EVALUASI KINERJA PULSE POSITION MODULATION (PPM) TERHADAP INTERFERENSI CAHAYA MATAHARI UNTUK VLC

PERFORMANCE EVALUATION OF PULSE POSTION MODULATION (PPM) TOWARDS SUNLIGHT INTERFERENCE FOR VLC

DwiSeptyaniPratiwi[1], AkhmadHambali[2], BrianPamukti[3]
[1,2,3]Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
[1]**dwiseptyaniprati wi@student.telkomuniversity.ac.id**, [2]**ahambali@telkomuniversity.ac.id**, [3]**brianpmt@telkomuniversity.ac.id**

Abstrak
***Visible Light Communication* (VLC) merupakan salah satu jenis komunikasi yang menggunakan cahaya tampak untuk mentransmisikan data. Penelitian Tugas Akhir ini akan. Penelitian pada Tugas Akhir ini menggunakan sistem VLC dengan satu buah lampu yang terdiri dari 50 buah LED dengan daya sebesar 10 Watt, serta asumsi terdapat interferensi cahaya matahari dengan dimensi ruangan 5x5x3 meter, modulasi yang digunakan *Pulse Postion Modulation* (PPM). Hasil akhir menunjukan bahwa sistem VLC pada skenario tanpa interferensi cahaya matahari relatif lebih baik dibanding sistem VLC skenario dengan interferensi cahaya matahari. Hasil akhir menunjukan bahwa sistem VLC pada skenario I relatif lebih baik dibanding sistem VLC skenario II. Hal ini dibuktikan untuk skenario I *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang diperoleh sebesar 38.62 dB, sedangkan untuk skenario II SNR yang diperoleh sebesar 36.29 dB.**

Kata kunci : VLC, PPM, Cahaya matahari, LED, BER, SNR.

Abstract
Visible Light Communication (VLC) is a type of communication that uses visible light to transmit data. This Final Project research will be. This research in this final project uses a VLC system with one lamp consisting of 50 LEDs with a power of 10 Watt, and the assumption that there is sunlight interference with room dimensions of 5x5x3 meters, the modulation used is Pulse Postion Modulation (PPM). The final results show that the VLC system in a scenario without sunlight interference is relatively better than the scenario of a VLC system with sunlight interference. The final results show that the VLC system in scenario I is relatively better than the scenario II VLC system. This is evidenced for scenario I, the *Signal to Noise Ratio* (SNR) obtained is 38.62 dB, while for scenario II it is 36.29 dB.

Keywords: VLC, PPM, Sunlight, LED, BER, SNR.

1. Pendahuluan

Salah satu komunikasi yang saat ini terus mengalami perkembangan, adalah Visible Light Communication (VLC). Komunikasi ini menawarkan teknologi dengan menggunakan cahaya sebagai media transmisi antara pengirim dan penerima, dengan *bandwidth* 375-780 nm dan dengan spektrum frekuensi 430-790 THz [1]. Komunikasi VLC memiliki keunggulan, yaitu : VLC dapat digunakan sebagai media transmisi *directional* sehingga komunikasi ini sangat cocok untuk *Near Field Communications* (NFC) [2]. Komunikasi ini juga tergolong *green technology*, karena dapat diaplikasikan di beberapa lokasi yang tidak dapat terkena dampak radiasi *Radio Frequency* (RF), seperti di pesawat ataupun reaktor nuklir. Serta, biaya implementasi yang dibutuhkan komunikasi ini tergolong *low-cost* [3].

Selain itu, komunikasi ini dapat dipengaruhi oleh cahaya sekitar, interferensi dari cahaya matahari merupakan sumber *noise* utama dari VLC, dengan *Power Spectral Density* (PSD) maksimum sebesar 500 nm [2]. Berdasarkan jurnal [4], yang meneliti tentang interferensi karakteristik *noise* terhadap sistem VLC dengan menggunakan modulasi *On-Off Keying* (OOK), dijelaskan, salah satu *noise* dalam sistem VLC adalah cahaya sekitar, dimana saat cahaya sekitar menginterferensi sistem, tegangan *Direct-Current* (DC) *offset* akan semakin besar, yang mengakibatkan sinyal informasi mengalami interferensi. Selanjutnya, penelitian [5] yang menganalisis tentang dampak interferensi cahaya matahari terhadap kinerja sistem VLC. Saat

langit cerah nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang didapatkan lebih rendah dibandingkan saat langit berawan, pada saat langit cerah terdapat paparan sinar matahari sehingga dapat menurunkan nilai SNR yang diperoleh, nilai SNR sendiri berpengaruh terhadap kualitas suatu jaringan, semakin kecil nilai SNR, semakin menurun kualitas jaringan tersebut.

Pada Tugas Akhir ini, dilakukan analisis pengaruh interferensi dari cahaya matahari terhadap VLC, dengan menggunakan modulasi *Pulse Position Modulation* (PPM). Adapun ukuran ruangan yang digunakan 5x5x3 meter, serta menggunakan satu sumber cahaya sebesar 10 Watt. Dan kemudian dilakukan evaluasi terhadap perfomansi kinerja sistem VLC. Evaluasi kinerja sistem ini menggunakan parameter *Bit Error Rate* (BER) 10^{-3} dan *Signal to Noise Ratio* (SNR).

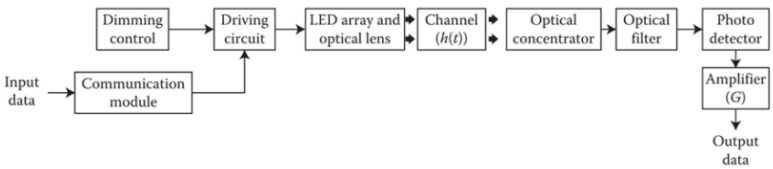
2. Dasar Teori

2.1 Cahaya Tampak

Penggunaan cahaya tampak ini dinilai lebih efisien dan tidak menimbulkan dampak berbahaya untuk kesehatan manusia. Penglihatan manusia dapat melihat cahaya tampak dengan rentang panjang gelombang 400-700 nm, sedangkan mata manusia yang telah beradaptasi terhadap cahaya memiliki sensitivitas maksimum sebesar 555 nm. Cahaya tampak memiliki beragam warna, pencampuran warna dari cahaya tampak akan menghasilkan frekuensi yang berbeda, sehingga frekuensi yang berbeda itu dapat menjadikan cahaya tampak untuk digunakan dalam mentransmisikan informasi [6].

2.2 *Visible Light Communication* (VLC)

Visible Light Communication (VLC) merupakan sebuah teknologi komunikasi yang menggunakan *Light Emitting Diode* (LED) sebagai komponen utama, dengan artian, komunikasi ini menggunakan cahaya tampak dalam proses transmisi data. Komunikasi ini berkerja pada frekuensi 430-790 THz dengan *bandwidth* 375-780 nm [1], dimana *bandwidth* yang dimiliki VLC relatif lebih lebar dibandingkan *Radio Frequency* (RF), Gelombang Mikro, dan *Intermediate Frequency* (IF), sehingga menjadi keunggulan tersendiri dari komunikasi ini. Berdasarkan [3], blok diagram VLC sendiri ditunjukkan Gambar 2, pada blok diagram yang dipaparkan, terdapat beberapa komponen yang digunakan dalam sistem VLC, seperti *driving circuit* yang menggabungkan data input dari *communication module* dan mengontrol peredupan dari LED, kemudian LED akan menghasilkan beberapa sinyal cahaya yang akan diteruskan ke sebuah kanal, dan selanjutnya sinyal cahaya akan ditranslasikan oleh *photodetector*, setelah itu diteruskan ke *amplifier* sebelum diterima oleh penerima [3].



Gambar 2. Blok Diagram VLC.

2.3 *Light Emitting Diode* (LED)

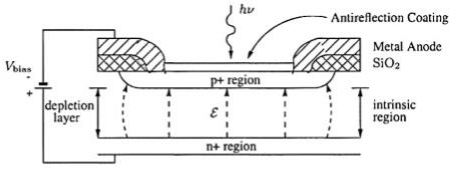
Light Emitting Diode (LED) merupakan salah satu komponen utama yang digunakan pada VLC, komponen ini merupakan gabungan semikonduktor tipe-N dan tipe-P, komponen ini memberikan radiasi cahaya ketika terhubung dengan pembangkit listrik yang dihasilkan dengan menggunakan *forward bias*. Ketika LED dialiri oleh *forward bias*, maka kelebihan elektron yang ada pada tipe-N akan berpindah ke daerah yang lebih positif atau tipe-P, saat itu elektron akan melepaskan foton yang selanjutnya akan menghasilkan cahaya. Umumnya, LED beroperasi pada panjang gelombang 850 nm dengan $\Delta\lambda$ sebesar 60 nm dan 1300 nm dengan $\Delta\lambda$ sebesar 170 nm [3].

LED sendiri memiliki beberapa warna dengan panjang gelombang dan respon frekuensi yang berbeda, salah satu warna LED yang sering digunakan adalah warna putih, umumnya, LED berwarna putih merupakan penggabungan beberapa warna, untuk warna putih sendiri terbagi atas dua tipe yaitu : 1.) Chip LED berwarna biru 9 dengan fosfor warna hijau dan kuning, 2.) Penggabungan 3 warna *Red-Green-Blue* (RGB). Untuk penggabungan warna yang pertama, modulasi *bandwidth* yang dihasilkan relatif kecil, ini disebabkan fosfor warna hijau dan kuning

yang digunakan, sedangkan dibanding dengan penggabungan 3 warna yaitu RGB, dapat menghasilkan bandwidth yang relatif lebar [7].

2.4 *Photodetector*

Photodetector memiliki dua jenis yang relatif paling sering digunakan yaitu APD dan PIN, untuk Tugas Akhir ini akan menggunakan *photodetector* jenis PIN. PIN merupakan sebuah *photodetector* yang tersusun atas P-N *junction*, dalam P-N *junction* tegangan yang masuk akan digunakan sebagai sumber untuk membangkitkan sinyal listrik, semakin besar tegangan yang diberikan akan berbanding linear dengan terjadinya proses penyempitan. Proses konversi foton menjadi sinyal listrik dengan cara, foton akan melepaskan energi sehingga foton akan menyalurkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi [6].



Gambar 3. Skema Kerja Photodetector PIN.

2.5 Inteferensi Cahaya Matahari

Komunikasi cahaya tampak memiliki berbagai interferensi dalam proses mentransmisikan maupun dalam proses penerimaan sinyal informasi. Cahaya sekitar (ambient light), merupakan salah satu sumber noise pada komunikasi ini, ambient light dapat mempengaruhi performa kinerja sistem, khususnya kinerja sistem pada *photodetector* dalam menerima sinyal informasi [8].

Cahaya sekitar terbagi atas dua jenis, yaitu cahaya sekitar buatan dan alami, yang keduanya bekerja pada spektrum 830-1550 nm [3]. Cahaya sekitar yang tergolong alami adalah cahaya matahari. Cahaya matahari merupakan cahaya dengan sinyal yang tidak termodulasi dan memiliki *Power Spectral Density* (PSD) berkisar 500 nm. Interferensi cahaya matahari merupakan sebuah shot noise di *photodetector* yang dapat mempengaruhi penerimaan sinyal informasi, dikarenakan cahaya matahari dapat menghasilkan *background current* yang tinggi sebesar 5 mA, ini menjadikan cahaya matahari sebagai sumber noise utama VLC. Persamaan untuk menghitung *noise* yang dihasilkan cahaya matahari di dalam suatu kanal transmisi ditulis dengan [9]:

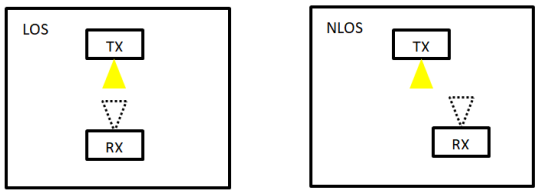
$$q_{sun} = 1350\left[1 + 0.033\left(\frac{360n}{365}\right)\right][\sin(\phi)\sin(\delta) + \cos(\phi)\cos(\delta)\cos(\omega). \quad (1)$$

2.6 *Pulse Position Modulation* (PPM)

PPM merupakan salah satu jenis modulasi pulsa dan juga salah satu jenis modulasi dengan skema *isochronous*. Sinyal informasi dari modulasi ini direpresentasian dengan posisi dari pulsa sinyal informasi itu sendiri, dan dengan *frame* waktu yang tetap [3]. Prinsip kerja dari modulasi PPM adalah pada modulasi ini, bit-bit masukan dikelompokkan menjadi sebuah simbol dan tiap-tiap simbol berisikan 4 bit masukan. Bit-bit masukan yang telah dikelompokkan akan berada pada posisi sesuai dengan nilai desimal dari bit-bit tersebut.

2.7 Komunikasi Nirkabel Optik di dalam Ruangan

Pada dasarnya sistem komunikasi nirkabel optik salah satunya adalah VLC, memiliki dua kondisi yaitu saat kondisi VLC dalam keadaan *Line Of Sight* (LOS) dan saat kondisi VLC *Non-Line Of Sight* (NLOS) seperti yang terlampir pada Gambar 4. Perbedaan antara kedua kondisi ini adalah saat kondisi VLC dalam keadaan LOS artinya jalur komunikasi antara *transmitter* ke *receiver* tidak terdapat *obstacle*, sehingga dapat dikatakan sebagai komunikasi *direct*. Kondisi LOS memungkinkan sistem komunikasi tidak terdapat interferensi, sehingga kualitas komunikasi relatif lebih baik. Sedangkan untuk kondisi sistem NLOS, yaitu saat jalur komunikasi antara *transmitter* ke *receiver* terdapat sebuah *obstacle*. Saat sistem mengalami kondisi NLOS, performansi dari suatu sistem akan menurun, sehingga berdampak pada kualitas komunikasi menjadi relatif lebih buruk.



(a) Kondisi LOS (b) Kondisi NLOS

Gambar 4. Sistem Nirkabel Optik.

Perhitungan untuk menghitung distribusi sudut pola intensitas radiasi atau parameter lambertian m, parameter lambertian m memiliki keterkaitan dengan *Full Width at Half Maximum* (FWHM), saat kondisi kanal dinyatakan LOS dengan LED berfungsi sebagai *transmitter*, maka persamaan lambertian m dinyatakan dengan:

$$m = \frac{-\log_{10} 2}{\log_{10}(\cos(\Phi \frac{1}{2}))} \tag{2}$$

dengan $\Phi\frac{1}{2}$ merupakan paramter FWHM yang bernilai 50◦ , serta untuk menghitung kanal LOS dapat ditulis dengan:

$$H = \frac{(m+1) \cdot A_{det} \cdot \cos^{(m+1)}(\Phi)}{2 \cdot \pi \cdot \mathrm{d}^2} \tag{3}$$

dengan *Adet* adalah area dari *photodetector* pada sisi *receiver*, sudut perpindahan atau pergerakan terhadap transmitter dinyatakan dengan Φ dan *d* merupakan jarak *receiver* terhadap *transmitter.*

2.8 Parameter Performa Sistem

Adapun parameter-parameter yang digunakan untuk mengukur perfomansi sistem VLC pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

2.8.1 *Signal to Noise Ratio* (SNR)

Dalam suatu sistem telekomunikasi sering terdapat interferensi yang disebabkan dari luar maupun dalam sistem, interferensi tersebut dapat mempengaruhi kualitas suatu sistem, sehingga perlu dilakukan pengujian kualitas sistem. SNR merupakan salah satu parameter pengujian yang penting, SNR digunakan untuk menghitung kualitas sistem dengan membandingkan daya sinyal yang ditransmisikan dengan *noise* yang diterima. Perhitungan SNR ditulis dengan [10]:

$$SNR = \frac{(P_{rx} \cdot R)^2}{2 \cdot q \cdot (I_p + I_D) \cdot B_e \cdot M^2 \cdot F(M) \cdot 10^9 + 2 \cdot q \cdot I_l \cdot B_e \left(\frac{4 \cdot K_b \cdot T \cdot B_e}{275}\right)} \tag{4}$$

Perhitungan SNR terlebih dahulu mencari nilai arus primer didapatkan dari hasil perkalian antara *optical power* pada *photodetector* dengan nilai responsivitas, ditulis dengan rumus [12]:

$$(Ip) = R \cdot P_o \tag{5}$$

sehingga didapatkan persamaan arus kuantum dapat ditulis dengan [12]:

$$\left(i^2{}_q\right) = 2 \cdot q \cdot I_p \cdot B_e \cdot M^2 . F(M) \tag{6}$$

2.8.2 *Q-Factor*

Q-factor merupakan parameter untuk menentukan kualitas suatu sistem komunikasi, untuk mencari nilai *Q-Factor* dapar ditulis dengan:

$$Q_{factor} = \left(\frac{10^{\frac{SNR}{10}}}{2}\right) \tag{5}$$

2.8.3 Jarak *Receiver* terhadap *Transmitter*

Parameter untuk menghitung daya terima dalam sistem VLC berpatok pada jarak dari *receiver* terhadap *transmitter*, saat jarak *transmitter* terhadap *receiver* semakin jauh, maka semakin kecil cahaya yang berhasil ditangkap oleh *photodetector* pada *receiver*, sehingga menyebabkan daya terima semakin kecil. Dan sebaliknya, saat jarak *receiver* terhadap transmitter semakin dekat, maka cahaya yang berhasil ditangkap oleh *photodetector* pada *receiver* semakin besar, sehingga mengakibatkan daya terima semaki besar. Persamaan untuk mendapatkan jarak *receiver* terhadap *transmitter* dapat dihitung dengan:

$$d = \sqrt{(XR - XT)^2 + (YT - YT)^2 + (h)^2} \quad (6)$$

dimana *h* merupakan jarak antara *transmitter* LED dan *photodetector* pada *receiver* saat kondisi awal, XT dan XR merupakan koordinat *transmitter* dan *receiver* pada sumbu x, serta YT dan YR adalah koordinat *transmitter* dan *receiver* pada sumbu y. Besar sudut dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\Phi = \arccos\left(\frac{h}{d}\right) \quad (7)$$

dimana sudut perpindahan dinyatakan dengan Φ yang diterima kemudian dipengaruhi oleh jarak *receiver* yang dinyatakan dengan *d*, dan *h* adalah jarak antara *transmitter* ke *receiver*.

2.8.4 *Bit Error Rate* (BER)

Pada saat sinyal informasi ditransmisikan di suatu media transmisi, bit-bit yang ditransmisikan tidak semua terkirim sempurna. BER merupakan representasi dari jumlah bit yang *error* dari tiap jumlah bit yang ditransmisikan. Nilai BER merupakan salah satu parameter pengujian kualitas suatu sistem, umumnya pada VLC nilai BER belum ditetapkan, pada Tugas Akhir ini nilai BER yang digunakan adalah:

$$\mathrm{BER} \leq 10^{-3} \quad (8)$$

dimana nilai 10^{-3} merupakan tingkat toleransi bit *error*, serta dapat diartikan, bahwa hanya ada satu bit yang *error* dari 1000 bit yang ditransmisikan. Dalam Tugas Akhir ini menggunakan modulasi PPM sehingga persamaan untuk menghitung BER PPM dapat ditulis dengan:

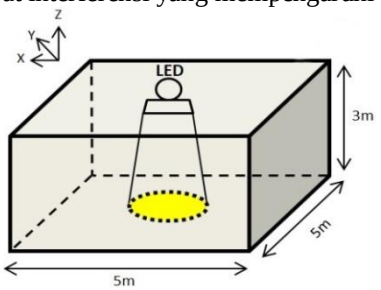
$$BER_{ppm} = \frac{1}{2} erfc\left(\frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot \sqrt{SNR \frac{M}{2} \log_2(M)}\right) \quad (9)$$

3. Perancangan

Dalam penelitian Tugas Akhir ini terbagi atas dua skenario sistem VLC, adapun spesifikasi skenario-skenario penelitian yang digunakan sebagai berikut:

3.1 Spesifikasi Skenario I

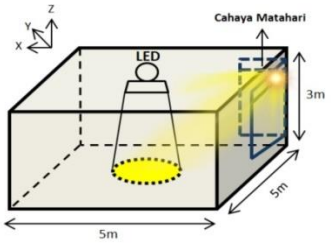
Skenario I dipaparkan pada Gambar 6, dimana terdapat sistem VLC pada sebuah ruangan dengan dimensi ruangan 5x5x3 meter, menggunakan satu buah lampu yang terdiri dari 50 buah LED, dimana tiap-tiap LED memiliki daya sebesar 0.2 mW, maka daya yang dipancarkan oleh lampu sebesar 10 Watt. Penempatan lampu berada di koordinat (0,0,3), dengan menggunakan modulasi PPM, dan tidak terdapat interferensi yang mempengaruhi sistem VLC.



Gambar 6. Pemodelan sistem VLC tanpa Interferensi.

3.2 Spesifikasi Skenario II

Skenario I dipaparkan pada Gambar 7, dimana terdapat sistem VLC pada sebuah ruangan dengan dimensi ruangan 5x5x3 meter, menggunakan satu buah lampu yang terdiri dari 50 buah LED, dimana tiap-tiap LED memiliki daya sebesar 0.2 mW, maka daya yang dipancarkan oleh lampu sebesar 10 Watt. Penempatan lampu berada di koordinat (0,0,3), dengan menggunakan modulasi PPM, dan pada skenario ini terdapat interferensi dari cahaya matahari disebabkan oleh adanya penempatan jendela di koordinat (1,25) ruangan, sehingga cahaya matahari dan menginterferensi sistem VLC.



Gambar 7. Pemodelan sistem VLC dengan Interferensi.

3.2 Parameter Simulasi

Pada penelitian ini menggunakan beberapa parameter pengujian pada sistem VLC, dengan melihat pengaruh terhadap interferensi cahaya matahari, parameter yang digunakan antara lain.

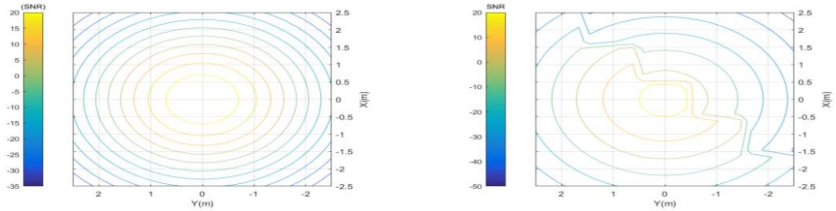
Tabel 1. Tabel *Input* Parameter.

Parameter		Nilai
Transmitter	Jenis	LED
	Jumlah	50 Buah
	Daya	0,2 W
	Panjang Gelombang	780 nm
	Lokasi	(0,0,3)
	Full Width at Half Maximum (FWHM)	50°
	Kanal	LOS & NLOS
Receiver	FOV	70°
	Responsivitas	0,3 A/W
	Optical Concentrator	1
Lain-lain	Ukuran Ruangan	5 x 5 x 3 meter
	Lebar Spektral Matahari	500 nm
	Bit Rate	10^9 Byte
	Laju Byte	10^6 bit
Modulasi	Jenis	PPM
	Bit Rate	10^9 bps

4. Hasil dan Analisis

Dalam penelitian Tugas Akhir ini terbagi atas dua skenario sistem VLC, adapun hasil dan analisis skenario-skenario penelitian yang digunakan sebagai berikut:

4.1 Perbandingan Distribusi SNR



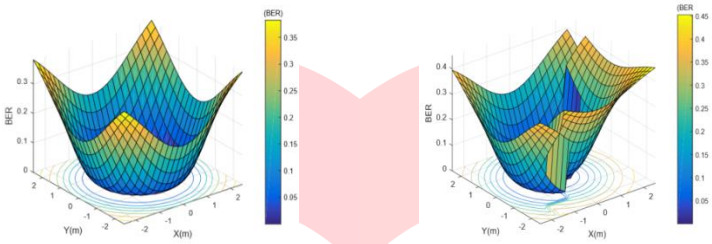
(a) Kontur Distribusi SNR tanpa Interferensi (b) Kontur Distribusi SNR dengan Interferensi

Gambar 8. Kontur Perbandingan Distribusi SNR Sistem VLC.

.Gambar 8 merupakan kontur perbandingan distribusi SNR pada skenario I dan distribusi SNR pada skenario II, dengan penempatan satu buah lampu ditengah ruangan atau di koordinat (0,0)

dan dimensi ruangan 5x5x3 meter, dapat dilakukan perbandingan untuk skenario I saat sistem VLC di ruangan tidak terdampak oleh cahaya matahari, maka nilai SNR maksimum yang didapatkan sebesar 24,7 dBm dan SNR minimum yang didapatkan sebesar -35 dBm, sedangkan untuk skenario II saat sistem VLC terdampak oleh interferensi cahaya matahari, nilai SNR maksimum yang didapatkan sebesar 22.4 dBm, dan nilai SNR minimum yang didapatkan -53,3 dBm. Untuk kedua skenario nilai maksimum distribusi SNR yang didapatkan berada di koordinat pusat (0,0) dikarenakan penempatan lampu berada di koordinat tersebut, lain halnya untuk distribusi SNR minimum, untuk skenario I distribusi SNR minimum berada di tiap ujung koordinat ruangan dengan kata lain distribusi SNR terbagi secara merata, sedangkan untuk skenario II, distribusi SNR minimum terjadi di koordinat (1,25), hal ini dikarenakan terdapat jendela di koordinat tersebut sehingga interferensi cahaya masuk dan menyebabkan distribusi SNR minimum skenario II terjadi pada koordinat tersebut. Sehingga, nilai SNR yang diperoleh saat skenario I lebih besar dibandingkan skenario II.

4.2 Perbandingan Distribusi BER

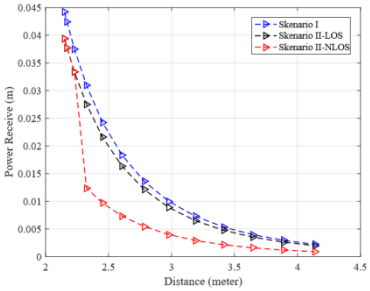


(a) Distribusi BER tanpa Interferensi (b) Distribusi BER dengan Interferensi

Gambar 9. Perbandingan Distribusi BER Sistem VLC.

Gambar 9 merupakan perbandingan berdasarkan distribusi BER pada kedua skenario dengan menggunakan modulasi PPM, dengan penempatan satu buah lampu ditengah ruangan atau di koordinat (0,0) dan dimensi ruangan 5x5x3 meter, dapat dilakukan perbandingan untuk skenario I saat sistem VLC di ruangan tidak terdampak oleh cahaya matahari, maka nilai BER maksimum yang didapatkan sebesar 0.382×10^{-3} dan BER minimum yang didapatkan sebesar 1.21×10^{-9} , sedangkan untuk skenario II saat sistem VLC terdampak oleh interferensi cahaya matahari, nilai BER maksimum yang didapatkan sebesar 0.452×10^{-3}, dan nilai SNR minimum yang didapatkan 5.50×10^{-8}. Untuk kedua skenario nilai minimum distribusi BER yang didapatkan berada di koordinat pusat (0,0) dikarenakan penempatan lampu berada di koordinat tersebut, lain halnya untuk distribusi BER maksimum, untuk skenario I distribusi BER maksimum berada di tiap ujung koordinat ruangan dengan kata lain distribusi BER terbagi secara merata, sedangkan untuk skenario II, distribusi BER maksimum terjadi di koordinat (1,25), hal ini dikarenakan terdapat jendela di koordinat tersebut sehingga interferensi cahaya masuk dan menyebabkan distribusi BER maksimum skenario II terjadi pada koordinat tersebut. Sehingga, nilai BER yang diperoleh saat skenario II lebih besar dibandingkan skenario I.

4.3 Grafik Perbandingan Daya Terima terhadap Jarak



Gambar 10. Grafik Perbandingan Daya Terima terhadap Jarak.

Gambar 11 merupakan hasil perbandingan kedua skenario dari sisi daya terima terhadap jarak. Untuk skenario I daya terima maksimum yang diperoleh sebesar 0.0442 mW dan daya terima minimum yang didapatkan sebesar 0.0022 mW, dan untuk skenario II daya terima maksimum yang didapatkan sebesar 0.0442 mW dan daya terima minimum yang didapatkan sebesar 0.0000884 mW. Hal ini dipengaruhi karena interferensi yang disebabkan cahaya

matahari pada skenario II menyebabkan penurun daya terima di *receiver*, sehingga daya terima yang dihasilkan oleh skenario I relatif lebih besar dibandingkan daya terima pada skenario II.

5. Kesimpulan dan Saran

Adapun kesimpulan dan saran yang dapat diperoleh setelah melakukan penelitian Tugas Akhir ini, yang dijabarkan sebagai berikut:

5.1 Kesimpulan

Dari hasil dua skenario simulasi dalam Tugas Akhir ini, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa, dari segi distribusi daya yang diterima, sistem VLC pada skenario dengan tidak adanya interferensi cahaya matahari atau skenario I, relatif lebih baik dari sistem VLC skenario dengan adanya interferensi cahaya matahari atau skenario II. Hal ini dibuktikan pada sistem VLC skenario I daya terima yang diperoleh sebesar 24,7 dBm, sedangkan untuk sistem VLC skenario II sebesar 22.4 dBm. Dan dari segi probabilitas nilai bit *error* yang diperoleh, pada sistem VLC skenario I relatif lebih rendah dibandingkan sistem VLC skenario II. Hal tersebut dibuktikan pada skenario I nilai maksimum BER yang diperoleh sebesar 0.382×10^{-3}, sedangkan untuk skenario II sebesar 0.452×10^{-3}.

5.2 Saran

Dari segi penggunaan modulasi, untuk pengembangan dan penelitian selanjutnya dapat menggunakan modulasi selain modulasi PPM, seperti meggunakan modulasi dari *Phase Shift Keying* (PSK), *Color Shift Keying* (CSK), dan lainnya. Penelitian dan pengembangan selanjutnya dapat menggunakan dimensi ruangan selain dimensi ruangan yang dipaparkan pada Tugas Akhir ini, dapat berupa skala besar seperti sistem VLC dalam satu area gedung. Serta dapat melakukan pengembangan seperti menambahkan interferensi lain yang dapat mempengaruhi kinerja sistem VLC, dapat berupa interferensi dari cahaya lain seperti lampu pijar, atau interferensi lainnya.

Daftar Pustaka:

[1] L. U. Khan, “Visible light communication: Applications, architecture, standardization and research challenges,” Digital Communications and Networks, vol. 3, no. 2, pp. 78–88, 2017.
[2] N. Chi, H. Haas, M. Kavehrad, T. D. Little, and X.-L. Huang, “Visible light communications: demand factors, benefits and opportunities [guest editorial],” IEEE Wireless Communications, vol. 22, no. 2, pp. 5–7, 2015
[3] Z. Ghassemlooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari, Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab R . CRC press, 2012.
[4] T. Adiono and S. Fuada, “Investigation of optical interference noise characteristics in visible light communication system,” in dalam Proc. of the 2017 Int. Symp. on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA), 2017.
[5] M. Beshr, C. Michie, and I. Andonovic, “Evaluation of visible light communication system performance in the presence of sunlight irradiance,” in 2015 17th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON). IEEE, 2015, pp. 1–4.
[6] M. H. Abibi, A. Hambali, and D. Darlis, “Perancangan komponen filter pada penerima visible light communication (vlc),” eProceedings of Engineering, vol. 5, no. 3, 2018.
[7] N. Chi, LED-Based Visible Light Communications R . Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2018.
[8] T.-H. Do and M. Yoo, “Potentialities and challenges of vlc based outdoor positioning,” in 2015 International Conference on Information Networking (ICOIN). IEEE, 2015, pp. 474–477.
[9] M. Beshr, I. Andonovic, and M. Hussien, “The impact of sunlight on the performance of visible light communication systems over the year,” in Unmanned/Unattended Sensors and Sensor Networks IX, vol. 8540. International Society for Optics and Photonics, 2012, p. 85400F.
[10] R. F. Adiati, A. Kusumawardhani, and H. Setijono, “Analisis parameter signal to noise ratio dan bit error rate dalam backbone komunikasi fiber optik segmen lamongan-kebalen,” Jurnal Teknik ITS, vol. 6, no. 2, pp. A758–761, 2017.
[11] I. Stefan and H. Haas, “Analysis of optimal placement of led arrays for visible light communication,” in 2013 IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring). IEEE, 2013, pp. 1–5.