

PENGARUH SUDUT ORIENTASI PENERIMA PADA KANAL LOS DAN NLOS TERHADAP PERFORMANSI VISIBLE LIGHT COMMUNICATION

RECEIVER ANGLE ORIENTATION IMPACTS ON LOS AND NLOS CHANNEL OF VISIBLE LIGHT COMMUNICATION PERFORMANCE

Fairuzh Shalma Nabila¹, Nachwan Mufti Adriansyah², M. Irfan Maulana³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹fairuzhshalmanabila@student.telkomuniversitygmail.ac.id,²nachwanma@telkomuniversity.ac.id,³muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Visible Light Communication sebagai teknologi yang saat ini sedang dikembangkan memiliki banyak kelebihan yang diberikan, namun terdapat kekurangan pada pendistribusian cahaya atau daya yang diterima yang dapat dipengaruhi oleh kondisi ruangan dan sudut orientasi penerima. Dalam upaya mengetahui pengaruh yang dapat diperoleh dengan adanya suatu kondisi yang dapat mempengaruhi daya yang diterima, pada penelitian ini meneliti tentang pengaruh sudut orientasi penerima sebesar 0°, 15° dan 25° pada performansi pendistribusian cahaya sistem *Visible Light Communication* menggunakan modulasi *On Off Keying Non Return to Zero* (OOK-NRZ) dengan 2 skenario kondisi ruangan, *Line Of Sight* (LOS) dan *Non-Line Of Sight* (NLOS). Hasil pengujian didapatkan sudut orientasi penerima dapat mempengaruhi cakupan komunikasi menjadi lebih kecil namun dengan didapatkan daya terima terkecil yang lebih optimal yang dapat melakukan komunikasi cahaya tampak dengan kondisi ruang yang memiliki *blockage* atau kanal NLOS.

Kata kunci: *Visible Light Communication, Line of Sight, Non-Line of Sight, Receiver Angle Orientation, Bit Error Rate.*

Abstract

Visible Light Communication as a technology that is currently being developed has many advantages given, however there is a deficiency in the distribution of light or received power which can be affected by the conditions of the room and the orientation of the receiver angle. In an effort to know the effect that can be obtained by the presence of a condition that can affect the received power, in this study examines the influence of the receiver angle orientation of 0°, 15° and 25° on the performance of the distribution of *Visible Light Communication* systems using *On Off Keying Non Return to Zero* modulation (OOK-NRZ) with 2 room condition scenarios, *Line of Sight* (LOS) and *Non-Line of Sight* (NLOS). The results show that the orientation of the receiver angle can affect the communication coverage to be smaller, but get the value of smallest received power more optimal which can perform the communication of visible light with condition of the room that has *blockage* or in NLOS channel.

Keywords: *Visible Light Communication, Line of Sight, Non-Line of Sight, Receiver Angle Orientation, Bit Error Rate.*

1. Pendahuluan

Pada teknologi optik dalam sistem komunikasi nirkabel terdapat *Optical Wireless Communication* (OWC). OWC mendukung sistem komunikasi berkecepatan tinggi, salah satu pengembangan teknologi OWC ialah *Visible Light Communication* (VLC). Teknologi VLC menggunakan cahaya sebagai sinyal pembawa dengan kecepatan tinggi telah menjadi teknologi yang paling digunakan saat ini. *Light Emitting Diode* (LED) sebagai pemancar atau menjadi pengirim pada komunikasi nirkabel optik pada ruang tertutup, disisi lain kelebihan LED ialah dapat ditemui di kehidupan sehari – hari. LED sebagai *transmitter* dapat mengirimkan daya ke *receiver* dengan beberapa hal yang perlu diperhatikan, daya yang dikirimkan oleh LED dapat dipengaruhi oleh kondisi ruangan juga sudut orientasi pada sisi *receiver*[1], karena itu pada tugas akhir ini dilakukan analisis tentang bagaimana pengaruh sudut orientasi penerima pada pendistribusian cahaya VLC, menggunakan modulasi OOK-NRZ pada kanal *Non Line Of Sight* (NLOS) diruangan *indoor* dalam sistem VLC.

2. Dasar Teori

2.1. Visible Light Communication

Visible Light Communication(VLC) merupakan salah satu terobosan dalam teknologi telekomunikasi pada media transmisi. VLC menggunakan cahaya tampak sebagai pembawa informasi. Cahaya tampak *Visible Light* adalah radiasi elektromagnetik pada rentang panjang gelombang. Cahaya tampak memiliki keunggulan karena tidak hanya digunakan sebagai pencahayaan, namun juga dapat menjadi media penyampaian data atau informasi [2] Keunggulan utama dari cahaya tampak adalah bandwidth spektrum frekuensi dan panjang gelombang yang

berkisar 430Thz (380 nm) sampai 750Thz (750 nm) [3].

2.2. LED

Light Emitting Diode (LED) merupakan komponen elektronika yang masuk kedalam jenis semikonduktor yang terdapat diode dibagian dalam LED, dimana diode dapat memancarkan cahaya jika dialiri arus listrik.

2.3. Photodetector

Photodetector atau photodiode adalah jenis diode yang berfungsi mendeteksi cahaya dan diode ini dapat mengubah cahaya menjadi energi arus listrik. Resistansi diode sendiri dipengaruhi oleh seberapa intensitas cahaya yang diterima photodetector[4] *Photodetector* terdiri dari satu lapisan semikonduktor tipe-P dan tipe-N yang memiliki beberapa jenis bahan. Terdapat dua jenis *photodetector* yang digunakan pada komunikasi serat optik, *Positive-Intrinsic Negative* (PIN) *photodetector* dan *Avalanched Photo Diode* (APD) *photodetector*.

2.4. Kanal Transmisi

Kanal Transmisi merupakan media elektrik yang menjembatani pengiriman informasi antara *transmitter* dan *receiver*. Pada penelitian, kanal yang digunakan ialah kanal *Line Of Sight* (LOS) dan *Non-Line Of Sight* (NLOS), dengan terdapat *blockage* pada salah satu sisi ruangan. Distribusi sudut pada pola intensitas radiasi menggunakan persamaan Lambertian (m) dengan θ atau FWHM yang bernilai 50°

$$m = \frac{-\log_{10}(2)}{\log_{10}(\cos \Phi_{1/2})}, \quad (1)$$

Persamaan kanal LOS dirumuskan :

$$H = \frac{(m + 1) \cdot A_r \cdot \cos^{m+1}(\Phi)}{2 \cdot \pi \cdot D^2}, \quad (2)$$

dengan (A_r) merupakan area *photodetector* pada penerima, (D) sebagai jarak penerima terhadap pengirim dan (Φ) adalah sudut propagasi dari pengirim dengan penerima. Pada kanal NLOS dengan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kehilangan arah atau jalur optik dan dikarenakan faktor fisik lain, salah satu faktor pada kanal NLOS ialah terdapat *blockage*. Persamaan kanal *blockage* sebagai berikut[5]:

$$H = \frac{(m+1) \cdot A_e \cdot \cos^{m+1}(\Phi)}{2 \cdot \pi \cdot d^2} \times O, \quad (3)$$

dimana (O) merupakan probabilitas *blocking*, dengan asumsi pengurangan daya bernilai 0.8 yang dimana dari daya yang dikirim setelah terkena *blockage* daya akan diteruskan sebesar 80% ke *shadowing area* kemudian dilanjutkan ke *photodetector*. Daya terima pada *photodetector* didapatkan dengan persamaan :

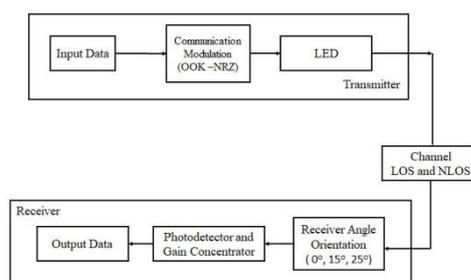
$$P_{rx} = P_{tot} \cdot H \cdot G_{con}, \quad (4)$$

2.5. On Off Keying Non Return to Zero

Pada sistem *Visible Light Communication* di dalam ruangan LED satu sumber cahaya salah satu modulasi yang digunakan *On-Off Keying* (OOK) karena sifatnya yang sederhana[6]. Modulasi merupakan proses penumpangan informasi yang terkandung dalam sebuah frekuensi pada sebuah frekuensi pembawa. Modulasi OOK termasuk ke dalam modulasi digital, dimana sinyal dalam modulasi digital berbentuk sinyal pulsa dan hanya memiliki dua kondisi yaitu 0 (OFF) dan 1 (ON). Terdapat 2 skema OOK, *Return to Zero* (RZ), ketika bit 1 hanya menempati sebagian durasi bit dan *Non-Return to Zero* (NRZ) dimana bit 1 menandakan jika pulsa optik menempati keseluruhan durasi bit, sedangkan bit 0 menandakan tidak ada pulsa optik[7].

3. Perancangan dan Simulasi Sistem

3.1. Blok Diagram Sistem



Gambar 3.1 Model Sistem VL

Pada Gambar 3.1 pada sisi transmitter yang dirancang berfungsi sebagai sumber informasi yang

akan dikirim berupa sinyal dalam bentuk cahaya dan udara sebagai media rambatnya. Selanjutnya, dilakukan modulasi menggunakan modulasi *On Off Keying Non Return to Zero* (OOK NRZ), kemudian sinyal yang telah dimodulasi dikirimkan ke LED, sehingga LED dapat mentransmisikan cahaya melalui *Channel*, menggunakan kanal *Line Of Sight* (LOS) dan kanal *Non-Line Of Sight* (NLOS) dan menuju *receiver*. Pada bagian *receiver* sebelum mengarah ke *photodetector*, dilakukan pengujian dengan sudut orientasi tertentu sebesar $0^\circ, 15^\circ$ dan 25° terhadap *transmitter*. Selanjutnya sinyal cahaya yang membawa informasi akan memasuki permukaan *photodetector*, dimana terjadi perubahan sinyal cahaya kembali menjadi sinyal listrik. *photodetector* yang digunakan pada penelitian ini berjenis *Positiv Intrinsic Negative* (PIN). Setelah melewati *photodetector* daya yang diterima *receiver* akan dihitung untuk mengetahui nilai *Bit Error Rate*.

3.2. Desain Pengujian VLC

Pada simulasi sistem Tugas Akhir ini, memfokuskan pada spesifikasi LED, modulasi, kanal transmisi yang digunakan dan sudut orientasi penerima.

3.2.1 Spesifikasi LED

Pada Tugas Akhir ini menggunakan 1 buah LED dengan daya kirim total sebesar 6 Watt. Lampu LED diletakkan tepat ditengah atas ruangan dengan titik koordinat (0,0,3).

3.2.2 Kanal Transmisi

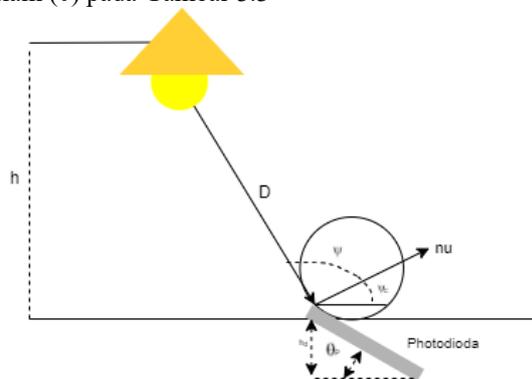
Kanal yang digunakan ialah kanal *Line Of Sight* (LOS) atau daya dapat langsung diterima oleh penerima dan *Non-Line Of Sight* (NLOS) atau terdapat *blockage* sehingga penerima tidak menerima langsung daya yang dikirimkan.

3.2.3 Spesifikasi Photodetector

Penelitian ini menggunakan *photodetector* berjenis PIN *photodetector* yang memiliki *Field Of View* (FOV) sebesar 70° dengan luas permukaan 1 cm^2 dan *Responsivity* sebesar 0.55 A/W dengan *Optical Concentrator*, *index* refraktif 1.5.

3.2.4 Sudut Orientasi Penerima

Pada penelitian sistem VLC di Tugas Akhir ini menggunakan sudut orientasi penerima yang bertujuan untuk mengetahui daya terima dari cakupan yang diterima oleh *receiver*, dan ketika daya diterima oleh *receiver*, maka nilai daya juga dapat mempengaruhi hasil BER pada akhir penelitian. Pada Tugas Akhir ini, menggunakan sudut orientasi penerima yang telah ditentukan yaitu $0^\circ, 15^\circ$ dan 25° yang dinotasikan dalam (θ) pada Gambar 3.3



Gambar 3. 2 Ilustrasi Sudut Orientasi Penerima

Algorithm 1: Algoritma Penelitian

```

Result: Daya pada penerima ( $P_r$ )
initiate  $P_t, P_r, \phi, FOV, d, h, G_{Con}$ ;
while  $\Phi < FOV$  do
   $P_r = P_t \cdot d \cdot h \cdot G_{Con}$ ;
  if  $\Phi > FOV$  then
     $P_r = 0$ ;
  end
end

```

Gambar 3.4 Algoritma Penelitian

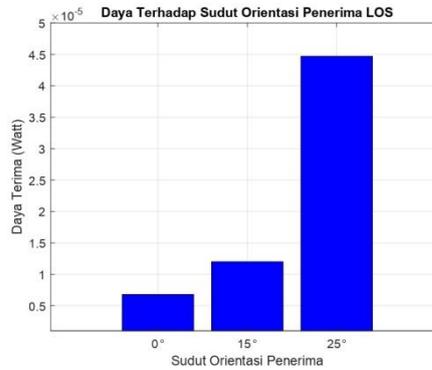
4. Hasil dan Analisis

Pada bab ini disajikan hasil perhitungan sistem VLC pada ruangan *indoor* dengan ukuran $5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ dengan menggunakan skenario LOS dan NLOS dengan terdapat *blockage*. Skenario dilakukan dengan daya kirim *transmitter* sebesar 6 Watt dan pada *receiver* masing - masing simulasi skenario menggunakan sudut orientasi penerima sebesar $0^\circ, 15^\circ$ dan 25° . Hasil analisis berupa

analisis sudut propagasi terhadap *Bit Error Rate* dan Distribusi *Bit Error Rate* dengan daya terima terkecil yang masih bisa melakukan komunikasi cahaya tampak.

4.1 Analisis Hasil Perhitungan Daya Terima Terkecil Terhadap Berbagai Sudut Orientasi Penerima

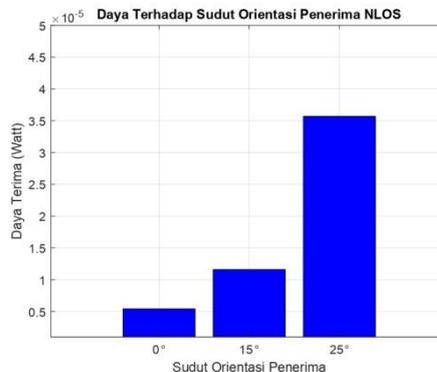
4.1.1 Analisis Hasil Perhitungan Daya Terima Terkecil Terhadap Berbagai Sudut Orientasi Penerima Skenario LOS



Gambar 4.1.1 Diagram perbandingan daya terima total terkecil terhadap berbagai sudut orientasi penerima pada skenario LOS

Pada **Gambar 4.1** menunjukkan nilai daya terima terhadap berbagai sudut orientasi penerima yang diujikan. Semakin besar sudut orientasi penerima, maka semakin besar daya terima terkecil yang dapat diterima oleh *receiver*, ataupun sebaliknya. Hal tersebut karena semakin terbatasnya luas cakupan yang dapat melakukan komunikasi cahaya tampak dan semakin dekat *receiver* dengan *transmitter*. Dapat dibuktikan nilai daya terima terkecil dari ketiga sudut orientasi penerima terdapat pada sudut 0° dengan nilai daya terima 6.79×10^{-6} Watt -51.6 dBm, pada sudut 15° nilai daya terima terkecil sebesar 1.45×10^{-5} Watt atau -48.3 dBm dan pada sudut 25° nilai daya terima terkecil sebesar 4.47×10^{-5} Watt atau -43.5 dBm. Hal ini juga dipengaruhi oleh adanya *G-Concentrator* yang berada pada *photodetector* yang dipengaruhi pula oleh pergerakan sudut orientasi pada *receiver*.

4.1.2 Analisis Hasil Perhitungan Daya Terima Terkecil Terhadap Berbagai Sudut Orientasi Penerima Pada Skenario NLOS/Blockage

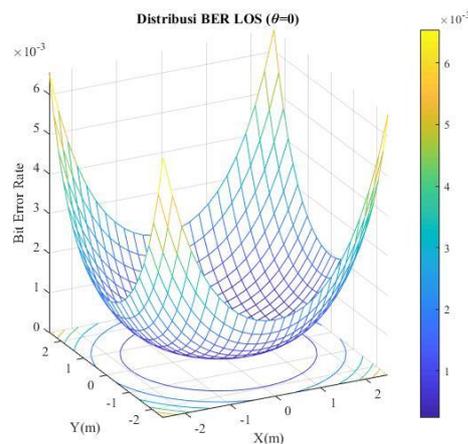


Gambar 4.1.2 Diagram perbandingan daya terima total terkecil terhadap berbagai sudut orientasi penerima pada skenario NLOS/Blockage

Pada **Gambar 4.2** menunjukkan nilai daya terima terhadap berbagai sudut orientasi penerima yang diujikan. Semakin besar sudut orientasi penerima, maka semakin besar daya terima terkecil yang dapat diterima oleh *receiver*, ataupun sebaliknya. Hal tersebut karena semakin terbatasnya luas cakupan yang dapat melakukan komunikasi cahaya tampak dan semakin dekat *receiver* dengan *transmitter*. Dapat dibuktikan nilai daya terima terkecil dari ketiga sudut orientasi penerima terdapat pada sudut 0° dengan nilai daya terima 5.43×10^{-6} Watt atau -52.6 dBm, pada sudut 15° nilai daya terima terkecil sebesar 1.16×10^{-5} Watt atau -49.3 dBm dan pada sudut 25° nilai daya terima terkecil sebesar 3.57×10^{-5} Watt atau -44.4 dBm. Hal ini juga dipengaruhi oleh adanya *G-Concentrator* yang berada pada *photodetector* yang dipengaruhi pula oleh pergerakan sudut orientasi pada *receiver*. Dapat dianalisis juga, bahwa daya terima terkecil pada ruangan NLOS dengan *blockage* lebih kecil dibandingkan ruangan LOS, karena penerima tidak sepenuhnya menerima daya yang dikirimkan *transmitter*.

4.2 Distribusi BER terhadap Cakupan Luas Komunikasi

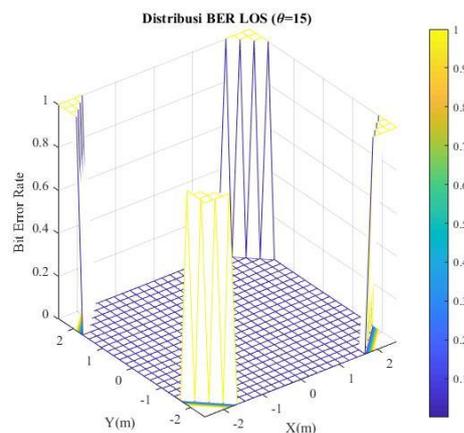
4.2.1 Distribusi BER pada skenario LOS dengan sudut orientasi penerima sebesar 0°



Gambar 4.2.1 Grafik BER pada skenario LOS dengan sudut orientasi penerima sebesar 0°

Pada **Gambar 4.2.1** hasil analisis diilustrasikan dalam bentuk tiga dimensi. Alas ruangan menggunakan Sumbu X(m) dan Y(m). Dari gambar, dapat dianalisis semakin dekat posisi penerima dengan sumber cahaya, maka nilai BER yang didapatkan akan semakin kecil, maka daya yang diterima *receiver* semakin besar. Pada gambar distribusi, warna biru menggambarkan semakin kecil nilai BER yang didapatkan, sedangkan warna kuning menggambarkan semakin besar nilai BER. Pada skenario kanal LOS dengan sudut orientasi 0° didapatkan daya terima terkecil sebesar 6.79×10^{-6} Watt atau -51.6 dBm. Pada Tugas Akhir ini, dengan acuan terkecil nilai BER adalah 10^{-3} terdapat 625 *cell* yang memenuhi nilai BER, maka cakupan luas komunikasi dari hasil perhitungan skenario LOS dengan sudut penerima sebesar 0° adalah 25 m^2 atau 100% seluruh *cell* yang bisa untuk komunikasi cahaya tampak.

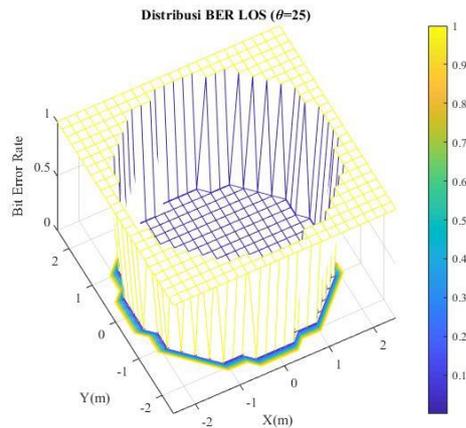
4.2.2 Distribusi BER pada skenario LOS dengan sudut orientasi penerima sebesar 15°



Gambar 4.2.2 Grafik BER pada skenario LOS dengan sudut orientasi penerima sebesar 15°

Pada **Gambar 4.2.2** hasil analisis disajikan dalam bentuk tiga dimensi. Dari gambar, dapat dianalisis semakin dekat posisi penerima dengan sumber cahaya, maka nilai BER yang didapatkan akan semakin kecil yang dalam ilustrasi berwarna biru, maka informasi yang akan diterima oleh *receiver* akan semakin besar. Di lain sisi, warna kuning menggambarkan semakin besar nilai BER. Pada skenario kanal LOS dengan sudut orientasi 15° didapatkan daya terima terkecil sebesar 1.45×10^{-5} Watt atau -48.3 dBm. Pada Tugas Akhir ini, dengan acuan terkecil nilai BER adalah 10^{-3} terdapat 585 *cell* yang memenuhi nilai BER, maka cakupan luas komunikasi dari hasil perhitungan skenario LOS dengan sudut penerima sebesar 15° adalah 23.4 m^2 atau 93.6% dari seluruh *cell* yang bisa untuk komunikasi cahaya tampak.

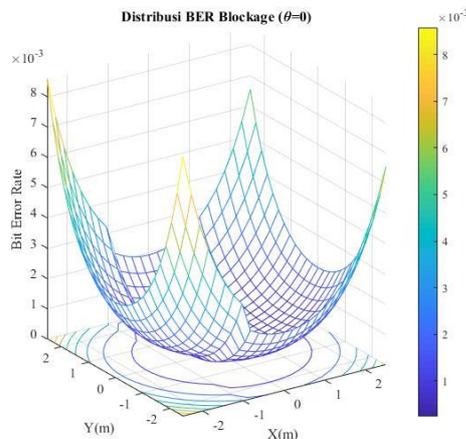
4.2.3 Distribusi BER pada skenario LOS dengan sudut orientasi penerima sebesar 25°



Gambar 4.2.3 Grafik BER pada skenario LOS dengan sudut orientasi penerima sebesar 25°

Pada **Gambar 4.2.3** hasil analisis dipaparkan dalam bentuk tiga dimensi. Dari gambar, dapat dianalisis semakin dekat posisi penerima dengan sumber cahaya, maka nilai BER yang didapatkan akan semakin kecil yang dalam ilustrasi berwarna biru dan warna kuning menggambarkan semakin besar nilai BER. Pada skenario kanal LOS dengan sudut orientasi 25° didapatkan daya terima terkecil sebesar 4.47×10^{-5} Watt atau -43.5 dBm. Pada Tugas Akhir ini, dengan acuan terkecil nilai BER adalah 10^{-3} terdapat 343 *cell* yang memenuhi nilai BER, maka cakupan luas komunikasi dari hasil perhitungan skenario LOS dengan sudut penerima sebesar 25° adalah 13.64 m^2 atau hanya 45.44% dari seluruh *cell* yang bisa untuk komunikasi cahaya tampak.

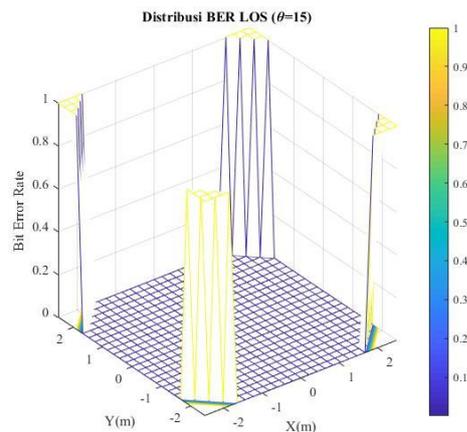
4.2.4 Distribusi BER pada skenario Blockage dengan sudut orientasi penerima sebesar 0°



Gambar 4.2.4 Grafik BER pada skenario Blockage dengan sudut orientasi penerima sebesar 0°

Pada **Gambar 4.2.4** hasil analisis disajikan dalam bentuk tiga dimensi. Dari gambar, dapat dianalisis semakin dekat posisi penerima dengan sumber cahaya, maka nilai BER yang didapatkan akan semakin kecil, maka informasi yang akan diterima oleh *receiver* akan semakin besar. Pada gambar distribusi, warna biru menggambarkan semakin kecil nilai BER yang didapatkan, sedangkan warna kuning menggambarkan semakin besar nilai BER. Pada skenario kanal NLOS atau ruangan dengan *blockage* dengan sudut orientasi 0° didapatkan daya terima terkecil sebesar 5.43×10^{-6} Watt atau -52.6 dBm. Pada Tugas Akhir ini, dengan acuan terkecil nilai BER adalah 10^{-3} terdapat 625 *cell* yang memenuhi nilai BER, maka cakupan luas komunikasi dari hasil perhitungan skenario *blockage* dengan sudut penerima sebesar 0° adalah 25 m^2 atau 100% seluruh *cell* yang bisa untuk komunikasi cahaya tampak.

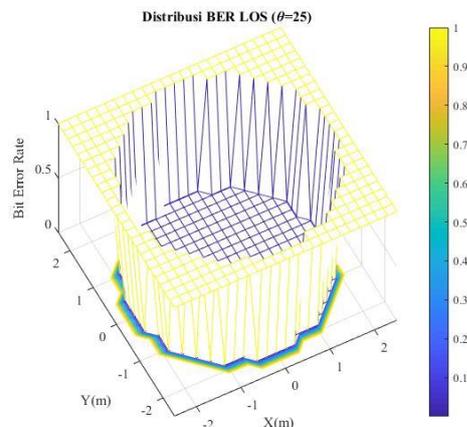
4.2.5 Distribusi BER pada skenario Blockage dengan sudut orientasi penerima sebesar 15°



Gambar 4.2.5 Grafik BER pada skenario Blockage dengan sudut orientasi penerima sebesar 15°

Pada **Gambar 4.2.5** hasil analisis dijelaskan dalam bentuk tiga dimensi. Dari gambar, dapat dianalisis semakin dekat posisi penerima dengan sumber cahaya, maka nilai BER yang didapatkan akan semakin kecil yang dalam ilustrasi berwarna biru dan warna kuning menggambarkan semakin besar nilai BER. Pada skenario kanal NLOS atau ruangan dengan *blockage* dengan sudut orientasi 15° didapatkan daya terima terkecil sebesar 1.16×10^{-5} Watt atau -49.3 dBm. Pada Tugas Akhir ini, dengan acuan terkecil nilai BER adalah 10^{-3} terdapat 585 *cell* yang memenuhi nilai BER, maka cakupan luas komunikasi dari hasil perhitungan skenario *blockage* dengan sudut penerima sebesar 15° adalah 23.4 m^2 atau 93.6% dari seluruh *cell* yang bisa untuk komunikasi cahaya tampak.

4.2.6 Distribusi BER pada skenario Blockage dengan sudut orientasi penerima sebesar 25°



Gambar 4.2.6 Grafik BER pada skenario Blockage dengan sudut orientasi penerima sebesar 25°

Pada **Gambar 4.2.6** hasil analisis disajikan dalam bentuk tiga dimensi. Dari ilustrasi, dapat dianalisis semakin dekat posisi penerima dengan sumber cahaya, maka nilai BER yang didapatkan akan semakin kecil yang dalam gambar berwarna biru, maka informasi yang akan diterima oleh *receiver* akan semakin besar. Di lain sisi, warna kuning menggambarkan semakin besar nilai BER. Pada skenario kanal NLOS atau ruangan dengan *blockage* dengan sudut orientasi 25° didapatkan daya terima terkecil sebesar 3.57×10^{-5} Watt atau -44.4 dBm. Pada Tugas Akhir ini, dengan acuan terkecil nilai BER adalah 10^{-3} terdapat 343 *cell* yang memenuhi nilai BER, maka cakupan luas komunikasi dari hasil perhitungan skenario *blockage* dengan sudut penerima sebesar 25° adalah 13.64 m^2 atau hanya 45.44% dari seluruh *cell* yang bisa untuk komunikasi cahaya tampak.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari simulasi dan analisis simulasi yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam Tugas Akhir ini, terbukti daya terima terkecil pada skenario NLOS atau dengan blockage lebih kecil dibandingkan dengan skenario LOS karena penerima yang terhalang tidak dapat mendapatkan keseluruhan daya yang dikirimkan *transmitter*.
2. Dari Tugas Akhir ini didapatkan cakupan luas komunikasi pada skenario LOS pada sudut orientasi penerima 0° , 15° dan 25° berturut turut sebesar 25 m^2 atau 100%, 23.4 m^2 atau 93.6% dan 13.64 m^2 atau 45.44% dari seluruh *cell* dengan daya terima terkecil -51.6 dBm, -48.3 dBm dan -43.5 dBm yang bisa dipakai untuk komunikasi cahaya tampak.
3. Dari Tugas Akhir ini didapatkan cakupan luas komunikasi pada skenario NLOS dengan *blockage* pada sudut orientasi penerima 0° , 15° dan 25° berturut turut sebesar 25 m^2 atau 100%, 23.4 m^2 atau 93.6% dan 13.64 m^2 atau 45.44% dari seluruh *cell* dengan daya terima terkecil -52.6 dBm, -49.3 dBm dan -44.4 dBm yang bisa dipakai untuk komunikasi cahaya tampak.
4. Dalam Tugas Akhir ini dengan adanya *Gain Concentrator* dengan kondisi *coverage* atau luas cakupan yang dapat melakukan komunikasi cahaya tampak yang semakin terbatas yang dipengaruhi sudut orientasi penerima dapat memiliki daya terima yang lebih optimal.
5. Dalam Tugas Akhir ini, disimpulkan jika semakin jauh daya terima maka semakin besar nilai BER yang didapatkan dan sebaliknya, semakin dekat daya terima maka semakin baik nilai BER yang didapatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Eroğlu, Yusuf Said, Yavuz Yapıcı, and Ismail Güvenç. "Impact of random receiver orientation on visible light communications channel." *IEEE Transactions on Communications* 67.2 (2018): 1313-1325.
- [2]. Darlis, Arsyad Ramadhan, Lita Lidyawati, and Decy Nataliana. "Implementasi Visible Light Communication (VLC) Pada Sistem Komunikasi." *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika* 1.1 (2013): 13.
- [3]. Sajan, Liju, et al. "Wireless data transfer using visible light communication." *International Journal of Research in Engineering and Technology* 4.3 (2015): 52-55.
- [4]. Ghassemlooy, Zabih, et al. "Emerging optical wireless communications-advances and challenges." *IEEE journal on selected areas in communications* 33.9 (2015): 1738-1749.
- [5]. Alsalami, Farah M., et al. "Indoor intruder tracking using visible light communications." *Sensors* 19.20 (2019): 4578.
- [6]. Alam, SM Jahangir, et al. "Bit error rate optimization in fiber optic communications." *International Journal of Machine Learning and Computing* 1.5 (2011): 435.
- [7]. Ghassemlooy, Zabih, Wasiu Popoola, and Sujan Rajbhandari. *Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab®*. CRC press, 2019.