau memasukkan parameter-parameter perangkat. Parameter-parameter yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2 Parameter Pengujian

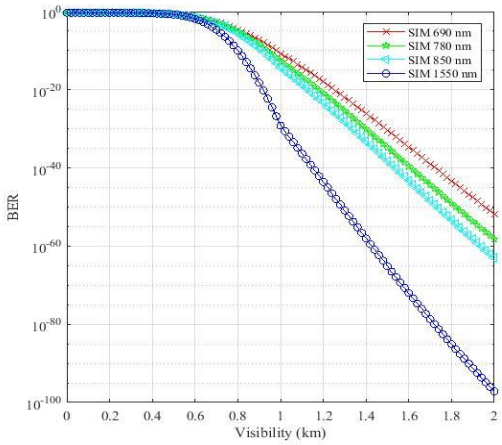
Parameter	Nilai
Panjang Gelombang	690 nm, 780 nm, 850 nm, 1550 nm
Visibility	0 km – 2 km, dengan rentang 0.02
Panjang *Link*	2 km
Daya Kirim LASER (P_t)	1 Watt
Efisiensi Pengirim (τ_t)	0.75
Sudut Divergensi Pengirim (Ag)	10^{-3}
Efisiensi Penerima (τ_r)	0.75
Diameter Penerima (D)	10^{-5} cm
Responsivitas *Photodetector*	0.9 (A/W)
Bandwidth (B)	0.5 GHz
Dark Current (I_D)	10 nA
Hambatan di Penerima (R_L)	36 Ohm
Suhu (T)	298 K
Amplitudo sinyal *Subcarrier* (A)	1
Indeks Modulasi (M)	1
Spektral sinar dari langit (N(λ))	10^{-3} W/cm$^2\mu$mSr
Spektral pancaran dari matahari(W(λ))	0.055 W/cm$^2\mu$m
Bandwidth BPF Optik	10^{-3}
FOV (Ψ)	0.6

4. Hasil Simulasi dan Analisis

Pengujian sistem ini dilakukan dengan cara merubah parameter-parameter panjang gelombang dan *visibility*.

4.1 Analisis SIM pada Kanal *Kim*

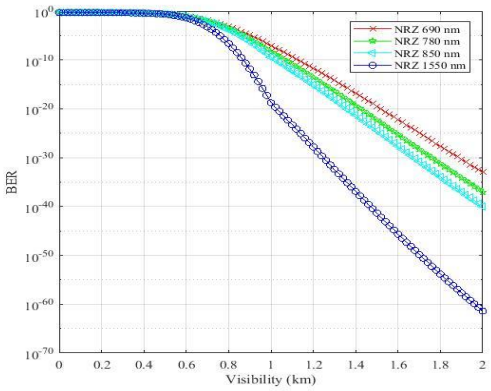
Bisa dilihat pada Gambar 4 .1, nilai BER SIM dengan panjang gelombang 690 nm adalah berkisar 10^{-52}, panjang gelombang 780 nm adalah berkisar 10^{-59}, panjang gelombang 850 nm adalah berkisar 10^{-63} dan panjang gelombang 1550 nm adalah berkisar 10^{-98}. Nilai BER terendah atau paling baik ada pada panjang gelombang 1550 nm.



Gambar 3 Grafik BER SIM pada Kanal *Kim*

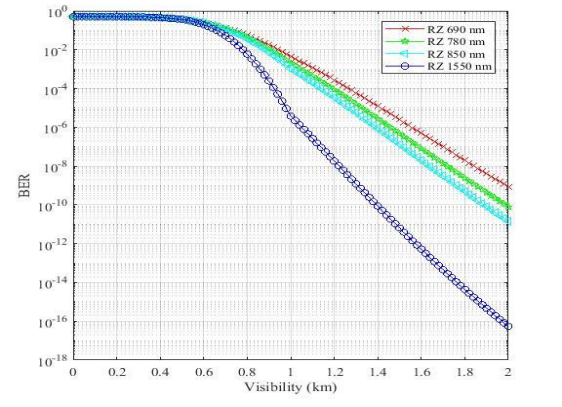
4.2 Analisis Modulasi OOK-NRZ dan OOK-RZ pada Kanal Kim

Bisa dilihat pada Gambar 4, dimana merupakan hasil simulasi untuk modulasi OOK-NRZ pada kanal model *Kim*. Nilai BER di *visibility* terjauh yaitu 2 km pada panjang gelombang 690 nm adalah berkisar 10^{-33}, panjang gelombang 780 nm adalah berkisar 10^{-37}, panjang gelombang 850 nm adalah berkisar 10^{-40} dan panjang gelombang 1550 nm adalah berkisar 10^{-61}.



Gambar 4 Grafik BER OOK-NRZ pada Kanal *Kim*

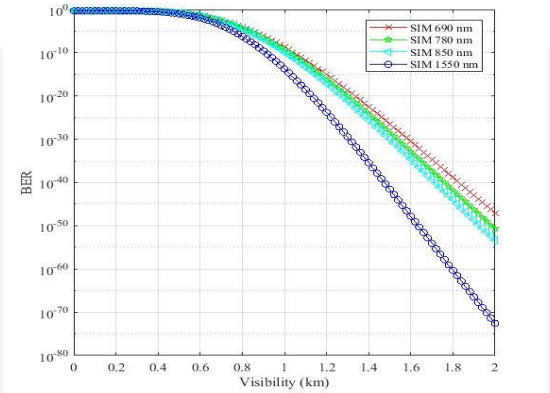
Setelah menganalis BER OOK-NRZ, modulasi OOK-RZ dianalisis. Bisa dilihat pada Gambar 5, nilai BER pada *visibility* terjauh di panjang gelombang 690 nm adalah berkisar 10^{-9}, panjang gelombang 780 nm adalah berkisar 10^{-10}, panjang gelombang 850 nm adalah berkisar 10^{-11}, dan panjang gelombang 1550 nm adalah berkisar 10^{-16}.



Gambar 5 Grafik BER OOK-RZ pada Kanal *Kim*

4.3 Analisis SIM pada Kanal *Kruse*

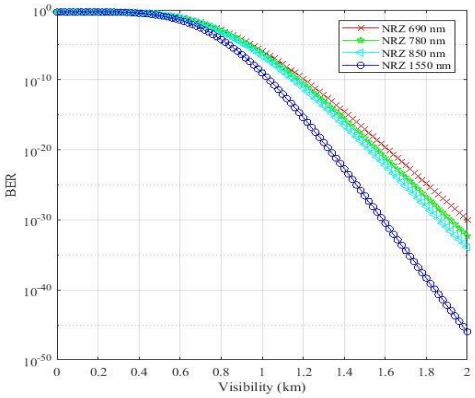
Bisa dilihat pada Gambar 6, dimana merupakan hasil pengujian untuk nilai *BER Subcarrier Intensity Modulation* (SIM) pada kanal *Kruse*. Nilai BER pada *visibility* terjauh di panjang gelombang 690 nm adalah berkisar 10^{-47}, panjang gelombang 780 nm adalah berkisar 10^{-50}, panjang gelombang 850 adalah berkisar 10^{-54}, dan panjang gelombang 1550 nm adalah berkisar 10^{-73}.



Gambar 6 Grafik BER SIM pada Kanal *Kruse*

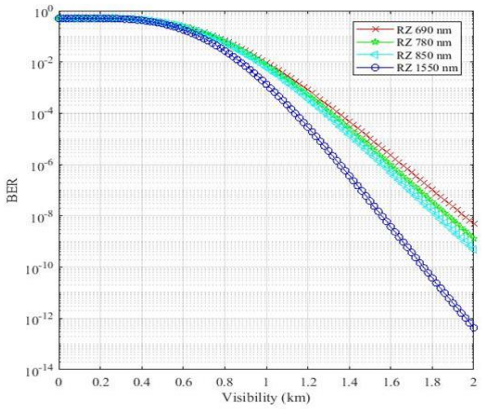
4.4 Analisis Modulasi OOK-NRZ dan OOK-RZ pada Kanal *Kruse*

Bisa dilihat pada Gambar 7, nilai BER modulasi OOK-NRZ di kanal *Kruse* pada *visibility* terjauh di panjang gelombang 690 nm adalah berkisar 10^{-30}, panjang gelombang 780 nm adalah berkisar 10^{-32}, panjang gelombang 850 nm adalah berkisar 10^{-34}, dan panjang gelombang 1550 nm adalah berkisar 10^{-46}.



Gambar 7 Grafik BER OOK-NRZ pada Kanal *Kruse*

Kemudian ada hasil pengujian dari modulasi OOK-RZ pada kanal *Kruse*, bisa dilihat pada Gambar 8. Nilai BER di *visibility* terjauh pada panjang gelombang 690 nm adalah berkisar 10^{-8}, pada panjang gelombang 780 nm adalah berkisar 10^{-9}, pada panjang gelombang 850 nm adalah berkisar 10^{-10}, dan pada panjang gelombang 1550 nm adalah berkisar 10^{-13}.



Gambar 8 Grafik BER OOK-RZ pada Kanal *Kruse*

5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian pada jaringan *Free Space Optic* (FSO) dengan membandingkan tiga modulasi, yaitu SIM, modulasi OOK-NRZ , dan OOK-RZ, dengan implementasi beberapa panjang gelombang dan variasi *visibility* maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil pengujian dengan beberapa panjang gelombang, 690 nm, 780 nm, 850 nm, dan 1550 nm menunjukkan bahwa panjang gelombang 1550 nm merupakan panjang gelombang yang paling baik dan cocok digunakan pada komunikasi *Free Space Optic* karena memiliki nilai BER yang paling baik atau paling rendah.
2. Skema modulasi *Subcarrier Intensity Modulation* lebih baik dari modulasi *On Off Keying - Non Return-to-Zero* (OOK-NRZ) dan *On Off Keying – Return-to-Zero* (OOK-RZ) karena memiliki nilai BER yang jauh lebih baik.
3. Pengujian di kanal model *Kim* memiliki nilai BER yang lebih baik daripada kanal model *Kruse.*
4. Pada kanal model *Kim*, BER memenuhi standard minimum ketika *visibility* ada di kisaran 1 km, sedangkan untuk model kanal *Kruse* ada di kisaran 1.5 km. Bisa disimpulkan bahwa kanal model *Kruse* membutuhkan *visibility* yang besar atau atmosfer yang clear agar memiliki BER yang baik.

5.2 Saran

Tugas akhir ini bisa dikembangkan penelitiannya lebih lanjut. Ada beberapa saran yang bisa dipertimbangkan, diantaranya adalah

1. Melakukan analisis dan simulasi SIM pada keadaan hujan, *fog*, dan *turbulence*.
2. Melakukan analisis dan simulasi pada kanal model *Kim* dan *Kruse* dengan *modulasi Pulsa Posisition Modulation* (PPM).
3. Melakukan analisis dan simulasi SIM pada *Gamma-gamma* dan *Negative Exponential Atmoshperic Channels.*

Daftar Pustaka

[1] R. Karthikeyan and S. Prakasam, "A Survey on Radio over Fiber (RoF) for Wireless Broadband Access Technologies," *International Journal of Computer Application (0975-8887) Volume 64-No12*, p. 6, 2013.

[2] A. A. B. Raj, Free Space Optical Communication: System Design, Modeling, Characterization and Dealing With Turbulance, Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2016.

[3] Hindawi Publishing Corporation, "Free Space Optics: Current Applications and Future Challenges," *International Journal of Optics*, p. 8, 2015.

[4] H. Kaushal and G. Kaddoum, "Free Space Optical Communication: Challenges and Mitigation Techniques," p. 28, 2016.

[5] J. K. Sahota and D. Dhawan, "REDUCING TEH EFFECT OF SCINTILLATION IN FSO SYSTEM USING COHERENT BASED HOMODYNE DETECTION," *Optik*, p. 16, 2018.

[6] W. Popoola, Z. Ghassemlooy and S. Rajbhandari, Optical Wireless Communications, Taylor & Francis Group, LLC, 2013.

[7] G. Keiser, Optical Fiber Communications Third Editioon, GTE System and Technology Corporation, 2000.

[8] J.-H. Lee and S.-H. Hwang, "Selection diversity-aided subcarrier intensity modulation/spatial modulation for free-space optical communication," *IET Optoelectronics*, p. 9, 2014.

[9] M. A. Esmail, H. Fathallah, and M. S. Alouini, “Outdoor FSO Communications under Fog: Attenuation Modeling and Performance Evaluation,” *IEEE Photonics J.*, vol. 8, no. 4, 2016.