

PENGARUH JUMLAH LED DALAM RUANGAN BER-REFLEKTOR PADA VISIBLE LIGHT COMMUNICATION

THE IMPACT OF LED AMOUNT INSIDE REFLECTOR ROOM IN VISIBLE LIGHT COMMUNICATION

Dyndra Anindita Ramadhanti¹, Kris Sujatmoko S.T., M.T², Brian Pamukti S.T., M.T,³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas
Telkom ¹dyndraanindhita@student.telkomuniversity.ac.id,
²krissujatmoko@telkomuniversity.ac.id, ³brianp@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sistem komunikasi optik saat ini sedang berkembang sangat pesat, salah satu teknologinya adalah *Optical Wireless Communication* (OWC) dimana tidak lagi menggunakan menggunakan serat optik sebagai media rambat, melainkan menggunakan udara. Dalam OWC, terdapat teknologi perkembangannya yang dinamakan *Visible Light Communication* (VLC), dimana VLC menggunakan cahaya komunikasi tampak dan udara sebagai media rambatnya. VLC sebagai teknologi baru menawarkan biaya yang sangat efisien. Telah sekian lama teknologi ini dikembangkan, tetapi hingga saat ini belum ada standar – standar yang ditetapkan untuk penggunaan VLC itu sendiri. Maka dari itu penelitian guna mengembangkan teknologi VLC masih terus dilakukan.

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan analisis perbandingan jumlah *Light Emitting Diode* (LED) sebagai transmitter berjumlah 1 (satu) dan 2 (dua) buah terhadap pendistribusian cahaya komunikasi pada ruangan tertutup berukuran 5m x 5m x 4m yang terdapat reflektor berupa cermin pantul dengan menggunakan modulasi OOK-NRZ. Berdasarkan jarak penerima yang dihitung dari reflektor, hasil jarak cakupan terjauh pada saat 1 buah LED digunakan, sejauh 4,43 m sedangkan ketika menggunakan 2 buah LED, sejauh 5,16 m dengan batak Bit Error Rate (BER) sekitar 10^{-3} menggunakan daya sebesar 2 watt. LED diletakan pada ketinggian 4 m, dengan masing-masing koordinat. Posisi penerima tepat dibawah lampu LED dalam keadaan LoS. Berdasarkan jarak maksimum yang diperoleh dari 1 dan 2 buah LED, luas cakupan daerah komunikasi untuk 1 buah LED adalah seluas 18,84 m² sedangkan untuk 2 buah LED seluas 21,76 m².

Kata kunci : Optical Wireless Communication, Visible Light Communication, Bit Error Rate

Abstract

Optical communication system is growing very rapidly right now, one of the technology is Optical Wireless Communication (OWC), it is no longer using fiber optic as its propagation media but using air. There is technology development of OWC called Visible Light Communication (VLC), VLC is using visible light and air as its propagation media. There is still no standardization for its use. Therefore the study of VLC development is still going.

In this final project research, has done analysis of Light Emitting Diode (LED) amount comparison as 1 and 2 transmitters towards light communication distribution in a 5m x 5m x 4m closed room with reflector in the form of reflector mirror using OOK-NRZ modulation. Based on the receiver distance counted from reflector, result of the farthest coverage distance when 1 LED used is 4,43 m, while when using 2 LED is 5,1 m. With Bit Error Rate (BER) around 10^{-3} using power equal to 2 watt. The LED placed on 4m height, with each coordinates. Receiver position is exactly under LED lamp in LoS condition. Based on maximum distance obtained from 1 and 2 LED, communication area coverage for 1 LED is 18,84 m² while for 2 LED is 21.76 m².

Keywords: Optical Wireless Communication, Visible Light Communication, Bit Error Rate

1. Pendahuluan

Pada beberapa tahun terakhir, perkembangan ilmu dan teknologi makin berkembang sedemikian pesat terutama pada bidang telekomunikasi. Awalnya, pengiriman data harus menggunakan jaringan kabel tembaga yang terpasang secara fisik atau sering disebut dengan Local Area Network (LAN). Seiring berjalannya waktu, kebutuhan masyarakat semakin tinggi dalam bidang telekomunikasi sehingga membutuhkan teknologi yang semakin mumpuni untuk memenuhi kebutuhannya. Setelah LAN, terlahirlah generasi selanjutnya yaitu Wireless Local Area Network (WLAN) yang tidak lagi memerlukan jaringan kabel tembaga untuk melakukan hal tersebut melainkan sudah menggunakan teknologi nirkabel. Teknologi serat optik merupakan salah satu jaringan yang sekarang ini dipercaya untuk dapat memenuhi kebutuhan masyarakat guna menggantikan posisi kabel tembaga. Teknologi optik ini menggunakan

rambatan cahaya untuk mengirimkan data informasi. 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 ialah 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 [4]. Tidak berbahaya bagi kesehatan manusia, tidak memerlukan banyak biaya dan, mudah dalam implementasinya karena infrastrukturnya telah tersedia yaitu perangkat pencahayaan. Terdapat dua model propagasi, yang paling sederhana adalah Line Of Sight (LOS) dimana model propagasi tersebut memiliki kondisi pengirim (transmitter).

Dapat melihat secara jelas atau terdistribusi langsung ke penerima (receiver) tanpa adanya halangan apapun. Sedangkan Non Line Of Sight (NLOS) adalah model propagasi yang sedikit lebih kompleks karena terdapat obstacle pada pendistribusian cahaya. Dalam penelitian ini, tidak terdapat obstacle yang menghalangi pancaran cahaya, maka menggunakan propagasi LOS. Penelitian [5] "The Effects of The Field of View and Reflections on the Optical Wireless Channel" yang mempelajari pengaruh dari Field Of View (FOV) dan refleksi yang terjadi pada Channel Impulse Response (CIR) dengan berbeda path LOS dan NLOS didalam ruangan 4 m x 4 m x 2.5 m menggunakan LED dengan power diatas 1 W, yang memiliki kesimpulan bahwa semakin tinggi derajat FOV maka Impulse Response (IR) pun semakin menurun. Pada penelitian [6] dengan judul "Independent Reflecting Element Interaction Characterization for Indoor Visible Light Communication Based on New Generation Lighting". Penelitian ini mengusulkan efisiensi karakteristik dari kanal VLC, termasuk reflektor. Penelitian ini mengambil kesimpulan bahwa semakin tinggi time reflection, maka daya yang diterima akan semakin besar. Penelitian [7] berjudul "Impact of Multipath Reflections on Secrecy in VLC System with Randomly Located Eavesdroppers" yang mempelajari tentang penggunaan dan pendistribusian letak LED terhadap kerahasiaan yang dapat dijaga oleh sistem VLC dalam refleksi mempengaruhi probabilitas pemutusan rahasia. Hasil simulasi memverifikasi bahwa ketika penerima berada lebih dekat dengan dinding bisa mengambil keuntungan lebih tinggi dari pantulan dan juga menunjukkan bahwa dampaknya refleksi tergantung pada lokasi UE dan konfigurasi LED. Demi mengembangkan penelitian mengenai Visible Light Communication, dalam Tugas Akhir ini akan membandingkan daya terima dan jarak dengan Bit Error Rate (BER) pada ruangan refleksi dengan menggunakan dua jumlah LED berbeda yaitu berjumlah 1 (satu) buah dengan koordinat (0,0) dan 2 (dua) buah masing-masing berkoordinat (-1.5,0) dan (1.5,0). Letak reflektor pada Tugas Akhir ini terletak pada salah satu sisi ruangan.

2. Dasar Teori

2.1 Visible Light Communication (VLC)

Visible Light Communication (VLC) adalah bagian pengembangan dari teknologi Optical Wireless Communication (OWC), dimana VLC menggunakan cahaya tampak sebagai mediumnya. Awal penggunaan cahaya tampak sebagai mediumnya diawali pada sekitar tahun 1870 ketika Alexander Graham Bell berhasil mendemonstrasikan transmisi dari sinyal audio menggunakan cermin yang dibuat bergetar oleh suara seseorang [2].

2.2 LED

Light Emitting Diode yang biasa dikenal dengan LED adalah sebuah perangkat sumber cahaya bersifat semi konduktor dua arah yang akan memancarkan cahaya bila dalam keadaan aktif. LED dapat memancarkan beberapa warna cahaya dan panjang gelombang tergantung pada band-gap dari p-n junction yang terdapat pada material semi konduktor. LED memiliki keuntungan dibandingkan dengan menggunakan lampu yang biasa digunakan. LED tidak berbahaya bagi kesehatan karena pada sinar LED tidak mengandung sinar Ultra Violet sehingga tidak merusak mata, menghasilkan suhu panas yang relatif lebih kecil dibandingkan lampu pada umumnya dan dapat diintegrasikan dengan barang elektronik.

2.3 Teknik Modulasi Digital

Penumpangan sinyal informasi kedalam sinyal pembawa disebut dengan proses modulasi. Modulasi analog dan modulasi digital adalah dua teknik modulasi yang ada. Teknik modulasi yang akan digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah teknik modulasi digital, di mana sinyal penumpang berupa kode biner. Teknik modulasi yang umumnya digunakan dalam system kanal VLC adalah OOK. Penelitian Tugas Akhir ini menggunakan teknik modulasi digital OOK-NRZ. OOK-NRZ dapat diumpamakan sebagai saklar, dimana bit 1 menandakan bahwa sumber cahaya on sedangkan pada bit 0 menandakan bahwa sumber cahaya off. Format NRZ menunjukkan bahwa pulsa untuk bit 1 menempati seluruh interval bit, dan tidak ada pulsa yang digunakan untuk bit 0 [9].

2.4 Photodiode

Photodiode adalah salah satu dari beberapa jenis foto detektor yang ada, dalam komunikasi optik, fotodiode lah yang digunakan karena dianggap memiliki keuntungan yang cukup banyak antara lain,

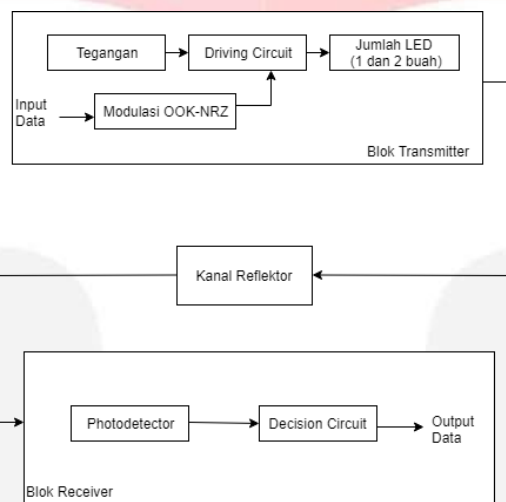
sensitivitas tinggi pada panjang gelombang tertentu, memiliki respon waktu yang cepat sehingga bandwidth besar, dimensi fisik yang kompatibel, noise rendah, tidak terlalu sensitive terhadap perubahan temperatur suhu dan, memiliki waktu pakai yang panjang dengan harga yang lebih ekonomis.

Saat reverse-bias diterapkan pada PIN photodetector mengakibatkan lebar daerah intrinsik akan mengalami penyempitan seiring dengan kenaikan tegangan. Energi foton harus lebih besar dari energi band-gap yang berasal dari material semikonduktor untuk mengubah foton menjadi arus listrik. Saat foton melepaskan energi untuk mengeluarkan elektron dari pitavalensi menuju pita konduksi, sehingga menghasilkan pasangan elektron-neutron [2].

2.5 Reflektor

Reflektor berupa cermin pantul adalah sebuah cermin yang dapat memantulkan cahaya, suara atau gelombang elektromagnetik. Kegunaannya ialah agar gelombang cahaya yang dihasilkan dari pantulan dapat menyebabkan iluminasi gelombang. Iluminasi gelombang cahaya yang paling maksimal ialah terdapat pada sudut 0° dan seiring mengalami penurunan dengan penambahan sudut menjauhi sumber lampu tersebut [10].

3. Pembahasan dan Perancangan Sistem



Gambar 2. 1 Blok Desain Sistem untuk VLC.

Perancangan simulasi yang dilakukan pada tugas akhir ini guna meneliti kinerja dari pendistribusian cahaya komunikasi dengan menggunakan jumlah LED yang berbeda. Jumlah LED yang digunakan sebanyak 1 (satu) dan 2 (dua) buah. Pada salah satu sisi ruangan simulasi, ditambahkan reflektor berupa cermin pantul. Gambar 2.1 mendeskripsikan bahwa pada system VLC, dirancang bagian transmitter yang berfungsi sebagai sumber informasi yang akan mengirimkan informasi berupa sinyal berbentuk cahaya tampak dan udara sebagai media rambatnya. Dalam blok transmitter terdapat beberapa komponen utama.

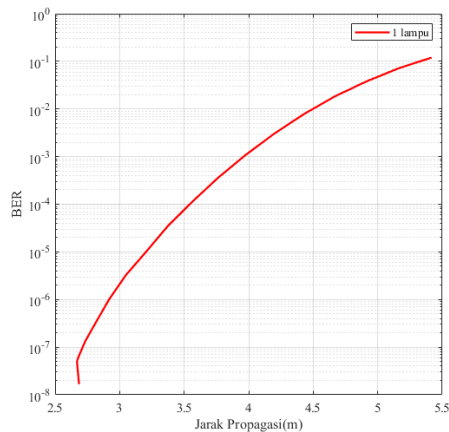
Komponen pertama adalah sumber tegangan, yang berfungsi sebagai pemberi arus sumber tegangan pada simulasi ini. Komponen kedua pada blok transmitter adalah driving circuit yang terhubung langsung ke tegangan sumber, dimana driving circuit berfungsi sebagai pengaktif blok transmitter agar dapat bekerja, ketika bit / data yang dimasukan = 0, maka akan off, dan ketika bit / data yang di input = 1 maka akan on. Untuk mengaktifkan LED dan beberapa komponen didalamnya, terdapat komponen modulasi yang akan mengubah sinyal-sinyal informasi kedalam bentuk tertentu, sehingga dapat ditransmisikan ke tujuan.

Prinsip kerja dari dioda adalah mengubah sinyal listrik menjadi cahaya tampak yang akan dipancarkan oleh komponen selanjutnya, yaitu LED. Cahaya tampak yang dipancarkan oleh LED tersebut membawa sinyal-sinyal informasi yang akan merambat lewat media udara. Sinyal informasi yang telah termodulasi dari blok transmitter akan dikirimkan ke blok receiver dengan melewati kanal reflektor. Jenis reflektor yang digunakan pada kanal berupa cermin pantul, guna membuat masukan sinyal informasi secara maksimal pada receiver.

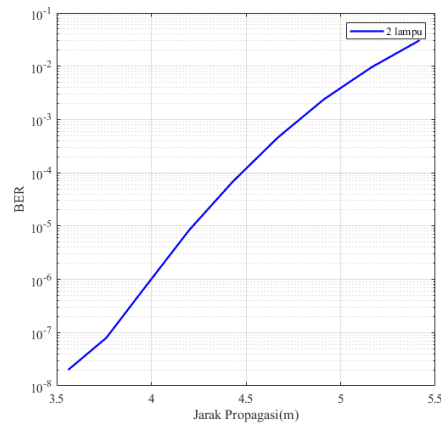
Pada blok receiver akan terjadi penangkapan cahaya informasi yang ditangkap oleh photodetector, kemudian akan diubah menjadi sinyal listrik. Jenis photodetector yang digunakan pada tugas akhir ini adalah jenis Positive Intrinsic Negative photodetector (PIN). Komponen terakhir yang terdapat pada blok receiver adalah decision circuit yang bekerja sebagai pengambil keputusan untuk meloloskan inyal yang lebih besar dibandingkan sinyal trashold dan dianggap bit 1, sedangkan sinyal dibawah sinyal trashold akan dianggap bit 0.

4. Analisis Simulasi Sistem

4.1 Analisis BER terhadap Jarak Propagasi



Gambar 1 Grafik BER terhadap jarak 1 LED

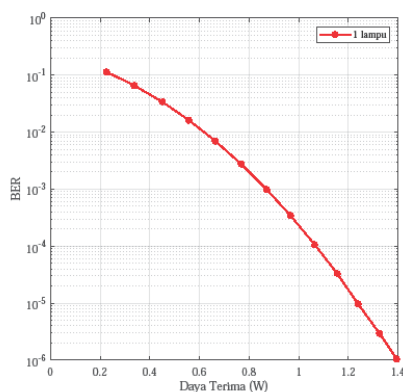


Gambar 2 Grafik BER terhadap jarak 2 LED

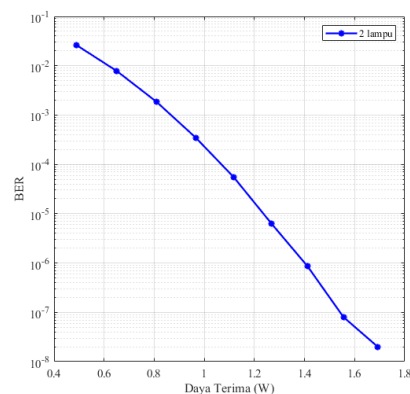
Gambar 1 menunjukkan perbandingan jarak terhadap BER saat menggunakan 1 buah lampu yang berada pada titik tengah ruangan dengan koordinat (0,0). BER 0 dicapai saat jarak dari reflektor sejauh 2,7 m. pengiriman daya yang memiliki eror pada sebuah simulasi kemungkinannya sangat kecil. Maka dari itu, acuan nilai BER = 10^{-3} sesuai dengan ketentuan BER untuk OWC[9]. Pada scenario ini, nilai BER = 10^{-3} dapat dicapai saat jarak penerima dari reflektor sejauh 4,43 m. Semakin dekat jarak penerima dengan reflektor, daya yang didapatkan akan semakin besar dan BER yang didapat akan semakin kecil pula nilainya karena penerima yang terletak dekat dengan reflektor akan mendapatkan daya pantul dari reflektor yang lebih besar.

Gambar 2 menunjukkan perbandingan antara jarak dengan BER saat 2 buah lampu digunakan, dimana lampu 1 berada pada koordinat (-1.5,0) dan letak lampu kedua berada di koordinat (0,1.5). BER dengan nilai 0 dicapai saat jarak dari reflektor sejauh 3,3 m. Pada scenario 2 lampu ini, nilai BER = 10^{-3} dapat dicapai saat receiver berada pada jarak sejauh 5,16 m dari reflektor. Dengan menggunakan 2 buah lampu, jarak yang dicapai tentu lebih jauh dibandingkan dengan penggunaan 1 buah lampu dikarenakan letak lampu yang berjauhan. Ketika penerima berada dekat dengan reflektor, daya yang diterima akan lebih besar dengan nilai BER 0 karena penerima akan mendapatkan daya penuh dari pantulan reflektor.

4.2 Analisis BER terhadap Power



Gambar 3 Grafik BER terhadap daya terima 1 LED



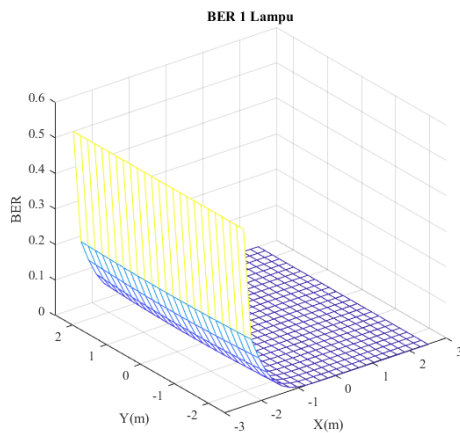
Gambar 4 Grafik BER terhadap daya terima 2 LED

Gambar 3 menggambarkan perbandingan antara daya terima dengan BER saat menggunakan 1 buah lampu. Titik dimana mulai diterima BER memenuhi nilai 10^{-3} adalah saat daya terima sebesar 0,66 Watt yang diterima oleh penerima. Semakin besar daya diterima, maka semakin kecil nilai BER yang didapatkan. Besar daya 2 Watt dengan menggunakan reflektor yang dapat disebut sebagai penguat daya, sudah cukup mumpuni untuk luas ruangan 5m x 5m x 4m dengan menggunakan satu buah reflektor.

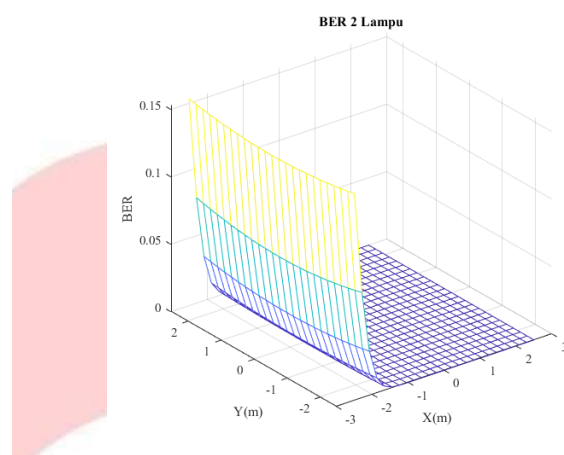
Gambar 4 mendeskripsikan perbandingan antara jarak dengan BER saat 2 buah lampu digunakan, dimana lampu pertama berada pada koordinat (-1.5,0) dan letak lampu kedua berada di

koordinat (0,1.5). Titik BER memenuhi nilai 10^{-3} adalah ketika power yang diterima sebesar 0,65 Watt. Daya 4 Watt dapat mencakup seluruh ruangan, akan tetapi nilai BER 10^{-3} belum dapat mencakup seluruh ruangan.

4.3 Luas Cakupan VLC



Gambar 5 Luas Cakupan VLC 1 LED

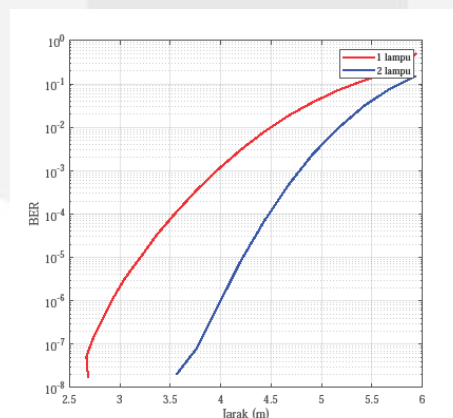


Gambar 6 Luas Cakupan VLC 2 LED

Gambar 5 menunjukkan luas daerah luas cakupan VLC menggunakan 1 (satu) buah LED dengan menggunakan modulasi NRZ dan daya 2 Watt. Berdasarkan data nilai BER yang diambil dari hasil simulasi, didapatkan sebanyak 471 cell yang memenuhi syarat nilai BER. Luas daerah yang dapat dipakai untuk melakukan komunikasi cahaya tampak sebesar $18,84\text{m}^2$. Nilai BER 10^{-3} mulai terjadi pada daya terima sebesar 0,66 Watt, dengan jarak sejauh 4,43 m dari reflektor. Sedangkan nilai BER minimum yang didapatkan mencapai 0 didapatkan pada saat daya terima sebesar 1,48 Watt dengan jarak sejauh 2,73 m dari reflektor, yang berarti pada daerah tersebut tidak memiliki error dalam proses pengiriman bit sehingga dapat dipastikan penerima yang berada pada daerah tersebut menerima seluruh data dari transmitter. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar daya terima dan juga semakin dekat jarak penerima dengan reflektor, maka semakin kecil pula nilai BER yang didapatkan.

Gambar 6 menggambarkan luas daerah cakupan VLC menggunakan 2 buah LED dengan lokasi masing-masingnya pada koordinat (-1.5,0) dan (1.5,0), menggunakan modulasi yang sama yaitu OOK-NRZ dengan total daya sebesar 4 Watt. Berdasarkan data nilai BER yang dihasilkan dan di ambil dari hasil simulasi, didapatkan sebanyak 544 cell yang memenuhi syarat nilai BER 10^{-3} . Luas daerah yang dapat dilakukan komunikasi cahaya tampak sebesar $21,73\text{m}^2$. Nilai BER 10^{-3} mulai terjadi pada daya terima sebesar 0,65 Watt, dengan sejauh 5,16 m dari reflektor. Nilai BER minimum yang didapatkan juga mencapai 0, didapatkan pada saat jarak penerima berada sejauh 3,3 m dari reflektor, dengan arti pada daerah tersebut tidak didapatkan bit error pada proses pengiriman bit, sehingga penerima mendapatkan seluruh data yang dikirimkan. Dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan dua buah lampu, semakin jauh jarak yang dapat digunakan untuk komunikasi cahaya tampak.

4.4 Analisis Perbandingan grafik BER terhadap Jarak

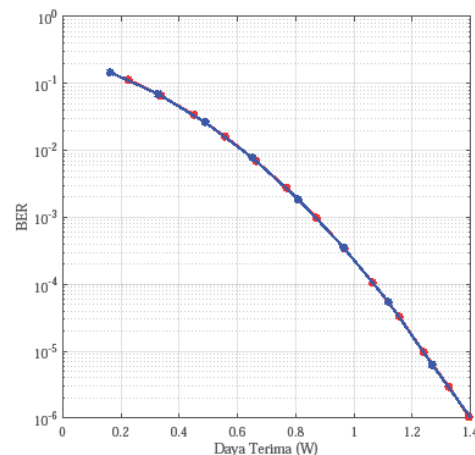


Gambar 7 Perbandingan Jarak 1 & 2 LED

Penggunaan satu buah LED terletak pada koordinat (0,0) yang berarti berada pada ketinggian 4 m, jarak cakupan terjauh yang memenuhi nilai BER sekitar 10^{-3} di hitung dari reflektor yaitu sejauh 4.43

m sehingga ketika penerima berada pada jarak kurang dari 4,43 m, nilai BER akan memenuhi, melainkan bernilai sekitar 10^{-3} sampai dengan 0. Ketika dua buah lampu digunakan dengan koordinat masing-masing pada (1,5,0) dan (1,5,0) dengan ketinggian yang sama yaitu 4 m, jarak cakupan terjauh yang memenuhi nilai BER sekitar 10^{-3} dihitung dari reflektor yaitu sejauh 5,16 m. Saat jarak penerima berada pada jarak kurang dari 5,16 m dari reflektor, maka nilai BER yang didapatkan akan semakin kecil, dengan nilai minimum BER yang didapatkan sebesar 0. Jarak luas cakupan yang memenuhi syarat BER sebesar 10^{-3} ketika menggunakan dua buah LED memiliki jarak cakupan yang lebih jauh ketimbang penggunaan satu buah LED. Perbandingan jarak yang didapatkan juga cukup signifikan yaitu 0,73 m.

4.5 Analisis Perbandingan grafik BER terhadap power



Gambar 8 Perbandingan Power 1 & 2 LED

Ketika satu buah LED digunakan, total daya yang dikirimkan sebesar 2 Watt, pada daya 0,66 Watt nilai BER telah memenuhi 10^{-3} , sementara saat nilai BER minimum yaitu 0, mulai didapatkan ketika daya sebesar 1,4 Watt. Pada saat dua buah LED digunakan, total daya yang dikirimkan sebesar 4 Watt, sama halnya seperti ketika penggunaan satu LED, ketika daya di sekitar 0,65 Watt nilai BER 10^{-3} sudah memenuhi. Ketika daya berada pada 1,4 Watt, nilai BER sudah mencapai nilai minimumnya yaitu 0, maka ketika daya telah melebihi 1,4 Watt nilai BER akan seterusnya 0. Pada Gambar 4.8 menunjukkan grafik yang hampir sama karena pada daya yang relatif sama besarnya, BER telah mencapai nilai 10^{-3} , dan dengan daya hampir sama pula BER telah mencapai nilai minimumnya yaitu 0. Hal ini dikarenakan power memiliki threshold di sekitar nilai 1,2 sampai 1,4 Watt.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan simulasi sistem VLC pada kanal reflektor, dengan koefisien pantul sebesar 80 %, hasil pengujian pengiriman data berupa bit acak, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan jarak yang dihitung antara reflektor dan penerima, penggunaan dua buah LED lebih baik dibandingkan penggunaan satu buah LED. Hal ini dibuktikan data BER mencapai 10^{-3} pada penggunaan dua buah LED lebih jauh dibandingkan dengan penggunaan satu buah LED. Ketika penerima berada pada jarak sejauh 5,16 m dari reflektor, penerima sudah mendapatkan BER sebesar 10^{-3} , sedangkan dalam penggunaan satu buah LED, jarak terjauh penerima yang mendapatkan nilai BER 10^{-3} adalah 4,43 m.
2. Hasil simulasi membuktikan bahwa, tentu dua buah LED lebih baik dengan total daya sebesar 4 Watt, ketika berhubunga dibandingkan dengan penggunaan satu buah LED dengan daya total dua Watt. Akan tetapi perbandingan power pada satu buah dengan dua buah LED tidak terlihat signifikan karena pada keduanya, ketika daya berada pada sekitaran 0,66 Watt, BER telah mencapai 10^{-3} . Ketika daya mencapai sekitaran 1,2 sampai 1,4 Watt, maka BER yang didapat sudah senilai 0. Hal ini dikarenakan adanya threshold atau batas ambang minimum sekitaran 1,2 sampai 1,4 Watt.
3. Banyaknya jumlah LED dan penambahan reflektor meningkatkan performa sistem VLC. Hal tersebut dibuktikan berdasarkan hasil perhitungan luas cakupan yang didapat dalam jumlah satu buah LED dengan dua buah LED. Pada penggunaan dua buah LED, luas cakupan yang memenuhi BER sekitar 10^{-3} didapat sebanyak 544 cell, seluas 21,76 m². Sedangkan pada saat satu buah LED digunakan, luas cakupan yang memenuhi BER sekitar 10^{-3} didapat 471 cell, seluas 18,84 m². Konfigurasi LED juga dapat mempengaruhi luas cakupan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Uysal and H. Nouri, "Optical wireless communicationsan emerging technology," in 2014 16th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON). IEEE, 2014, pp. 1–7.
- [2] Z. Ghassemlooy and W. Popoola, "Rajbhandari. optical wireless communications," 2012.
- [3] M. G. Craford, "Leds challenge the incandescents," IEEE Circuits and Devices Magazine, vol. 8, no. 5, pp. 24–29, 1992.
- [4] D. Yulian, D. Darlis, and S. Aulia, "Perancangan dan implementasi perangkat visible light communication sebagai transceiver video," Jurnal Elektro dan Telekomunikasi Terapan, vol. 2, no. 2, 2015.
- [5] A. Assabir, J. Elmhamdi, A. Hammouch, L. Belhaf, and A. Akherraz, "The effects of the field of view and reflections on the optical wireless channel," in 2017 International Conference on Electrical and Information Technologies (ICEIT). IEEE, 2017, pp. 1–5.
- [6] J. Ding, Z. Huang, and Y. Ji, "Independent reflecting element interaction characterization for indoor visible light communication based on new generation lighting," chinese optics letters, vol. 8, no. 12, pp. 1182–1186, 2010.
- [7] S. Cho, G. Chen, H. Chun, J. P. Coon, and D. O'Brien, "Impact of multipath reflections on secrecy in vlc systems with randomly located eavesdroppers," in 2018 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). IEEE, 2018, pp. 1–6.
- [8] L. Britnell, R. Ribeiro, A. Eckmann, R. Jalil, B. Belle, A. Mishchenko, Y.J. Kim, R. Gorbachev, T. Georgiou, S. Morozov et al., "Strong light-matter interactions in heterostructures of atomically thin films," Science, vol. 340, no. 6138, pp. 1311–1314, 2013.
- [9] R. Ramaswami, K. Sivarajan, and G. Sasaki, Optical networks: a practical perspective. Morgan Kaufmann, 2009.
- [10] R. H. A. Prastica, "Analisis pengaruh penambahan reflector terhadap tegangan keluaran modul solar cell," Ph.D. dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2016.