

## ANALISIS PENGARUH SUDUT LED *MULTIBEAM* TERHADAP KINERJA CAKUPAN *LIGHT FIDELITY*

### *ANALYSIS EFFECT OF MULTIBEAM LED ANGLE ON COVERAGE PERFORMANCE OF LIGHT FIDELITY*

Aulia Rahmi Anggraini<sup>1</sup>, Akhmad Hambali<sup>2</sup>, Kris Sujatmoko<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universitas Telkom, Bandung

<sup>1</sup>auliarahmia@student.telkomuniversity.ac.id,

<sup>2</sup>ahambali@telkomuniversity.ac.id, <sup>3</sup>krissujatmoko@telkomuniversity.ac.id

#### Abstrak

Light Fidelity (LiFi) merupakan komunikasi nirkabel yang menggunakan cahaya tampak sebagai media transmisinya. Pada penelitian ini akan menganalisis kinerja cakupan LiFi dengan menggunakan empat buah lampu LED *multibeam* dengan posisi yang telah ditentukan pada ruangan tertutup berukuran  $10 \times 10 \times 3$  meter menggunakan daya pancar 5 W dan 7 W. Sistem ini menggunakan kanal *line of sight*. Kinerja sistem dianalisis dengan menggunakan parameter daya terima, *Signal to Noise Ratio* (SNR), dan *Bit Error Rate* (BER) untuk mengetahui luas cakupan yang dihasilkan oleh setiap skenario. Berdasarkan hasil simulasi empat buah lampu LED *multibeam* dengan daya pancar 5 W dan 7 W yang diposisikan  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ , dan  $15^\circ$  dari sumbu vertikal menghasilkan luas cakupan sebesar  $100 \text{ m}^2$ . Sedangkan luas cakupan yang dihasilkan pada posisi lampu dengan sudut  $30^\circ$  menghasilkan  $89,76 \text{ m}^2$  dengan daya pancar 5 W dan  $95,54 \text{ m}^2$  dengan daya pancar 7 W. Penempatan lampu LED *multibeam* yang diposisikan  $10^\circ$  dari sumbu vertikal memiliki performa cakupan yang lebih baik karena memiliki cakupan daya terima tertinggi yang lebih luas sebesar 64,92% dari keseluruhan ruangan dan BER maksimum paling kecil dari skenario lainnya.

**Kata kunci :** light fidelity, led emitting diode, line of sight, SNR, BER

#### Abstract

Light Fidelity (LiFi) is a wireless communication that uses visible light as its transmission medium. In this research will analyze the performance of LiFi coverage using four multibeam LED lamps with predetermined positions in a closed room of size  $10 \times 10 \times 3$  meters using 5 W and 7 W transmit power. This system uses a line of sight channel. The performance of the system is analyzed using the received power, Signal to Noise Ratio (SNR), and Bit Error Rate (BER) parameters to determine the coverage area generated by each scenario. Based on the simulation results, four multibeam LED lamps with 5 W and 7 W emitting power positioned  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ , and  $15^\circ$  from the vertical axis produce a coverage area of  $100 \text{ m}^2$ . While the coverage area produced at the lamp position at an angle of  $30^\circ$  produces  $89.76 \text{ m}^2$  with a transmit power of 5 W and  $95.54 \text{ m}^2$  with a transmit power of 7 W. The placement of multibeam LED lamp positioned  $10^\circ$  from the vertical axis has better coverage performance. because it has the highest power received area of 64.92% of the entire room and the smallest maximum BER than other scenarios.

**Keywords:** light fidelity, led emitting diode, line of sight, SNR, BER

#### 1. Pendahuluan

Pada zaman sekarang perkembangan teknologi telekomunikasi nirkabel sangatlah pesat. Saat ini teknologi telekomunikasi nirkabel yang digunakan adalah menggunakan gelombang radio. Seiring meningkatnya penggunaan komunikasi nirkabel akan mengakibatkan ketersediaan spektrum gelombang radio menjadi sedikit. Selain kapasitas yang terbatas teknologi komunikasi nirkabel dengan gelombang radio memiliki kecepatan pengiriman dan performansi rendah seiring dengan meningkatnya pengguna. Oleh karena itu untuk mengatasi masalah yang terdapat pada teknologi nirkabel yang digunakan saat ini maka perlu dikembangkan teknologi dengan performa yang lebih baik yaitu teknologi *Light Fidelity* (LiFi).

LiFi merupakan suatu revolusi dari kelanjutan teknologi mutakhir untuk berpindah ke spektrum yang lebih tinggi [1]. LiFi membawa dimensi baru untuk teknologi komunikasi nirkabel dengan kecepatan data tinggi dengan memanfaatkan spektrum cahaya tampak. Dalam transmisinya data dikirim dengan menggunakan LED dan diterima oleh *photodetector*.

Berdasarkan [2] lampu LED multibeam memiliki masing-masing *viewing angle* yang dihasilkan oleh setiap pancaran. Sehingga setiap pancaran LED memiliki area cakupannya masing-masing. Dengan menggunakan lampu LED multibeam diharapkan dapat meningkatkan luas cakupan pada sistem LiFi. Masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah mengetahui kinerja cakupan yang dihasilkan oleh empat buah lampu LED *multibeam* dengan daya pancar 5 W dan 7 W yang diposisikan pada sudut kemiringan yang berbeda-beda pada ruangan tertutup yang berukuran  $10 \times 10 \times 3$  meter.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Light Fidelity

*Light Fidelity* (LiFi) adalah teknologi jaringan nirkabel pada sistem komunikasi yang menggunakan cahaya tampak sebagai media transmisinya. Dengan menggunakan *Light Emitting Diode* (LED) teknologi ini mampu mencapai kecepatan data sekitar 10 Gbps. Selain itu, LiFi memberikan *bandwidth*, efisiensi, *availability*, dan keamanan yang lebih baik apabila dibandingkan dengan *Wireless Fidelity* (WiFi) [3]. Sistem LiFi menggunakan cahaya tampak dengan panjang gelombang 375-780 nm dan pada spektrum 400-800 THz [4]. Namun dengan berbagai kelebihan yang ada, teknologi ini juga terdapat kekurangan yaitu tidak dapat menembus ke dalam dinding ataupun bahan buram seperti yang dapat dilakukan oleh gelombang radio. Hal ini dikarenakan cahaya tidak dapat menembus dinding.

### 2.2 Light Emitting Diode

*Light Emitting Diode* (LED) merupakan komponen elektronika aktif yang dapat memancarkan cahaya. LED terdiri dari gabungan dua bahan semikonduktor tipe P dan tipe N atau disebut *PN-junction*. LED menggunakan bahan material semikonduktor seperti *Aluminium* (Al), *Indium* (In), *Galium* (Ga), dan *Silicon* (Si). LED dapat memancarkan cahaya apabila dialiri arus listrik ketika arus pada kaki anoda lebih positif daripada katoda atau pada kondisi bias maju (*forward bias*). Struktur LED secara umum terdapat kaki anode dan katode serta lensa *epoxy* atau *case* sebagai pelindung. LED memiliki prinsip kerja emisi spontan yaitu setiap elektron yang tereksitasi ke pita konduksi dan melakukan proses rekombinasi ke pita valensi dengan memancarkan energi cahaya.

### 2.3 Photodetector

*Photodetector* merupakan salah satu komponen yang digunakan untuk menangkap sinyal cahaya. *Photodetector* dapat mengubah sinyal cahaya menjadi sinyal listrik. Sama halnya dengan dioda, fotodioda memiliki kaki anoda dan katoda. Cahaya yang dapat dideteksi oleh *photodetector* diantaranya adalah cahaya matahari, cahaya tampak, sinar ultraviolet, dan sinar infra merah. Pada teknologi LiFi, penggunaan fotodioda yang tepat adalah jenis fotodioda dengan material *silicon*. Material *silicon* pada fotodioda dapat menerima panjang gelombang antara 400-1060 nm. Pada rentang panjang gelombang tersebut berada pada jangkauan panjang gelombang cahaya tampak.

### 2.4 Teknik Modulasi

Teknik modulasi merupakan proses menumpangkan sinyal informasi ke dalam sinyal pembawanya atau sinyal *carrier*. Pada Tugas Akhir ini menggunakan teknik modulasi OOK dengan format *Non-Return to Zero* (NRZ). OOK merupakan salah satu modulasi yang paling banyak digunakan karena sederhana dan menyediakan pertukaran antara kinerja sistem dengan kompleksitas dengan baik [5]. Dalam OOK bit data 1 dan 0 diwakili oleh keadan sumber cahaya, jika bit data bernilai 1 maka sumber cahaya dalam kondisi *on* dan bit data bernilai 0 maka sumber cahaya dalam keadaan *off*. Dalam keadaan *off*.

### 2.5 Kanal Transmisi

Kanal transmisi adalah suatu media untuk mengirimkan sinyal informasi dari pengirim ke penerima. Pada Tugas Akhir ini digunakan kanal transmisi LOS. Kanal transmisi *Line of Sight* (LOS) merupakan jenis kanal diantara pengirim dan penerima tidak terdapat *obstacle* atau penghalang. Untuk menghitung kanal LOS dapat menggunakan persamaan:

$$H_{LOS} = \frac{(m + 1) \cdot A \cos^{m+1} \Phi}{2 \cdot \pi \cdot d^2} \quad (1)$$

dimana A merupakan luas area *photodetector* pada *receiver*,  $\Phi$  merupakan sudut propagasi antara *transmitter* dan *receiver*, d adalah jarak dari *transmitter* ke *receiver*, dan m merupakan parameter lambertian yang dapat dinyatakan dengan rumus:

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

dengan  $\theta$  adalah sudut setengah daya atau *Full Width at Half Maximum* (FWHM). Setelah didapat hasil perhitungan kanal transmisi maka daya terima oleh *receiver* dapat dirumuskan menggunakan persamaan berikut:

$$P_{RX} = P_{TX} \cdot H_{LOS} \cdot G_{con} \cdot T_s \quad (3)$$

dimana  $T_s$  merupakan *optical filter gain* dan  $G_{con}$  merupakan *optical concentrator gain* yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$G_{con} = \frac{index^2}{\sin(FOV)^2} \quad (4)$$

## 2.6 Signal to Noise Ratio

*Signal to Noise Ratio* (SNR) adalah perbandingan antara sinyal yang diterima dengan *noise* yang terdapat dalam sistem transmisi. Nilai dari SNR menentukan kualitas kanal. Untuk mendapatkan nilai SNR dapat menggunakan persamaan berikut:

$$SNR = \frac{(P_{RX} \cdot R)^2}{2q(I_p + I_d)B \cdot M^2 \cdot F(M) + 2q \cdot I_l \cdot B + \frac{4Kb \cdot T \cdot B}{R_l}} \quad (5)$$

## 2.7 Bit Error Rate

*Bit Error Rate* (BER) merupakan rasio perbandingan antara kesalahan jumlah bit yang diterima *receiver* terhadap jumlah bit keseluruhan. BER adalah konstanta yang tidak memiliki satuan dan sering dijadikan sebagai ukuran kualitas transmisi digital. Nilai BER dapat dihitung dengan persamaan berikut:

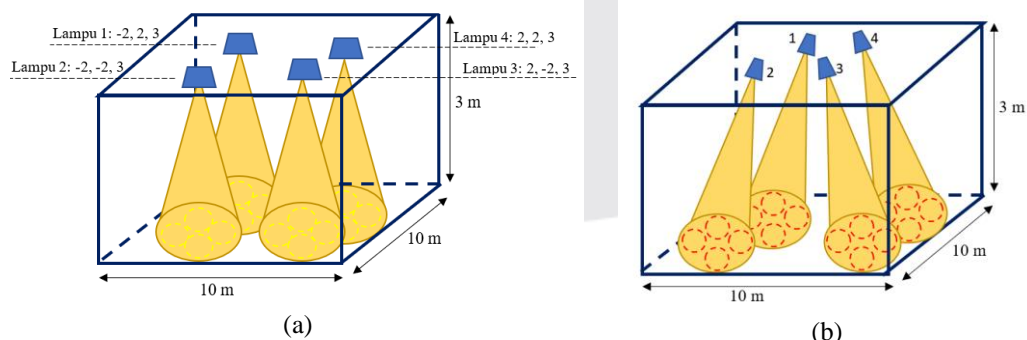
$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right) \quad (6)$$

dimana Q merupakan *Q-factor* yang digunakan untuk mengetahui kualitas jaringan yang nilainya dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{factor} = \frac{10 \frac{SNR}{10}}{2} \quad (7)$$

## 3. Perancangan Sistem

### 3.1 Desain sistem



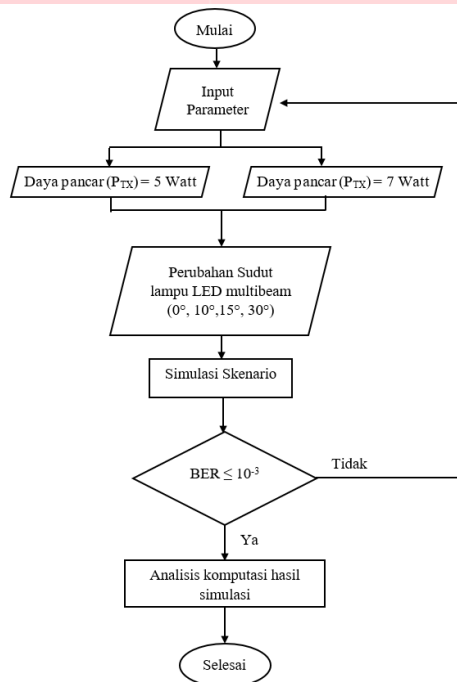
**Gambar 1** Desain sistem (a) lampu yang diposisikan  $0^\circ$  (b) lampu yang diposisikan  $10^\circ, 15^\circ, 30^\circ$  dari sumbu vertikal ruangan.

Dalam penelitian ini menggunakan empat buah lampu LED *multibeam* yang ditempatkan di langit-langit ruangan berukuran  $10 \times 10 \times 3$  meter pada koordinat lampu 1: (-2, 2, 3); lampu 2: (-2,

-2, 3); lampu 3: (2, -2, 3); lampu 4: (2, 2, 3). Keempat lampu tersebut diposisikan  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ , dan  $30^\circ$  dari sumbu vertikal. Untuk lampu 1 dan 2 diarahkan ke kiri ruangan sedangkan lampu 3 dan 4 diarahkan ke kanan ruangan. *Receiver* berupa *photodetector* berada di ketinggian 0,85 meter dari permukaan lantai.

### 3.2 Diagram Alir Penelitian

Gambar 2 merupakan diagram alir yang menggambarkan langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini. Langkah pertama dimulai dengan penginputan parameter yang digunakan seperti dimensi ruangan, jumlah lampu, daya lampu, serta titik koordinat letak lampu. Selanjutnya simulasi dijalankan pada daya pancar 5 W dan 7 W dengan melakukan skenario perubahan pada posisi sudut lampu yaitu pada sudut  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ , dan  $30^\circ$ . Apabila hasil BER pada simulasi tidak mendapatkan nilai  $BER \leq 10^{-3}$  maka dilakukan penginputan ulang parameter. Jika hasil simulasi sudah memenuhi nilai BER yang dibutuhkan maka dilanjutkan ke tahap analisis komputasi.



Gambar 2 Diagram alir penelitian.

### 3.3 Parameter Simulasi Sistem

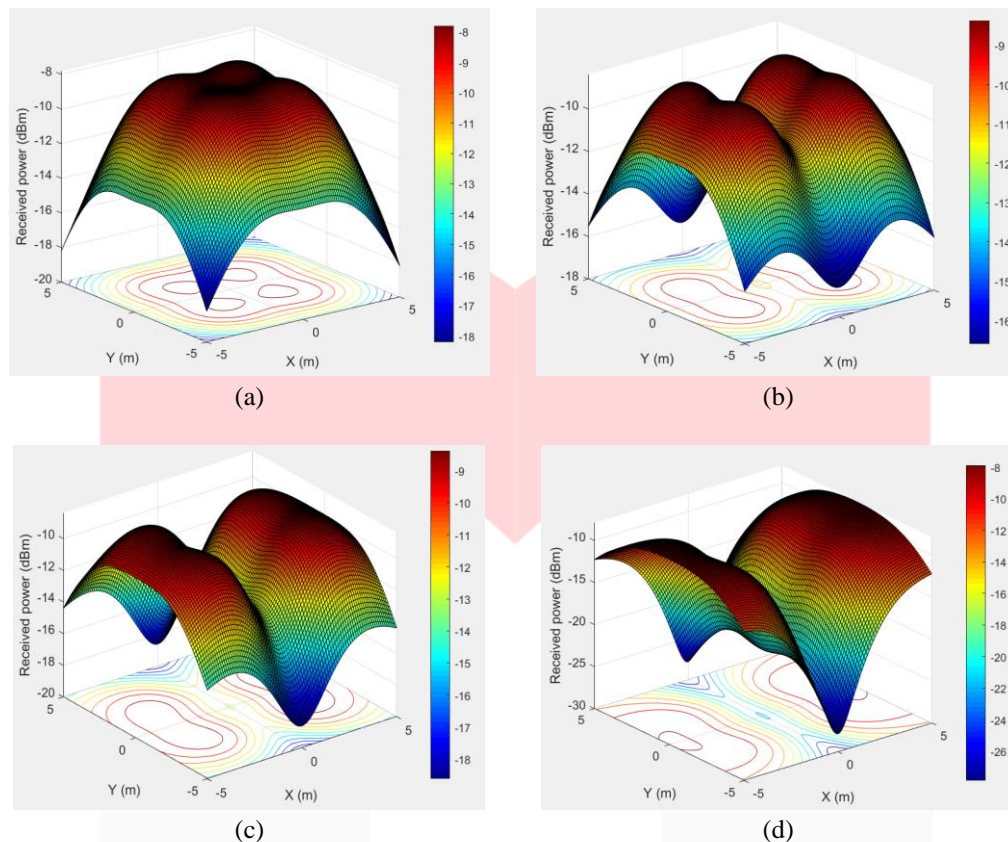
Pada penelitian ini, spesifikasi parameter yang digunakan ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1 Parameter simulasi sistem.

	Parameter	Nilai
Ruangan	Ukuran	10 × 10 × 3 meter
Transmitter	Jenis	LED multibeam
	Jumlah Lampu	4
	Jumlah LED per lampu	4
	Daya per LED	5 Watt
	Panjang gelombang	600 nm
	Lokasi	Lampu pertama: (-2, 2, 3) meter Lampu kedua: (-2, -2, 3) meter Lampu ketiga: (2, -2, 3) meter Lampu keempat: (2, 2, 3) meter
	Propagasi	Line of Sight (LOS)
	LED half-intensity angle $\phi_{1/2}$	$30^\circ$
	Sudut lampu terhadap sumbu vertikal	$0^\circ$ , $10^\circ$ , $15^\circ$ , $30^\circ$
Receiver	Jenis	PIN photodiode
	Field of View (FOV)	$70^\circ$
	Area Detektor	1 cm <sup>2</sup>
	Optical filter gain (Ts)	1
	Refractive index	1
	Responsivitas	0.39 A/W
Lain-lain	Modulasi	OOK-NRZ

## 4. Analisis Simulasi

### 4.1 Perbandingan Distribusi Daya Terima dan SNR



**Gambar 2** Grafik nilai daya terima lampu yang diposisikan (a)0° (b)10° (c)15° (d)30°.

Gambar 2 merupakan grafik distribusi daya terima yang dihasilkan pada setiap skenario dengan daya pancar 5 Watt. Warna merah pada grafik diatas menunjukkan daya terima semakin besar sedangkan jika warna grafik semakin mendekati warna biru maka nilai daya terima kecil. Nilai SNR berbanding lurus dengan daya terima pada *receiver*. Semakin besar daya terima pada *receiver* maka nilai SNR juga akan semakin besar. Grafik nilai SNR terhadap daya terima dengan nilai daya pancar 5 dan 7 Watt ditunjukkan pada Gambar 3 di bawah.

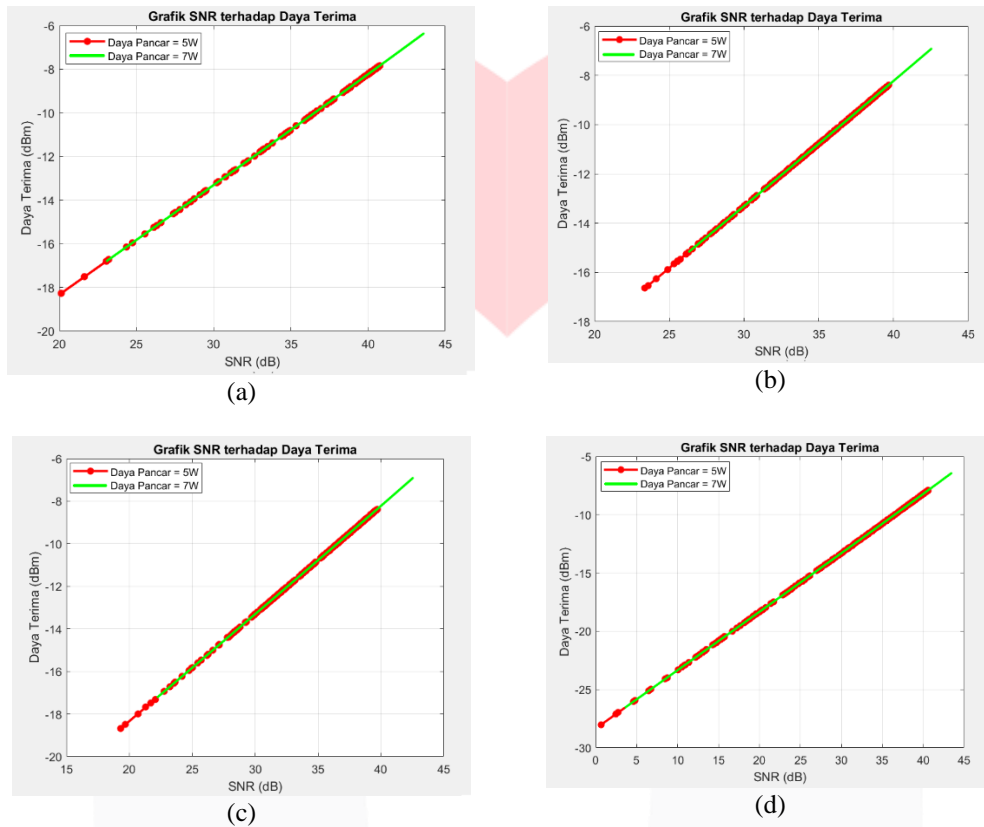
Pada skenario pertama yaitu lampu yang diposisikan 0° dari sumbu vertikal dengan daya pancar 5 Watt menghasilkan nilai daya terima maksimum -7,83 dBm dan daya terima minimum sebesar -18,26 dBm. SNR maksimum yang dihasilkan adalah 40,8 dB dan nilai SNR minimum sebesar 20,13 dB. Sedangkan dengan daya pancar 7 Watt menghasilkan nilai daya terima maksimum -6,36 dBm dengan nilai SNR 43,6 dan daya terima minimum dengan -16,80 dBm dengan nilai SNR sebesar 23,05 dB. Persentase daya terima terbesar pada grafik berwarna merah dengan rentang daya terima lebih besar dari -11 dBm diperoleh sebesar 59,56% dari seluruh ruangan.

Pada skenario kedua yaitu lampu yang diposisikan 10° dari sumbu vertikal dengan daya pancar 5 Watt menghasilkan nilai daya terima maksimum -8,38 dBm dan daya terima minimum sebesar -16,64 dBm. SNR maksimum yang dihasilkan adalah 39,70 dB dan nilai SNR minimum sebesar 23,38 dB. Sedangkan dengan daya pancar 7 Watt menghasilkan nilai daya terima maksimum -6,92 dBm dengan nilai SNR 42,5 dan daya terima minimum dengan -15,18 dBm dengan nilai SNR sebesar 26,28 dB. Persentase daya terima terbesar pada grafik berwarna merah dengan rentang daya terima lebih besar dari -11 dBm sebesar 64,92% dari seluruh ruangan.

Pada skenario ketiga yaitu lampu yang diposisikan 15° dari sumbu vertikal dengan daya pancar 5 Watt menghasilkan nilai daya terima maksimum -8,37 dBm dan daya terima minimum sebesar -18,69 dBm. SNR maksimum yang dihasilkan adalah 39,7 dB dan nilai SNR minimum sebesar 19,3 dB. Sedangkan dengan daya pancar 7 Watt menghasilkan nilai daya terima maksimum -6,91 dBm dengan nilai SNR 42,5 dan daya terima minimum dengan -17,22 dBm dengan nilai SNR sebesar

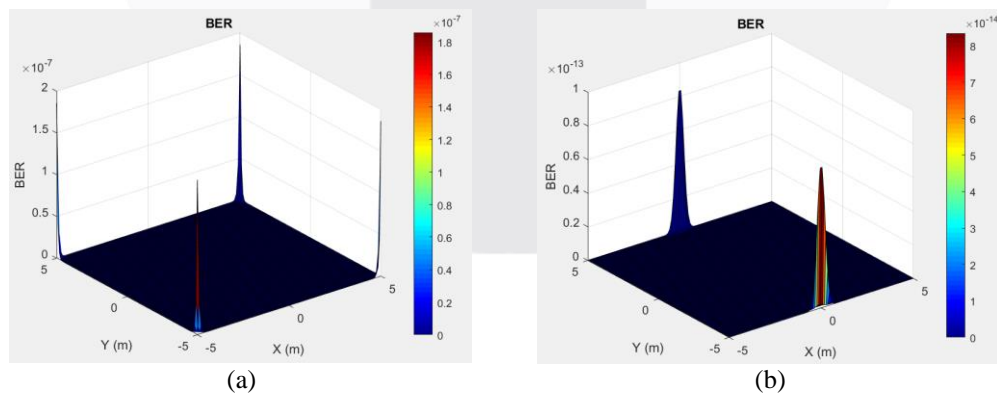
22,21 dB. Persentase daya terima terbesar pada grafik berwarna merah dengan rentang daya terima lebih besar dari -11 dBm sebesar 55,64% dari seluruh ruangan.

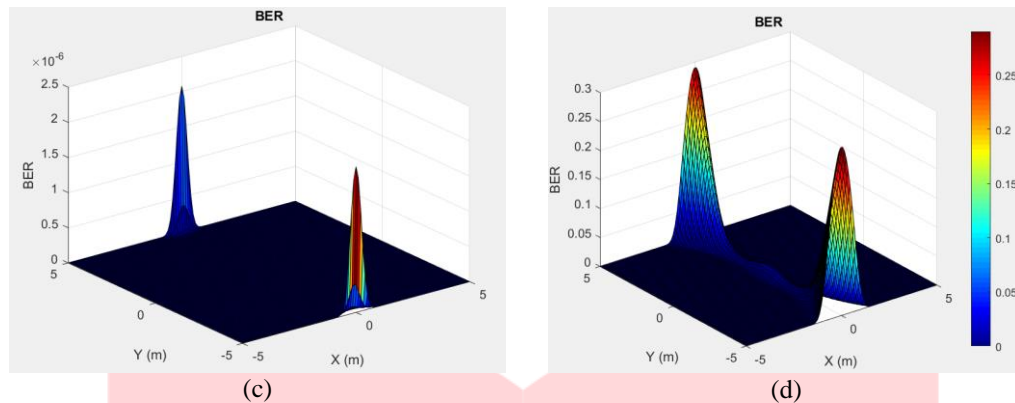
Pada skenario keempat yaitu lampu yang diposisikan 30° dari sumbu vertikal dengan daya pancar 5 Watt menghasilkan nilai daya terima maksimum -7,90 dBm dan daya terima minimum sebesar -28,02 dBm. SNR maksimum yang dihasilkan adalah 40,64 dB dan nilai SNR minimum sebesar 0,64 dB. Sedangkan dengan daya pancar 7 Watt menghasilkan nilai daya terima maksimum -6,44 dBm dengan nilai SNR 43,4 dan daya terima minimum dengan -26,56 dBm dengan nilai SNR sebesar 3,56 dB. Persentase daya terima terbesar pada grafik berwarna merah dengan rentang daya terima lebih besar dari -11 dBm sebesar 46,02% dari seluruh ruangan.



Gambar 3 Grafik daya terima terhadap SNR yang diposisikan (a)0° (b)10° (c)15° (d)30°.

#### 4.2 Perbandingan Distribusi BER





**Gambar 4** Distribusi BER pada lampu yang diposisikan (a)0° (b)10° (c)15° (d)30°.

Gambar 3 merupakan hasil distribusi *bit error rate* (BER) yang dihasilkan pada setiap skenario dengan daya pancar 5 Watt. Dengan penambahan daya pancar menjadi 7 Watt nilai BER juga akan semakin kecil. Nilai dari distribusi BER ini dapat digunakan untuk menganalisis *coverage area* yang dihasilkan. Luas cakupan yang dihasilkan dapat dihitung dengan jumlah titik pada simulasi yang memiliki nilai  $BER \leq 10^{-3}$  dikalikan dengan luas tiap titik yaitu  $0,01 \text{ m}^2$ .

Pada skenario pertama yaitu lampu yang diposisikan  $0^\circ$  dari sumbu vertikal menghasilkan BER maksimum sebesar  $2 \times 10^{-07}$  dengan daya pancar 5 Watt. Sedangkan dengan daya pancar 7 Watt dihasilkan BER maksimum sebesar  $9 \times 10^{-13}$ . Nilai BER maksimum pada skenario ini masih memenuhi syarat karena nilainya dibawah *threshold* sehingga luas cakupan yang dihasilkan pada skenario pertama sebesar  $100 \text{ m}^2$  atau mencakup keseluruhan ruangan.

Pada skenario kedua yaitu lampu yang diposisikan  $10^\circ$  dari sumbu vertikal menghasilkan BER maksimum sebesar  $9 \times 10^{-14}$  dengan daya pancar 5 Watt. Sedangkan dengan daya pancar 7 Watt dihasilkan BER maksimum sebesar  $3 \times 10^{-25}$ . Nilai BER maksimum pada skenario ini masih memenuhi syarat karena nilainya masih dibawah *threshold* sehingga luas cakupan yang dihasilkan pada skenario kedua sebesar  $100 \text{ m}^2$  atau mencakup keseluruhan ruangan.

Pada skenario ketiga yaitu lampu yang diposisikan  $15^\circ$  dari sumbu vertikal menghasilkan BER maksimum sebesar  $2 \times 10^{-6}$  dengan daya pancar 5 Watt. Sedangkan dengan daya pancar 7 Watt dihasilkan BER maksimum sebesar  $6 \times 10^{-11}$ . Nilai BER maksimum pada skenario ini masih memenuhi syarat karena nilainya masih dibawah *threshold* sehingga luas cakupan yang dihasilkan pada skenario ketiga sebesar  $100 \text{ m}^2$  atau mencakup keseluruhan ruangan.

Pada skenario keempat yaitu lampu yang diposisikan  $30^\circ$  dari sumbu vertikal menghasilkan BER maksimum sebesar 0,295 dengan daya pancar 5 Watt. Sedangkan dengan daya pancar 7 Watt dihasilkan BER maksimum sebesar 0,225. Pada skenario ini terdapat pada beberapa titik ruangan yang tidak terpenuhi syarat karena nilai BER lebih dari yang ditetapkan yaitu  $10^{-3}$ . Sehingga luas cakupan yang dihasilkan pada skenario keempat dengan daya 5 Watt sebesar  $89,76 \text{ m}^2$  sedangkan dengan daya 7 Watt luas cakupan yang dihasilkan sebesar  $95,54 \text{ m}^2$ . Hal ini disebabkan karena posisi lampu dengan penggeseran sudut yang lebih besar menyebabkan nilai distribusi daya terima yang besar hanya pada tepi kanan dan kiri ruangan sedangkan pada bagian tengah ruangan tidak mendapat intensitas cahaya cukup.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa semakin besar daya yang diterima maka nilai BER yang didapat akan semakin kecil. Perubahan posisi sudut pada lampu LED *multibeam* berpengaruh pada kinerja dan area cakupan sistem LiFi. Lampu LED *multibeam* dengan daya pancar 5 W dan 7 W yang diposisikan  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ , dan  $15^\circ$  dari sumbu vertikal mengasilkan luas cakupan  $100 \text{ m}^2$  atau sudah mencakup seluruh titik pada ruangan. Sedangkan apabila lampu diposisikan  $30^\circ$  dari sumbu vertikal menghasilkan luas cakupan sebesar  $89,76 \text{ m}^2$  dengan daya pancar 5 W dan  $95,54 \text{ m}^2$  dengan daya pancar 7 W. Hal ini dikarenakan penggeseran sudut yang lebih besar sehingga distribusi daya terima yang paling besar hanya terdapat pada tepi-tepi ruangan sedangkan pada bagian tengah ruangan tidak mendapatkan intensitas cahaya yang cukup menyebabkan nilai BER terlalu tinggi.

Penambahan daya pancar yang lebih tinggi juga berpengaruh pada kinerja luas cakupan. Dengan daya pancar yang lebih tinggi akan menghasilkan nilai daya terima yang besar dan akan

menghasilkan nilai BER yang kecil. Penempatan lampu LED *multibeam* yang diposisikan  $10^\circ$  dari sumbu vertikal memiliki kinerja cakupan yang lebih baik karena memiliki nilai cakupan daya terima tertinggi yang lebih luas yaitu sebesar 64,92% dari keseluruhan ruangan dan nilai BER maksimum yang paling kecil diantara skenario lainnya.

## REFERENSI

- [1] H. Haas, L. Yin, Y. Wang and C. Chen, "What is LiFi?," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 34, no. 6, pp. 1533-1544, 2015.
- [2] H. D. Huynh and K. S. Sandrasegaran, "Coverage Performance of Light Fidelity (Li-Fi) Network," *Asia-Pacific Conference on Communication (APCC)*, 2019.
- [3] E. Ramadhani and G. Mahardhika, "The Technology of LiFi: A Brief Introduction," *IOP Conference Series: Material Science and Engineering*, vol. 325, no. 1, pp. 1-7, 2018.
- [4] R. Karthika and S. Balakrishnan, "Wireless Communication using Li-Fi Technology," *SSRG International Journal of Electronics and Communication Engineering*, vol. 2, no. 3, p. 6, 2015.
- [5] P. Gawande, A. Sharma and P. Kushwaha, "Various Modulation Techniques for LiFi," *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 5, no. 3, p. 123, 2016.