ANALISIS PENGARUH REDAMAN HUJAN TERHADAP PERFORMANSI BER PADA SISTEM FREE SPACE OPTIC

ANALYSIS OF THE EFFECT OF RAIN ATTENUATION ON BER PERFORMANCE IN FREE SPACE OPTIC SYSTEM

Rizki Mitrada[1], Akhmad Hambali[2], M. Irfan Maulana[3]
[1,2,3,]Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
[1]**rizkimitrada@gmail.com**, [2]**ahambali@telkomuniversity.co.id**,
[3]**muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id**

Abstrak

Dunia telekomunikasi sekarang mengalami kemajuan yang sangat pesat terutama dalam bidang *wireless communication*. Salah satu teknologi *wireless communication* adalah tentang *Optical Wireless Communication* (OWC). Salah satu penerapan dari teknologi ini adalah *Free Space Optic* (FSO). Penggunaan teknologi FSO dikembangkan sebagai jalur alternatif untuk mendampingi teknologi sebelumnya yaitu radio frekuensi.

Penelitian ini melakukan perhitungan dan analisis melalui simulasi tentang performansi sistem FSO. Performansi FSO dipengaruhi oleh redaman cuaca, atmosfer dan geometri. Redaman yang dihitung dan dianalisis adalah redaman hujan dengan menggunakan dua skenario panjang gelombang dan *photodetector* yang berbeda.

Hasil yang didapatkan dalam simulasi ini adalah komunikasi *point to point Free Space Optic* antara pengirim dan penerima pada hujan lebat menggunakan jenis *photodetector* PIN menghasilkan jarak pada panjang gelombang 1310 nm sepanjang 320 m dan pada panjang gelombang 1550 nm menghasilkan jarak sepanjang 380 m , sedangkan pada penggunaan *photodetector* APD dengan pada panjang gelombang 1310 nm menghasilkan jarak 370 m dan panjang gelombang 1550 nm dengan jarak 440 m

Kata kunci : FSO,*OOK,NRZ,PIN,APD, Redaman Hujan*

Abstract

The world of telecommunications is now experiencing very rapid progress, especially in the wireless communication. Wireless communication technology is about Optical Wireless Communication (OWC). One application of this technology is Free Space Optics (FSO). The use of FSO technology was developed as an alternative pathway to assist the previous technology is radio frequency.

This research fcalculations and analyzes through simulations about the performance of the FSO system. FSO performance is influenced by weather attenuation, atmosphere and geometry. The attenuation calculated and analyzed is the rain attenuation with using two different wavelength scenarios and different photodetector.

The results in this simulation are point to point free space optical communication between the transmitter and receiver on heavy rain with using PIN for wavelength 1310 nm is get reach 320 m and for 1550 wavelength get reach 380 m after that using APD for wavelength 1310 nm get reach 370 m, wavelength 1500 nm get reach 440 m.

Keywords: FSO,*OOK,NRZ,PIN,APD, Rain Attenuation*

1. Pendahuluan

Dalam dunia telekomunikasi salah satu wujud kesuksesan dari telekomunikasi adalah menjamin adannya komunikasi yang *realtime.* Salah satu perwujudannya yaitu pada penggunaan layanan data dari *wireless.* Salah satu teknologi wireless yang dikembangkan saat ini adalah dengan menggunakan Sistem Free Space Optic (FSO).

Free Space Optic adalah sebuah sistem komunikasi yang digunakan dengan menembakan sebuah sumber cahaya dengan media perambatan yaitu atmosfer atau udara bebes. Teknologi ini digunakan sebagai sarana komunikasi *point to point*, contohnya pada komunikasi antar gedung. Namun salah satu tantangan besar yang dihadapi oleh sistem FSO adalah mengenai redaman yang terjadi diantara *transmitter* dan *receiver*. Pada jurnal ini akan disimulasikan untuk mengetahui bagaimana performansi BER dengan menggunakan teknik modulasi OOK dengan memakai redaman hujan, selanjutnya pada sisi receiver akan digunakan dua jenis photodetector yaitu PIN dan APD.

2. Dasar Teori

2.1 Free Space Optic

Free Space Optic (FSO) adalah sebuah teknologi wireless yang menggunakan sumber cahaya berupa LASER sebagai alat pembawa informasinya. Sebelumnnya FSO juga telah dikembangkan dan diuji coba dan telah digunakan dalam militer dan pionir penerbangan luar angkasa [1]. Teknologi ini memiliki sifat *Line of Sight* (LOS) yang mana komunikasi akan terjadi apabila *transmitter* dan *receiver* terletak pada satu lintasan dan tanpa adanya *obstacle.*

Pada sebuah sistem FSO terdapat tiga bagian bagian besar yaitu *Transmitter*, Kanal Atmosfer dan *Receiver*. Untuk ilustrasinnya bisa dilihat pada gambar 1

2.2 Redaman Hujan

Hujan merupakan salah satu faktor yang dapat menurunkan kualitas informansi Redaman ini termasuk dalam kategori *Non Selective Scattering*. Dikategorikan menjadi Non Selective Scattering dikarenakan radius tetesan hujan biasanya lebih besar daripada panjang gelombang sistem FSO[2]. Selama hujan berlangsung tetesan air yang dapat dihasilkan adalah 150-2000 µm yang secara signifikan lebih besar ukurannya daripada panjang gelombang FSO Kategori hujan secara umum dibagi menjadi 3 yaitu :

Tabel 1. Jenis dan Intensitas Hujan [2]

No	Jenis Hujan	Intensitas Hujan (mm/hr
1	Hujan Ringan	1-5
2	Hujan Sedang	5-10
3	Hujan Lebat	10-20

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnnya tetesan hujan yang cukup besar akan merefleksikan dan merefraksikan sinyal cahaya yang telah dipancarkan. Secara teoritis besar redaman hujan dinyatakan dalam (β_{Rain}) yang mana satuannya adalah (/Km) adalah sebagai menurut persamaan berikut [3]

$$\beta_{rain} = \pi a^2 N_a \, Q_{scat} \frac{a}{\lambda}. \tag{1}$$

Pada persamaan (1) dinyatakan bahwa a adalah radius tetesan hujan (0.001-0.1cm), Na adalah Distribusi jatuhnya hujan (cm^{-3}), Q_{scat} adalah efisiensi penghamburan dan λ adalah panjang gelombang yang ditransmisikan.

Untuk mendapatkan N_a digunakan persamaanya sebagai berikut:

$$N_a = \frac{Z_a}{4/3(\pi a^3)V_a}. \tag{2}$$

Pada persamaan (2) dinyatakan Z_a adalah intensitas hujan (cm/s) dan Va adalah *limit speed precipitation* (cm/s). Untuk mendapatkan V_a didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$V_a = \frac{2a^2 \rho g}{9\eta}. \tag{3}$$

Pada persamaan (3) dapat dinyatakan ρ adalah kerapatan air hujan, g adalah konstanta gravitasi (g/cm^2) dan η adalah viskositas udara.

2.3 Photodetector

Photodetector adalah alat yang digunakan pada sisi *receiver* sebagai konverter sinyal cahaya menjadi sinyal listrik kembali untuk diteruskan ke *demodulator* selanjutnya. *Photodetector* terbuat dari bahan semikonduktor.

Terdapat dua jenis *photodetector* yaitu *Positive Intrinsic Negative* (PIN) dan *Avalanche Photo Diode* (APD), perbedaan diantara dua jenis *photodetecor* ini adalah terletak pada penguatannya. PIN memerlukan penguatan eksternal yaitu FET, tetapi APD tidak memerlukan penguatan eksternal. Untuk mengetahui sejauh mana adanya penguatan pada APD, digunakan rumus sebagai berikut :

$$M^{x+2} = \frac{4bT/R_l}{xq(I_p+I_d)} \tag{4}$$

Pada persamaan (4) diketahui bahwa x merupakan indeks *excess noise*, b merupakan konstanta *Boltzman*, T adalah suhu (K), q adalah muatan elektron, I_p adalah arus primer dan I_d adalah *dark current* pada *photodetector*. Dikarenakan adanya perubahan M pada setiap variabel I_p yang yang bergerak maka juga perlu menyesuaikan *dark current* yang terdapat dalam photodetector APD yaitu dengan menggunakan rumus yaitu:

$$I_{d\,M} = \sqrt[2]{2qI_dM^2B_w} \tag{5}$$

2.4 Daya Terima (Pr)

Daya terima adalah sebuah besaran yang digunakan untuk menghitung daya yang diterima oleh *receiver* (Pr) dalam penelitian ini akan digunakan hujan sebagai redamannya sehingga akan menghasilkan persamaan Beer's Law [4] sebagai berikut:

$$P_r = P_t * e^{-\beta\, rain.L} \quad . \tag{6}$$

Pada persamaan (6) diketahui Pt merupakan daya transmisi (Watt) sedangkan α_{Rain} merupakan nilai yang didapatkan dari persamaan (1) dan L adalah jarak antara *transmitter* ke *receiver*.

2.5 Signal to Noise Ratio (SNR)

Untuk mencari SNR dengan menggunakan PIN *photodetector* yang bisa menggunakan persamaaan[5] yaitu:

$$SNR = \frac{{I_p}^2}{2qB_w(I_p+I_d)+4bTB_wF_n/R_l}. \tag{7}$$

Sedangkan untuk APD *photodetector* untuk mendapatkan nilai SNR nya digunakan persamaan [5]yaitu:

$$SNR = \frac{{I_p}^2}{2qB_w(I_p+I_d)M^x+4bTB_wF_nM^2/R_l} \tag{8}$$

Dalam persamaan (7) dan (8) Id merupakan *dark current*, b merupakan Konstanta Boltzman ($1.38*10^{-23}$), T merupakan *Temperature*, B_w merupakan *Bandwidth*, F_n merupakan *figure noise* untuk PIN adalah bernilai 1,M merupakan faktor multiplikasi yang ada pada APD, x merupakan indeks excess noise, R_l merupakan resistansi beban di *photodetector*.

Cara untuk mencari Ip pada PIN dan APD dengan menggunakan persamaan

$$I_p = P_r * \mathcal{R} . \tag{9}$$

$$I_p = P_r * \mathcal{R}_M * M . \tag{10}$$

Dalam persamann (9) dan (10) ditunjukan P_r adalah daya terima dan $\mathcal{R}$ adalah responsitivitas PIN/APD dan M adalah faktor multiplikasi pada APD, sedangkan untuk mendapatkan nilai responsitivitas ketika M maka digunakan persamaan sebagai berikut

$$\mathcal{R}_M = R_{M=1} * M \tag{11}$$

2.6 Bit Error Rate (BER)

BER adalah sebuah parameter yang digunakan untuk menghitung seberapa banyaknya error yang terjadi dalam pengiriman data semakin besar BER maka informasi yang disampaikan semakin jelek. Untuk sistem FSO standar BER yang digunakan adalah 10^{-9} yang artinya dalam pengiriman bit data sebanyak 1 miliar hanya boleh memiliki 1 kesalahan Adapun untuk mengetahui secara spesifik tentang BER di kondisi OOK-NRZ dapat dinyatakan sebagai berikut[6]:

$$BER_{NRZ-OOK} = \frac{1}{2} erfc\left(\frac{1}{2\sqrt{2}}\sqrt{SNR}\right). \quad (12)$$

3. Pembahasan

3.1. Desain Sistem

Pada penelitian ini alur desain sistem FSO akan dibuat dari blok *modulator* sampai blok *demodulator* untuk tambahan penganalisa ditambahkan BER *analyzer* pada bagian *receiver*.

Gambar 2. Desain Sistem

3.2. Parameter Simulasi

Dalam perancangan simulasi akan digunakan parameter-parameter seperti tabel dibawah in

Tabel 2. Parameter FSO

Parameter	Keterangan	Nilai
λ	Panjang gelombang	1310 nm dan 1550 nm
L	Jarak Antara *Transmitter* dan *Receiver*	0 - 1 km
T	*Temperature*	298 K
R	Responsitivitas *Photodetector* APD	0,75
R	Responsitivitas *Photodetector* PIN	0,6
q	Muatan Elektron	$1.6*10^{-19}$ C
B_w	*Bandwidth*	1,5 Ghz
R_b	*Bitrate*	1,5 Gbps
b	Kontanta Boltzman	$1.38*10^{-23}$ J.K
R_l	Resistansi Beban	50 Ω
Idpin	Dark Current PIN	2 nA
F_n	*Figure Noise* PIN	1
Q_{Scat}	Effisiensi penghamburan	2
g	Konstanta gravitasi	980 cm/s^2
a	Besar tetesan hujan	0,1 cm
η	Viskositas udara	$1,8*10^{-4}$ (g/cm)s
ρ	Kerapatan air	1 g/cm^2
Pt	Daya transmisi	0,02-1 Watt

4. Hasil dan Analisis

Analisis percobaan yang didapatkan dari simulasi ini dibagi menjadi dua macam yaitu dengan membandingkan dua jenis panjang gelombang dengan dua jenis photodetector yang berbeda pada

variabel jarak 0-1 Km, selanjutnya perbandingan antara dua jenis panjang gelombang dengan dua jenis photodetector berbeda dengan variabel daya 0.02-1 Watt

4.1 Hasil dan Analisis Simulasi Pertama

Percobaan pertama dilakukan adalah pada panjang gelombang 1310 nm dengan daya 0,02 Watt sehingga menghasilkan nilai sebagai berikut. Untuk panjang gelombang 1310 nm seperti gambar dibawah ini

Gambar 4. Grafik Hujan Ringan 1310 nm

Gambar 5. Grafik Hujan Sedang 1310 nm

Gambar 6. Grafik Hujan Lebat 1310 nm

Dapat dilihat pada gambar 4 – 6 terjadinya penurunan kualitas BER pada setiap kondisi hujan hal ini dikarenakan jarak antara transmitter dan receiver yang semakin jauh ditambah dengan adanya hujan yang semakin intens maka juga mempengaruhi nilai kualitas BER tersebut.

Selanjutnya untuk kualitas jarak didapatkan bahwa untuk memenuhi kualitas layanan link yang baik yaitu pada performansi BER 10^{-9} untuk photodetector PIN pada hujan lebat mencapai jarak maksimal yaitu 180 m, sedangkan pada APD jauh lebih baik dengan jarak maksimal yaitu 230 m. Pada kondisi hujan sedang PIN mendapatkan jarak maksimal yaitu 360 m dan APD mendapatkan jarak maksimal yaitu 470 m. Pada hujan ringan PIN mendapatkan jarak maksimal 550 m dan APD menghasilkan jarak 700 m. Selanjutnya dengan mengganti panjang gelombang menjadi lebih tinggi yaitu 1550 nm maka hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut :

Gambar 7. Grafik Hujan Ringan 1550 nm

Gambar 8. Grafik Hujan Sedang 1550 nm

Gambar 9. Grafik Hujan Lebat 1550 nm

Ketika diganti panjang gelombang menjadi 1550 nm maka dapat dilihat bahwa adanya kenaikan kualitas link yang lebih baik daripada di panjang gelombang sebelumnya, bisa dilihat bahwa adanya penambahan jarak yang bisa ditempuh oleh *transmitter* tersebut bisa dilihat pada penggunaan *photodetector* PIN dari yang sebelumnya yaitu 180 m menjadi 210 m sedangkan APD dari jarak 230 m menjadi 270 m, jarak ini adalah jarak maksimal ketika memperhitungkan hujan lebat sebagai acuan tertingginya. Apabila *transmitter* dan *receiver* diturunkan acuannya menjadi hujan sedang maka *photodetector* PIN dapat menghasilkan jarak dari 360 m menjadi 430 m dan APD menghasilkan jarak dari 470 m menjadi 550 m, dan untuk hujan ringan nya jarak yang dapat ditempuh dengan penerima *photodetector* PIN adalah dari 550 m menjadi 650 m dan APD dari jarak 700 m menjadi 830 m.

4.2 Hasil dan Analisis Simulasi Kedua

Pada simulasi kedua ditunjukan perubahan variabel daya 0,02 – 1 Watt terhadap dua jenis photodetector dengan menggunakan panjang gelombang 1310 nm dan jarak tetap 1 Km, sehingga akan menghasilkan grafik sebagai berikut

Gambar 10. Grafik Hujan Ringan 1310 nm

Gambar 11. Grafik Hujan Sedang 1310 nm

Gambar 12. Grafik Hujan Lebat 1310 nm

Pada gambar 10 - 12 bisa dilihat bahwa adanya penurunan kualitas performansi BER dengan seiring dinaikannya daya pemancar. Pada kondisi hujan ringan dengan standar BER 10^{-9} maka daya minimal untuk mencapai kondisi ini pada photodetector PIN tidak dapat tercapai, sedangkan pada APD yaitu 0,93 Watt. Selanjutnya pada hujan sedang PIN dan APD tidak bisa memenuhi kualitas link dan untuk hujan lebat juga kedua ini tidak bisa mencapai kondisi standar BER minimal. Ini dikarenakan adanya tingkat kederasan hujan itu sendiri yang mengakibatkan banyak *scattering* sewaktu pentransmisian berlansung sehingga mempengaruhi kualitas link dan daya yang diterima oleh *photodetector*. Selanjutnya untuk kondisi hujan ringan pada APD dapat terjadi dikarenakan pada APD terdapat penguatan internal sehingga lebih efektif untuk meningkatkan performansi.

Selanjutnya akan dicoba untuk mengubah panjang gelombang menjadi 1550 nm maka grafik performansi BER ditunjukan sebagai berikut :

Gambar 13. Grafik Hujan Ringan 1550 nm

Gambar 14. Grafik Hujan Sedang 1550 nm

Gambar 15. Grafik Hujan Lebat 1550 nm

Pada gambar 13 - 15 dapat dijelaskan bahwa dengan mengganti panjang gelombang menjadi lebih besar maka akan adanya keefektivan dan keefesienan layanan kualitas link. Dapat dilihat pada hujan ringan untuk memenuhi kualitas standar link minimal daya yang diperlukan pada *photodetector* PIN adalah 0,97 Watt, sedangkan APD adalah 0,13 Watt. Selanjutnya untuk hujan sedang penggunaan *photodetector* PIN dan APD tidak memenuhi kualitas layanan link dan untuk hujan lebat kedua *photodetector* juga tidak memenuhi standar.

Kembali lagi seperti pada panjang gelombang 1310 nm, hal ini disebabkan adanya kenaikan tingkat intensitas hujan sehingga menimbulkan scattering, namun dengan menggunakan panjang gelombang yang lebih tinggi dapat dilihat bahwa untuk kondisi hujan ringan daya dengan *photodetector* APD yang dibutuhkan lebih kecil yaitu 0,13 Watt dibandingkan sebelumnya yaitu 0,93 Watt. Penggunaan PIN di hujan ringan dari yang tidak terpenuhi menjadi 0,97 Watt.

4.3 Penggunaan Daya Maksimal

Apabila diinginkan jarak link tersebut mencapai 1 Km maka yang harus dilakukan adalah dengan menaikan dayanya dan mengganti kembali panjang gelombangnya menjadi lebih besar. Pada simulasi ini akan diatur untuk maksimal daya pancar yaitu 5 Watt Sehingga menghasilkan nilai seperti dibawah ini :

Gambar 16. Daya Maksimal 5 W di 1310 nm

Gambar 17. Daya Maksimal 5 W di 1550 nm

Pada gambar 16 dan 17 dapat dilihat untuk penggunaan *photodetector* PIN di panjang gelombang 1310 nm mendapatkan jarak maksimal 320 m dan pada panjang gelombang 1550 nm mendapatkan jarak maksimal 380 m Penggunaan *photodetector* APD untuk penggunaan pada panjang gelombang 1310 dapat mencapai jarak maksimal yaitu 370 m sedangkan pada panjang gelombang 1550 nm mencapai jarak 440 m. Dapat dilihat bahwa dengan menggunakan PIN atau APD pada daya maksimal masih belum bisa mencapai jarak 1 Km di kondisi hujan lebat, akan tetapi penggunaan APD dapat meningkatkan jarak lebih panjang daripada PIN..

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan pada anlisis simulasi ini yaitu sebagai berikut :

1. Jarak antar link mempengaruhi kualitas performansi. Pada simulasi dengan jarak pandang 1 Km ditunjukan di salah satu kondisi yaitu hujan ringan di panjang gelombang 1310 nm dengan daya 0,02 Watt menggunakan *photodetctor* PIN menghasilkan nilai BER sebesar 0,4935 sedangkan pada jarak pandang 0.5 Km dengan kondisi yang sama menghasilkan nilai BER sebesar $1{,}15*10^{-31}$.
2. Penggunaan daya yang lebih besar dapat meningkatkan kualitas performansi. Dapat ditunjukan pada penggunaan daya 0.02 Watt di kondisi hujan ringan dengan jarak pandang 1 Km pada panjang gelombang 1310 nm dengan menggunakan APD didapatkan nilai BER 0,3804 sedangkan pada penggunaan daya 1 Watt dengan kondisi yang sama menghasilkan nilai BER sebesar $9{,}93*10^{-11}$.
3. Untuk mencapai jarak antar link agar mencapai jarak pandang lebih jauh dengan acuan pada kondisi hujan lebat,dengan menggunakan PIN di panjang gelombang 1310 dengan daya 5 Watt menghasilkan jarak maksimal 320 m dan di panjang gelombang 1550 nm menghasilkan jarak maksimal 380 m Untuk APD di panjang gelombang 1310 nm dengan daya 5 Watt dapat menempuh jarak 370 m , sedangkan di 1550 nm menggunakan daya sama dapat menempuh jarak 440 m dengan menggunakan APD. Penggunaan *photodetector* APD dan panjang gelombang yang lebih tinggi sangat disarankan karena memiliki performansi yang lebih tinggi sehingga dapat meningkat nilai BER

Daftar Pustaka:

[1] M. N. O. Sadiku, S. M. Musa, and S. R. Nelatury, “Free Space Optical Communications: An Overview,” *Eur. Sci. Journal, ESJ*, vol. 12, no. 9, p. 55, 2016.

[2] BMKG, “Kondisi cuaca ekstrem dan iklim tahun 2010-2011,” *Press Release*, pp. 7–9, 2010.

[3] H. A. Fadhil *et al.*, “Optimization of free space optics parameters: An optimum solution for bad weather conditions,” *Optik (Stuttg).*, vol. 124, no. 19, pp. 3969–3973, 2013.

[4] O. Kharraz and D. Forsyth, “PIN and APD photodetector efficiencies in the longer wavelength range 1300-1550 nm,” *Optik (Stuttg).*, vol. 124, no. 16, pp. 2574–2576, 2013.

[5] T. Y. Elganimi, “Studying the BER performance, power- and bandwidth- efficiency for FSO communication systems under various modulation schemes,” *2013 IEEE Jordan Conf. Appl. Electr. Eng. Comput. Technol. AEECT 2013*, pp. 0–5, 2013.