

ANALISIS DAMPAK MULTIPATH REFLEKSI DALAM RUANGAN PADA SISTEM KOMUNIKASI CAHAYA TAMPAK (VLC)

(ANALYSIS OF THE IMPACT OF MULTIPATH REFLECTION ON INDOOR VISIBLE LIGHT COMMUNICATION (VLC))

Akalili Rasyiqah¹, Kris Sujatmoko², M.Irfan Maulana³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

¹akalilirasyiqah@student.telkomuniversity.ac.id, ²krissujatmoko@telkomuniversity.co.id,

³muhammadirfan@telkomuniversity.co.id

Abstrak

Seiring dengan perkembangan pada teknologi telekomunikasi di Indonesia yang semakin meningkat, maka dibutuhkan teknologi untuk dapat mengakses informasi dengan cepat dan efisien. *Visible Light Communication* (VLC) merupakan salah satu perkembangan teknologi komunikasi yang memanfaatkan cahaya tampak. Teknologi yang digunakan pada VLC berasal dari pencahayaan *Light Emitting Diode* (LED) yang digunakan sebagai sumber cahaya pada sistem penentuan posisi dalam ruangan. Hingga saat ini belum ada standar yang ditetapkan untuk penggunaan VLC itu sendiri.

Pada Tugas Akhir ini dilakukan analisis dampak multipath refleksi dalam ruangan pada sistem komunikasi cahaya tampak (VLC). Untuk sistem komunikasi cahaya yang diusulkan yaitu lampu LED sebagai pemancar dan *photodiode* (PD) sebagai penerima. Penelitian ini menggunakan LED bermodulasi *On-Off-Keying* (OOK). Menggunakan *photodiode* jenis P-I-N. Skenario yang digunakan pada simulasi penelitian ini menggunakan 4 *transmitter* lampu LED, serta *photodetector* yang akan diletakkan di tengah ruangan. Cakupan komunikasi cahaya tampak dengan ruangan sebesar 6 m x 6 m x 3,5 m menggunakan modulasi OOK dengan menyelidiki kekuatan yang diterima dari pemancar LED berbeda di setiap urutan refleksi untuk tiga.

Hasil pada simulasi tugas akhir ini didapatkan bahwa jarak propagasi yang dihasilkan dengan menggunakan 4 *transmitter* lampu LED dengan daya masing – masing 30 *mW* dengan menggunakan penguat dari gangguan refleksi dengan ketinggian bidang dasar dari *receiver* sebesar 2.15 m, maka menghasilkan daya output yang diterima semakin baik dengan daya terima –30 *dBm* pada *receiver*. Serta, rasio sinyal yang didapat mendapatkan kualitas yang sangat baik bagi saluran sinyal karena SNR yang dihasilkan mendapatkan 120 *dB* dari *transmitter* ke *receiver*.

Kata Kunci: *Optical Wireless Communication, Visible Light Communication, Light Emitting Diode, multipath refleksi*

Abstract

In the current era of telecommunications technology development in Indonesia is increasing, the need for technology to be able to access information quickly and efficiently. Visible Light Communication (VLC) is a communication technology that utilizes visible light. The technology used in VLC comes from lighting Light Emitting Diode (LED) used as a light source on indoor positioning systems. Until now there has been no established standard for the use of VLC itself.

This final project analyzes the impact of indoor multipath reflection on visible light communication (VLC) systems. The proposed light communication system is an LED lamp as a transmitter and a photodiode (PD) as a receiver. This research uses On-Off-Keying (OOK) modulated LED. Using a photodiode type P-I-N. The scenario used in this research simulation uses 4 LED light transmitters, as well as a photodetector that will be placed in the middle of the room. The coverage of visible light communication with a room of 6 m x 6 m x 3.5 m using OOK modulation by investigating the received power from different LED emitters in each reflection sequence for three locations.

The results of this final project simulation show that the propagation distance generated by using 4 LED light transmitters with a power of 30 mW each using an amplifier from reflection interference with a base plane height of 2.15 m from the receiver, then the output power received is getting better with receptivity is -30 dBm at the receiver. Also, the ratio of the signal obtained is of very good quality for the signal channel because the resulting SNR gets 120 dB from the transmitter to the receiver.

Keywords: Optical Wireless Communication, Visible Light Communication, Light Emitting Diode, reflection multipath

1. Pendahuluan

Teknologi serat optik merupakan salah satu jaringan yang sekarang ini dipercaya untuk dapat memenuhi kebutuhan masyarakat guna menggantikan posisi kabel tembaga. Teknologi serat optik mengembangkan lagi sebuah teknologi bernama *Optical Wireless Communication* (OWC) dimana tidak lagi memerlukan kabel optik melainkan nirkabel. Salah satu pengembangan dari OWC adalah *Visible Light Communication* (VLC) yang menggunakan gelombang elektromagnetik pada spektrum cahaya tampak antara 400 THz (780 nm) dan 800 THz (375 nm) sebagai medium transmisinya [1]. Teknologi *Light Emitting Diode* (LED) telah berkembang sangat cepat dalam beberapa dekade terakhir. Sesuai namanya, LED merupakan sebuah dioda yang dapat memancarkan cahaya. Namun, ini tidak hanya menyediakan manusia dengan penerangan yang ekonomis dan efisien serta layanan dengan waktu yang lama, tetapi juga membuka jalan untuk pencahayaan yang cerdas dan *Visible Light Communication* (VLC). Teknologi *Visible Light Communication* (VLC) memanfaatkan cahaya tampak yang berasal dari pencahayaan *Light Emitting Diode* (LED) pada penerangan dalam ruangan, informasi yang berisi koordinat dan jalur terpendek akan dimodulasikan pada cahaya [2]. Sebagai kandidat kuat untuk jaringan nirkabel berkecepatan tinggi generasi berikutnya, *Visible Light Communication* (VLC) menunjukkan banyak keunggulan dibandingkan komunikasi dengan *Radio Frequency* (RF). Karena mempertimbangkan terlebih dahulu bahwa gelombang cahaya tidak dapat menembus dinding yang kokoh dan keamanan lapisan fisik untuk sistem komunikasi lebih terjamin. *Visible Light Communication* (VLC) dapat diterapkan secara luas juga di banyak lingkungan sensitif *Radio Frequency* (RF) seperti sebagai tambang, pembangkit listrik dan rumah sakit karena faktanya bahwa gelombang tidak pernah menghasilkan interferensi elektromagnetik.

Pada penelitian [3] "Impact of Multipath Reflections on the Performance of Indoor Visible Light Positioning Systems" menggunakan 16 buah LED dan mengambil kesimpulan bahwa refleksi akan berkurang posisi kesalahannya dengan menggunakan estimasi linier. Pada penelitian [4] "Multipath Reflection Analysis of Indoor Visible Light Positioning System" menggunakan 4 LED tetapi dengan tinggi penerima ke sumber sebesar 2.3 m tanpa menentukan titik koordinat, dan mengambil kesimpulan bahwa multipath refleksi akan berkurang kesalahan errornya dengan menambah cakupan area pada LED.

Pada Tugas Akhir ini refleksi multipath dapat menyebabkan penurunan performansi pada sistem VLC dalam ruangan seperti pada nilai daya terima, SNR, dan BER. Tugas Akhir ini juga menyelidiki dampak refleksi multipath terhadap parameter sistem VLC seperti daya terima, SNR,

dan BER. Dengan menggunakan 4 LED, beserta *photodetector* yang akan diletakkan di tengah ruangan. Cakupan komunikasi cahaya tampak dengan ruangan sebesar 6 m x 6 m x 3,5 m menggunakan modulasi OOK. Dengan menyelidiki kekuatan yang diterima dari pemancar LED berbeda di setiap urutan refleksi untuk tiga lokasi. Saat lampu LED dipasang dalam jumlah lampu LED yang lebih besar maka jarak antara lampu LED akan berkurang, distribusi intensitas cahaya akan sama untuk seluruh ruangan karena akurasi posisi yang ditingkatkan.

2. Dasar Teori

2.1 Visible Light Communication

Visible Light Communication (VLC) atau dalam Bahasa Indonesia disebut juga komunikasi cahaya tampak merupakan sebuah teknologi komunikasi yang memanfaatkan pancaran cahaya tampak dari lampu pada sistem komunikasi untuk pengiriman dan penerimaan berupa informasi atau data yang menggunakan gelombang elektromagnetik pada spectrum cahaya tampak antara 780 nm – 375 nm (400 dan 800 THz) [5].

2.1.1 Light Emitting Diode

LED adalah singkatan dari *Light Emitting Diode* merupakan komponen elektronika berupa diode yang dapat memancarkan cahaya apabila dalam keadaan aktif atau mendapatkan arus listrik. LED dapat memancarkan beberapa warna cahaya dan panjang gelombang tergantung pada band-gap dari p-n junction yang terdapat pada material semikonduktor [5].

2.1.2 Photodiode

Photodiode merupakan salah satu jenis diode yang mempunyai fungsi khusus, yaitu sebagai komponen Optoelektrik. Optoelektrik adalah teknologi yang mengkombinasikan optik dan elektrik [1]. Photodiode adalah salah satu jenis diode, dimana pada jenis diode ini memiliki nilai resistansi yang berubah ubah intensitasnya [6].

2.2 On-Off Keying (OOK)

On-Off Keying (OOK) adalah bagian dari ASK dan merupakan modulasi paling sederhana. OOK diwakili oleh bit data 1 dan 0, jika bit data 1 akan ada pulsa di beberapa titik, atau kita dapat mengatakan bahwa sumber cahaya "on", sedangkan jika bit data sama dengan 0, itu mewakili tidak adanya satu kecerahan pada suatu waktu, atau sumber cahaya dinyatakan "mati". Secara umum skema OOK dapat disamakan dengan switch dengan kondisi "on" dan "off" [7].

2.3 Multipath

Multipath adalah suatu kondisi yang timbul ketika sinyal yang ditransmisikan dipantulkan dari hambatan yang berbeda pada media transmisi sehingga menyebabkan beberapa sinyal datang dari arah yang berbeda [8].

2.4 Line Of Sight (LOS)

Pada Tugas Akhir ini kanal yang digunakan adalah *Line of Sight* (LOS). Kanal *Line of Sight* (LOS) memiliki tingkat kesalahan bit yang rendah karena tidak terdapat *obstacle* berupa cahaya lain [8].

Parameter lambertian (m) memiliki hubungan dengan FWHM (θ) sebagai berikut:

$$m = \frac{-\log_{10}(2)}{\log_{10}(\cos(\theta))} , \quad (2.1)$$

dengan kanal LOS memiliki hubungan dengan parameter lambertian (m), A_{det} sebagai luas area *photodetector*, $\cos(\psi)$ sebagai sudut datang, dengan nilai π sebesar 3.14 dan D adalah jarak, dapat dirumuskan dengan:

$$H_d = \frac{(m+1) \times A_{det} \times \cos \psi^{(m+1)}}{(2 \times \pi \times D^2)} , \quad (2.2)$$

dengan daya terima (P_{rx}) yang dapat dihubungkan dengan P_{tot} adalah total daya, H sebagai nilai kanal, T_s adalah gain filter optic dan G_{con} sebagai *gain concentrator optic*. Dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{rx} = P_{tot} \times H \times T_s \times G_{con} , \quad (2.3)$$

2.5 Reflektor

Reflektor adalah jenis cermin yang dapat memantulkan cahaya, suara atau gelombang elektromagnetik. Kegunaan reflektor adalah gelombang cahaya yang dihasilkan oleh pantulan dapat membuat iluminasi gelombang cahaya mencapai tujuannya semaksimal mungkin. Penerangan maksimum gelombang cahaya memiliki sudut 0° dan menurun dengan meningkatnya sudut relatif terhadap sumber cahaya. Adapun persamaan matematik untuk reflektor sebagai berikut:

$$H_{ref}(0) = \frac{A_{det}(m_1+1)}{2(\pi d_1 d_2)^2} \rho dA_{wall} \cos m_1(\phi_r) \cos(\alpha_{ir}) \times \cos(\beta_{ir}) \cos(\psi_r), \quad (2.4)$$

Dengan nilai A_{det} adalah luas area detector, m adalah parameter lambertian, ρ sebagai koefisien pantul reflektor, d_{Awall} adalah luas cell, $\cos(\phi)$ sebagai sudut propagasi, $\cos(\alpha)$ adalah besar sudut datang, $\cos(\beta)$ sebagai sudut pantul dan $\cos(\psi)$ sebagai sudut penerima.

2.6 Parameter Performa Sistem

Pada Tugas Akhir ini parameter perhitungan dalam pengukuran performa sistem VLC yaitu, jarak receiver, *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *Bit Error Rate* (BER).

2.6.1 Jarak Propagasi

Pada sistem VLC, jarak propagasi merupakan jarak antara transmitter dengan receiver. Penerapan nya juga pada sistem VLC semakin dekat jarak receiver dengan transmitter, maka akan semakin banyak juga cahaya komunikasi yang akan ditangkap oleh photodetector. Adanya tambahan reflektor pada kanal, maka jarak yang dihitung terbagi menjadi dua yaitu jarak transmitter terhadap reflektor (d_1) dan jarak reflektor terhadap receiver (d_2). Dengan rumusan d_1 dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$d_1 = \sqrt{(X_{ref} - X_t)^2 + (Y_{ref} - Y_1)^2 + h^2}, \quad (2.5)$$

dengan nilai X_{ref} merupakan letak reflektor dan X_t merupakan transmitter pada sumbu X, sedangkan Y_{ref} merupakan letak reflektor dan Y_t merupakan letak transmitter pada sumbu Y, h merupakan tinggi transmitter. Dengan rumusan d_2 dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$d_2 = \sqrt{(X_{rec} - X_t)^2 + (Y_{rec} - Y_t)^2 + h^2},$$

dengan nilai X_{rec} merupakan letak receiver dan X_t merupakan letak reflektor pada sumbu X, sedangkan Y_{rec} merupakan letak receiver dan Y_t merupakan letak transmitter pada sumbu Y, h merupakan tinggi transmitter.

2.6.2 Perhitungan Kanal LOS

Pada kanal *Line of Sight* (LOS) dengan adanya tambahan reflektor, sudah dituliskan pada persamaan (2.2) dan pada persamaan (2.4)

$$Hd = \frac{(m+1) \times A_{det} \times \cos \psi^{(m+1)}}{(2 \times \pi \times D^2)},$$

$$H_{ref}(0) = \frac{A_{det}(m_1+1)}{2(\pi d_1 d_2)^2} \rho dA_{wall} \cos m_1 + 1(\phi_r) \cos(\alpha_{ir}) \times \cos(\beta_{ir}) T_s(\psi) \cos(\psi_r). \quad (2.6)$$

m merupakan parameter lambertian dengan persamaan pada (2.1) A_{det} merupakan area photodetector, D sebagai jarak dari receiver ke transmitter, ρ sebagai koefisien refleksi dan d_{Awall} adalah luas per cell. Dengan persamaan total nilai kanal sebagai berikut:

$$H = (P_{tot} \times Hd) + (P_{tot} \times H_{ref}). \quad (2.7)$$

2.6.3 Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to Noise Ratio (SNR) adalah suatu perbandingan antara level sinyal informasi dengan level *power noise* yang diterima pada saat ditransmisikan. Nilai SNR digunakan untuk menunjukkan kualitas kanal. Jika semakin besar nilai SNR, maka akan semakin tinggi kualitas kanal tersebut. Perhitungan nilai SNR dapat dilakukan dengan rumus berikut:

$$SNR = \frac{(Prx.R)^2}{2.q.(I_p+I_d).B.M^2.F(M)+2.q.I_1.B+\frac{4.Kb.T.B}{R}}, \quad (2.8)$$

2.6.4 Q-factor

Q-factor adalah *Signal-to-Noise Ratio* pada decision circuit dalam bentuk tegangan arus, yang merupakan kualitas suatu jaringan, dengan nilai SNR dengan persamaan pada (2.8), dengan persamaan sebagai berikut:

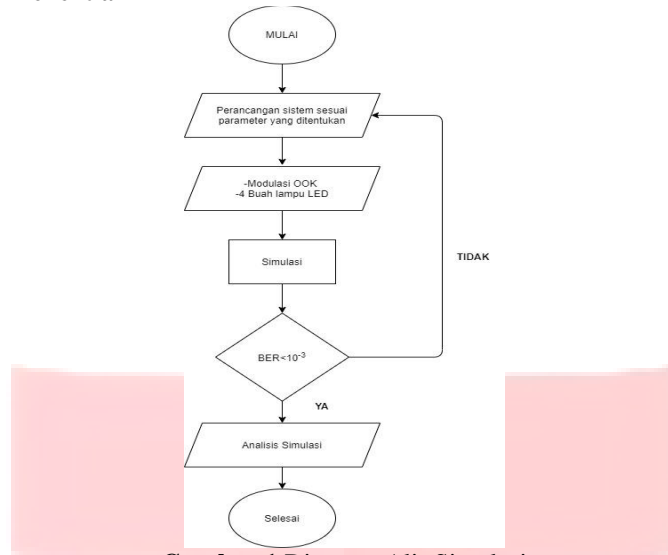
$$Qfactor = \frac{10^{\frac{SNRdb}{10}}}{2}. \quad (2.9)$$

2.6.5 Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate (BER) dapat didefinisikan sebagai jumlah terjadinya error tiap jumlah bit data yang terkirim pada suatu sistem digital. BER test merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui banyak kesalahan pada pembacaan yang diterima. Dengan persamaan BER sebagai berikut:

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{Qfactor}{\sqrt{2}} \right). \quad (2.10)$$

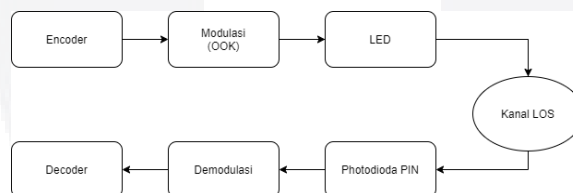
3. Perancangan dan Simulasi sistem
3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Simulasi

Pada Gambar 3.1 adalah diagram yang menggambarkan alir simulasi dari penelitian yang akan dirancang pada tugas akhir ini. Dimulai pada tahap awal simulasi yaitu dengan penginputan beberapa parameter yang dibutuhkan pada simulasi, seperti menggunakan modulasi *On-Off Keying* (OOK), menggunakan 4 buah lampu LED sebagai *transmitter*. Setelah parameter sudah dimasukan, maka simulasi dapat dijalankan. Skenario pada simulasi tugas akhir ini dilakukan dengan ukuran ruangan 6 m x 6 m x 3,5 m dan salah satu sisi ruangan yang diumpamakan sebagai reflektor. Setelah melakukan simulasi, tahap selanjutnya adalah melihat nilai BER apakah kurang dari 10^{-3} , apabila tidak memenuhi syarat tersebut, maka akan dilakukan penginputan ulang pada penentuan parameter. Apabila nilai BER terpenuhi kurang dari 10^{-3} , selanjutnya ke tahap analisis hasil simulasi dengan menggunakan 4 buah lampu LED.

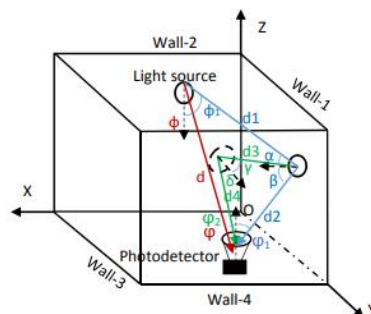
3.2 Diagram Blok



Gambar 2 Diagram blok sistem VLC

Pada Gambar 2 perancangan sistem VLC terdapat dua komponen yaitu *transmitter* dan *receiver*. Sistem bermula dari encoder sebagai sinyal informasi yang masuk. Kemudian pada *transmitter* terdapat modulator yang berguna untuk menumpangkan sinyal pembawa dengan sinyal informasi atau prosesnya biasa juga disebut dengan modulasi dan akan dimodulasi dengan modulasi OOK. Sinyal optik akan diterima oleh Photodiode dengan jenis *Positive Intrinsic Negative* (PIN) *receiver* beserta noise hasil interferensi sinyal optik. Kemudian terakhir sinyal optik yang dikonversi kembali menjadi sinyal listrik akan diterima setelah didemodulasi oleh *decoder*.

3.3 Desain Sistem



Gambar 3 Desain Sistem

Sistem yang terdapat pada simulasi Tugas Akhir ini yaitu sistem komunikasi cahaya tampak dalam ruangan yang ditunjukkan pada Gambar 3.3. Dimana cahaya untuk sampai ke photodetektor melalui tembok yang sebagai reflektor seperti pada garis biru [9]. Bola lampu LED sebagai pemancar dipasang di langit-langit ruangan, dan penerima terletak 1.2 m dari lantai dasar. Modulasi *On-off-keying* (OOK) digunakan pada lampu LED. Enam permukaan refleksi dari ruangan yaitu diasumsikan empat dinding, satu langit-langit dan satu lantai menjadi tegak lurus satu sama lain.

3.4 Parameter Input

3.4.1 Dimensi ruangan

Ruangan simulasi ini diasumsikan dengan ruangan tertutup sehingga tidak ada cahaya (tampak) lain yang dapat menyebabkan noise pada cahaya yang dihasilkan LED, sedangkan didalam ruangan tersebut terdapat salah satu sisi ruangan yang diumpamakan sebagai reflektor. Ukuran ruangan yang disimulasikan pada tugas akhir ini adalah 6 m x 6 m x 3,5 m.

3.4.2 LED

Simulasi yang dilakukan pada Tugas Akhir ini menggunakan lampu LED berjumlah 3 buah sinyal LED. Dimana bola lampu LED sebagai pemancar dipasang di langit-langit ruangan, dan penerima terletak 1.2 m dari lantai 1.

3.4.3 Photodiode

Pada Tugas Akhir ini menggunakan photodetector jenis P-I-N Photodiode sebagai receiver dengan tipe C30810EH. Tipe tersebut memiliki luas permukaan sebesar 1cm^2 dengan Field of View (FOV) sebesar 70° . FOV adalah ruang pandang yang dapat dijangkau oleh photodiode secara optimal.

3.4.3 Skenario Simulasi

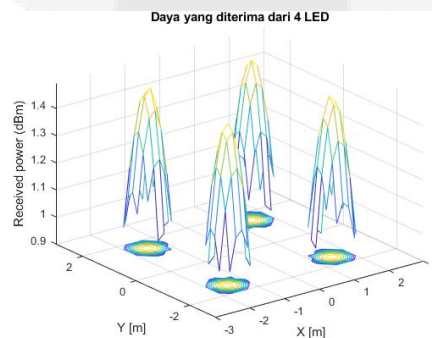
Pada Tugas Akhir ini pengujian dampak multipath refleksi pada sistem VLC dalam ruangan tiga dimensi (3-D) diselidiki, dengan mempertimbangkan kondisi dalam ruangan yang dipengaruhi oleh refleksi pada dinding, lantai dan plafon.

Pada simulasi penelitian ini menggunakan 4 LED, serta *photodetector* yang akan diletakkan ditengah ruangan. Cakupan komunikasi cahaya tampak dengan ruangan sebesar 6 m x 6 m x 3,5 m menggunakan modulasi OOK. Dengan menyelidiki kekuatan yang diterima dari pemancar LED berbeda di setiap urutan refleksi untuk tiga. Saat lampu LED dipasang dalam jumlah lampu LED yang lebih besar maka jarak antara lampu LED akan berkurang, distribusi intensitas cahaya akan sama untuk seluruh ruangan karena akurasi posisi yang ditingkatkan.

4. Hasil Simulasi Dan Analisis

4.1 Simulasi daya yang diterima berdasarkan jarak terhadap 4 lampu

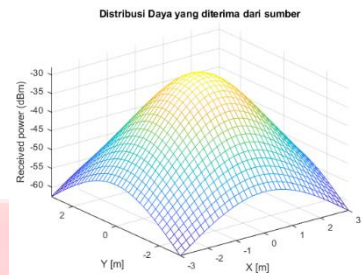
Sebelumnya berdasarkan jarak propagasi, pada sistem VLC, jarak propagasi merupakan jarak antara transmitter dengan receiver. Penerapan nya juga pada sistem VLC semakin dekat jarak receiver dengan transmitter, maka akan semakin banyak juga cahaya komunikasi yang akan ditangkap oleh photodetector, maka hasil berikut ini:



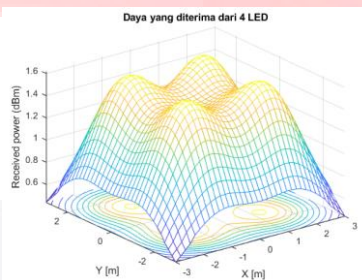
Gambar 4 Daya yang diterima dari 4 LED

Pada Gambar 4 menunjukkan daya yang diterima oleh receiver lebih kecil dari 4 lampu,

sehingga daya yang diterima tidak sampai kepada receiver, begitu juga dengan kualitas distribusi daya yang dihasilkan akan mengecil dan mengkerucut bisa dilihat pada Gambar 4. Warna kuning adalah titik puncak mencapainya bahwa maksimal daya yang diterima, lalu titik biru muda hingga biru tua adalah minimal daya yang diterima, hingga mencapai dasar warna mulai menghilang sehingga tidak sampai pada receiver.



Gambar 5 Kualitas Distribusi daya dari sumber



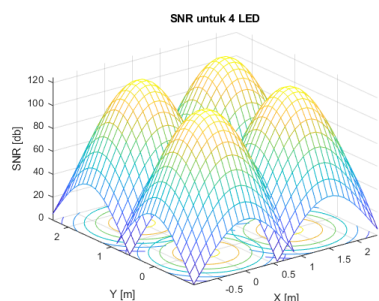
Gambar 6 Daya yang diterima dari 4 LED

Pada Gambar 5 terlihat bahwa kualitas distribusi daya sangat besar dari sumber ke penerima dengan nilai -30 dBm sama seperti $0,001 \text{ mW}$ karena pada saat sampai direceiver berkurang daya selama pengiriman dengan nilai maksimum daya terima sebesar $-27,99 \text{ dBm}$ sama seperti $1,59 \times 10^{-3} \text{ mW}$, pada parameter ketinggian bidang dasar dari penerima sebesar 2.15 terhadap sumber yaitu jarak antara *transmitter* ke *receiver*. Warna kuning adalah titik dimana maksimal daya yang diterima, Sedangkan warna biru muda dan biru tua adalah titik minimal daya dengan nilai -60 dBm sama seperti $0,000001 \text{ mW}$ untuk nilai minimum daya terima $-62,57 \text{ dBm}$ sama seperti $5,53 \times 10^{-7} \text{ mW}$. Semakin jauh jarak antara *transmitter* dengan *receiver* maka nilai daya terima akan semakin kecil. Begitupun sebaliknya, semakin dekat jarak *transmitter* ke *receiver* maka nilai daya terima akan semakin besar.

Sedangkan pada Gambar 6 dengan 4 lampu LED menjelaskan bahwa dengan 4 lampu LED maka penyebaran cahaya nya akan semakin besar dibandingkan dengan Gambar 5 dengan 1 sumber lampu karena dengan pencahayaan lampu yang lebih lebar akan membuat daerah yang dicakup oleh *transmitter* dalam ruangan maka semakin banyak. Dengan begitu penyebaran cahaya pada Gambar 6 dengan 4 lampu LED lebih baik dibandingkan dengan 1 sumber lampu. Distribusi daya yang diterima oleh 4 lampu LED lebih besar dibandingkan dengan 1 sumber lampu, maka dari itu nilai maksimum daya terima 4 lampu LED sebesar $1,616 \text{ dBm}$ sama seperti $1,45 \text{ mW}$, dan nilai minimum daya terima $0,437 \text{ dBm}$ sama seperti $1,11 \text{ mW}$.

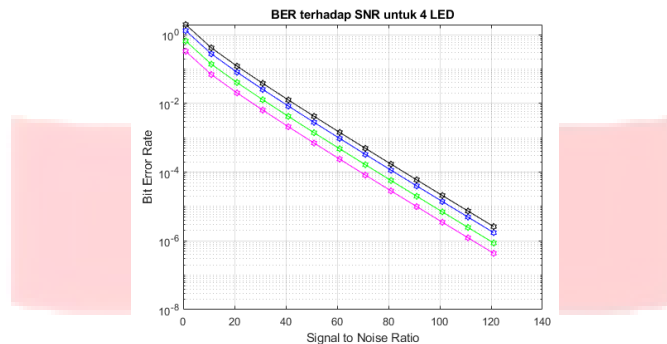
4.2 Simulasi SNR terhadap 4 buah LED

SNR merupakan ukuran yang biasa difungsikan untuk membandingkan level dari sinyal yang diinginkan dengan noise yang tidak diinginkan.



Gambar 7 Rasio signal to noise untuk 4 buah LED

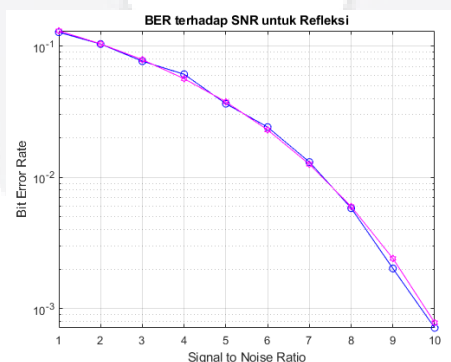
Rasio kekuatan sinyal terhadap daya noise yang dinyatakan dalam desibel (dB) dari 4 LED ini memiliki kualitas yang baik untuk penerima karena dengan 4 LED penyebaran cahayanya akan lebih lebar, maka dari itu kekuatannya juga akan memiliki kualitas yang baik. Warna kuning untuk 4 lampu LED pada Gambar 7, yaitu sebagai sinyal output maksimal dari sumber yang ditangkap oleh penerima dengan nilai SNR maksimum yang didapat sebesar 124,4 dB. Sedangkan nilai minimum SNR yang didapat pada gambar 4.4 0,829 dB karena semakin jauh dengan lampu maka nilai SNR-nya akan semakin rendah. Setiap kotak mempresentasikan nilai sinyal yang diterima oleh receiver.



Gambar 8 BER Terhadap Rasio Signal to Noise untuk 4 buah LED

Rasio kekuatan sinyal terhadap daya noise yang dinyatakan dalam desibel (dB) dari 4 LED ini memiliki kualitas yang baik untuk penerima. SNR dari 4 LED memiliki nilai sebesar 120 dB. Ketika nilai maksimum SNR 120 dB pada garis hitam yang menunjukkan LED 1 dengan nilai BER terendah $2,605 \times 10^{-6}$, lalu pada garis biru yang menunjukkan LED 2 dengan nilai BER terendah $1,737 \times 10^{-6}$, kemudian pada garis hijau yang menunjukkan LED 3 dengan nilai BER terendah $8,683 \times 10^{-6}$, dan pada garis ungu yang menunjukkan LED 4 dengan nilai BER terendah $4,342 \times 10^{-6}$. Untuk nilai minimum SNR 1 dB pada garis hitam yang menunjukkan LED 1 dengan nilai BER 1,964, lalu pada garis biru yang menunjukkan LED 2 dengan nilai BER 1,309, kemudian pada garis hijau yang menunjukkan LED 3 dengan nilai BER 0,6547, dan pada garis ungu yang menunjukkan LED 4 dengan nilai BER 0,3274. Ini menandakan bahwa BER yang baik pada 4 lampu LED ketika SNR dengan nilai 120 dB, karena kurang dari 10^{-6} .

4.3 Simulasi BER



Gambar 9 BER terhadap SNR

Bit Error Rate (BER) yang ditunjukkan merupakan perbandingan jumlah kesalahan bit dengan jumlah keseluruhan bit ketika transmisi data dari source hingga ke receiver. Nilai SNR pada VLC akan berpengaruh terhadap perubahan nilai BER yang akan dihasilkan. Dilihat dari grafik dari hasil simulasi dengan warna biru sebagai SNR & BER tanpa Q faktor sedangkan warna magenta sebagai SNR & BER dengan Q factor. Dan hasil yang ditunjukkan nilai SNR dengan Q faktor pada BER terbukti lebih tinggi dibandingkan dengan SNR dengan BER tanpa Q faktor. Semakin tinggi nilai SNR maka semakin baik pula kualitas VLC yang digunakan pada tugas akhir ini, dengan BER standar yaitu sebesar 10^{-3} .

5. Kesimpulan

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis pada sistem VLC untuk dampak multipath refleksi, menggunakan 4 LED dengan parameter yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Penggunaan metode OOK standar pada VLC dapat digunakan dengan baik, karena pada simulasi ini didapatkan BER titik tertentu, yang berarti hanya 1 bit yang error dari total 1000 bit. Dengan kualitas SNR yang baik, karena maksimum nilai SNR yang relatif besar maka kualitas kanal akan semakin tinggi.
2. Pada daya terima terhadap jarak menggunakan 1 sumber lampu dengan nilai -30 dBm sama seperti $0,001 \text{ mW}$ memiliki nilai maksimum daya terima sebesar $-27,99 \text{ dBm}$ sama seperti $1,59 \times 10^{-3} \text{ mW}$. Sedangkan dengan nilai -60 dBm sama seperti $0,000001 \text{ mW}$ untuk nilai minimum daya terima $-62,57 \text{ dBm}$ sama seperti $5,53 \times 10^{-7} \text{ mW}$. Dan pada daya terima menggunakan 4 lampu LED itu nilai maksimum daya terima sebesar $1,616 \text{ dBm}$ sama seperti $1,45 \text{ mW}$ dengan nilai minimum daya terima $0,437 \text{ dBm}$ sama seperti $1,11 \text{ mW}$. Semakin jauh jarak antara *transmitter* dengan *receiver* maka nilai daya terima akan semakin kecil. Begitupun sebaliknya, semakin dekat jarak *transmitter* ke *receiver* maka nilai daya terima akan semakin besar.
3. Hasil simulasi SNR terhadap 4 LED membuktikan bahwa nilai SNR maksimum yang didapat sebesar $124,4 \text{ dB}$. Sedangkan nilai minimum SNR yang didapat pada Gambar 4.4 $0,829 \text{ dB}$. Pada 4 LED ini memiliki kualitas yang baik untuk penerima karena dengan 4 LED penyebaran cahaya dalam ruangnya akan lebih lebar, maka dari itu kekuatan sinyalnya juga akan memiliki kualitas yang baik. Ditarik kesimpulan bahwa semakin jauh jarak *transmitter* ke *receiver* maka nilai SNRnya akan semakin rendah, begitupun sebaliknya.
4. Hasil simulasi BER terhadap SNR, ketika nilai maksimum SNR 120 dB maka setiap lampu LED memiliki nilai BER yang berbeda-beda contohnya pada LED 1 memiliki nilai BER terendah $2,605 \times 10^{-6}$. Ketika nilai minimum SNR 1 dB maka nilai BER pada setiap LED juga berbeda-beda contohnya pada LED 1 memiliki nilai BER $1,964$. Diambil kesimpulan bahwa BER yang baik pada 4 lampu LED ketika SNR dengan nilai 120 dB , karena kurang dari 10^{-6} . Jika nilai SNR semakin besar maka nilai BER akan semakin kecil.

5.2 Saran

Dengan kesimpulan yang telah dibuat, terdapat beberapa hal yang mungkin dapat diperbaiki atau bisa dikembangkan untuk penelitian pada sistem VLC ini, yaitu:

1. Penelitian berikutnya bisa menggunakan modulasi lain untuk mengetahui jarak propagasi yang mungkin bisa lebih baik dari sistem VLC ini.
2. Penelitian berikutnya bisa menggunakan beberapa varian lampu agar mengetahui SNR yang diterima terhadap penerima dalam ruangan parameter tertentu.

Referensi

- [1] D. Yulian, D. Darlis, and S. Aulia, "Perancangan Dan Implementasi Perangkat Visible Light Communication Sebagai Transceiver Video," *J. Elektro dan Telekomun. Terap.*, vol. 2, no. 2, 2016, doi: 10.25124/jett.v2i2.106.
- [2] W. Gu, "Indoor Localization Based on Visible Light Communication," no. August, 2016.
- [3] W. Gu, M. Aminikashani, P. Deng, and M. Kavehrad, "Impact of Multipath Reflections on the Performance of Indoor Visible Light Positioning Systems," *J. Light. Technol.*, vol. 34, no. 10, pp. 2578–2587, 2016.
- [4] W. Gu, M. Aminikashani, and M. Kavehrad, "Indoor visible light positioning system with multipath reflection analysis," *2016 IEEE Int. Conf. Consum. Electron. ICCE 2016*, no. Mmc, pp. 89–92, 2016, doi: 10.1109/ICCE.2016.7430533.

- [5] Y. Santoso, E. Mozef, and K. Kunci, "Implementasi Komunikasi Cahaya Tampak Melalui Lampu LED pada Sistem Komunikasi Suara Menggunakan Modulasi Frekuensi," no. VIc, pp. 26–27, 2020.
- [6] L. Britnell *et al.*, "Strong Light-Matter Interactions Thin Films," *Science (80-.)*, vol. 340, no. June, pp. 1311–1315, 2013.
- [7] A. R. Darlis, L. Lidyawati, and D. Nataliana, "Implementasi Visible Light Communication (VLC) Pada Sistem Komunikasi," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 1, no. 1, p. 13, 2017, doi: 10.26760/elkomika.v1i1.13.
- [8] A. S. Maulana, F. T. Elektro, U. Telkom, and O. Keying, "Pengaruh Modulasi Ook Dan Qam Pada Komunikasi Cahaya Tampak Dengan Penambahan Reflektor Impact of Ook and Qam Modulation for Visible Ligth Communication With Addition of Reflectors," vol. 6, no. 2, pp. 4298–4305, 2019.
- [9] M. S. Braasch, "Performance comparison of multipath mitigating receiver architectures," *IEEE Aerosp. Conf. Proc.*, vol. 3, pp. 31309–31315, 2001, doi: 10.1109/aero.2001.931361.