

Penentuan *Indoor Positioning System (IPS)* menggunakan Metode *Received Signal Strength (RSS)* untuk *Visible Light Communication (VLC)*

ISTI FASYA, AKHMAD HAMBALI, BRIAN PAMUKTI

Teknik Telekomunikasi, Universitas Telkom, Indonesia
Email: istifasya@student.telkomuniversity.ac.id

Received 12 Desember 2022 | *Revised* 25 Januari 2023 | *Accepted* 6 Februari 2023

ABSTRAK

Penentuan posisi di dalam ruangan merupakan hal yang penting untuk menjadikan petunjuk di dalam ruangan. Banyak metode lain yang sudah dilakukan penelitian tetapi ada beberapa kendala seperti tidak dapat digunakan di area sensitive dan biaya yang mahal. Pada penelitian ini kami mengusulkan untuk melakukan simulasi penentuan posisi menggunakan metode Received Signal Strength (RSS) dengan Light Emitting Diode (LED) dan Positive Intrinsic Negatif (PIN). Dengan asumsi pada ruangan tertutup yang berukuran $5 \times 5 \times 3 \text{ m}^3$, kami melakukan simulasi 4 skenario posisi transmitter. Pada setiap skenario memiliki 3 buah transmitter pada level daya 1 watt yang lebih rendah dari penelitian-penelitian sebelumnya. Dari hasil simulasi yang ekstensif menyatakan bahwa, pada skenario 1 memiliki hasil akurasi 27,97%, skenario 2 sebesar 43,33%, skenario 3 sebesar 86,84%, dan skenario 4 dengan hasil 21,15%.

Kata kunci: *indoor positioning system, received signal strength, visible light communication*

ABSTRACT

Determining the position in the room is important to be a guide in the room. Many other methods have been researched, but there are some obstacles such as not being able to be used in sensitive areas and expensive. In this study, we suggest simulating buying a position using the Received Signal Strength (RSS) method with Light Emitting Diode (LED) and Positive Intrinsic Negative (PIN). Assuming that the room is $5 \times 5 \times 3 \text{ m}^3$ closed, we simulated 4 transmitter position scenarios. Each scenario has 3 transmitters at a power level of 1 watt which is lower than previous studies. From the extensive simulation results stated that scenario 1 has an accuracy of 27.97%, scenario 2 is 43.33%, scenario 3 is 86.84%, and scenario 4 is 21.15%.

Keywords: *indoor positioning system, received signal strength, visible light communication*

1. PENDAHULUAN

Layanan komunikasi merupakan salah satu layanan yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat. Salah satu layanan komunikasi yang sedang dikembangkan adalah *Wireless Communication*. Teknologi ini memiliki banyak manfaat, diantaranya biaya yang rendah dan energi yang efisien dibanding teknologi sebelumnya. *Wireless communication* memiliki banyak jenis, diantaranya *mobile phone*, radio, satelit, *Wireless Fidelity* (WiFi), dan *Visible Light Communication* (VLC). VLC merupakan jenis komunikasi yang informasinya dikirim melalui media cahaya tampak (**Ghassemlooy, dkk, 2013**). VLC memiliki *bandwidth* yang lebar dan tidak menimbulkan radiasi elektromagnetik (**Gu, dkk, 2016**)(**Luo, dkk, 2013**)(**Wang, dkk, 2015**). VLC memanfaatkan sinyal *carrier* dan tidak memiliki efek samping radiasi yang merugikan bagi pemakainya, seperti pada sinar bebas dan X dari tercampur gelombang radio sehingga layak diterapkan pada inovasi nirkabel (**Nur'adli, dkk, 2022**) *Indoor Positioning System* (IPS) merupakan teknologi yang dapat menentukan posisi objek di dalam ruangan (**Jamaluddin, dkk, 2019**). Penentuan posisi dalam ruangan mendapatkan hasil akurasi yang lebih tinggi dengan radius detektor di bawah 5 meter (m). Pada penentuan posisi di dalam ruangan ada banyak metode, salah satunya yaitu dengan metode matematika triangulasi yaitu *Received Signal Strength* (RSS). Penggunaan IPS dapat digunakan disegala ruangan termasuk area sensitif *Radio Frequency* (RF). Ada 2 fitur yang membuat *Light Emitting Diode* (LED) dapat menentukan pemosisian, yaitu kekuatan cahaya yang bervariasi sesuai dengan sumber cahaya yang berbeda dan kekuatan cahaya yang stabil pada waktu yang berbeda dalam sehari (**Jamaluddin, dkk, 2019**). Array (LED) menyebar untuk tujuan penerangan berkat energinya yang rendah dan lebih tinggi (**Ergul, dkk, 2015**). Teknik pemosisian pada ruangan tradisional memiliki keterbatasan pada frekuensi radio seperti WiFi, inframerah, *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER), dan sebagainya (**Xu, dkk, 2016**). LED dianggap sebagai lampu masa depan yang menjanjikan karena efisiensi energi yang dimiliki, seperti efisiensi kecerahan dan ramah lingkungan dan juga mudah dimodulasi pada tingkat relatif tinggi untuk komunikasi data (**Yamaguchi, dkk, 2014**).

Penelitian (**Zhang & Kavehrad, 2012**) melakukan simulasi lokalisasi dalam ruangan 2-D berbasis pada LED cahaya tampak. Hasil penelitian ini, fitur yang paling menonjol dari sistem ini adalah tidak memerlukan sinkronisasi antara LED, yang memungkinkan sistem ini dapat dikerahkan dengan mudah dan tidak ada tambahan yang harus dilakukan pada langit-langit dan hasil simulasi menunjukkan bahwa target akurasi estimasi posisi dari sistem ini dapat berada dalam beberapa sentimeter (cm) dan kesalahan lokalisasi dapat diterima. Kemudian, penelitian (**Zhou, 2012**) mengusulkan algoritma penentuan posisi di dalam ruangan menggunakan komunikasi cahaya tampak. Algoritma diimplementasikan oleh sistem penerangan pemancar cahaya diode yang dapat memulihkan fitur saluran VLC dari menerangi cahaya tampak penerima lokasi dengan analitis memecahkan persamaan transmisi lambertian. Hasil penelitian ini, algoritma yang digunakan dapat memberikan resolusi pemosisian lebih tinggi dari 0,5 milimeter (mm) di lingkungan dalam ruangan yang praktis, metode ini dapat memberikan informasi posisi 2-D konvensional dan juga informasi 3-D. Performansinya secara signifikan melebihi pemosisian dalam pendekatan ruangan konvensional menggunakan gelombang mikro. Ada 80% peningkatan rata-rata kesalahan penentuan posisi dan toleransi *noise* 7 dB lebih sedikit, saat 3-D diterapkan sebagai gantinya dari posisi 2-D. Selanjutnya, penelitian (**Zhang, dkk, 2014**), mensimulasikan sistem pemosisian dalam ruangan asinkron berdasarkan teknologi yang diusulkan yaitu VLC. Penggunaan *protocol Basic Framed Slotted Aloha* (BFSA) yang ditujukan sebagai solusi untuk masalah saluran *multi access*. Simulasi ini dilakukan pada ruangan yang berukuran $6 \times 6 \times 4 \text{ m}^3$, dengan jumlah LED sebanyak 4 buah pada level daya 16 Watt. Setelah *noise* dianalisis didapatkan hasil pemosisian dalam ruangan dengan presisi sebesar 95% dalam radius 17,25 cm dengan asumsi terkena paparan sinar

matahari langsung dan presisi 95% dalam radius 11,2 cm dengan asumsi tidak terkena paparan sinar matahari langsung dan pemasangan lampu diode pemancar cahaya yang benar. Akurasi yang dihasilkan pada radius 5,9 cm dengan asumsi tidak terkena paparan sinar matahari langsung.

Lalu, Penelitian **(Rahmwati, dkk, 2020)**, mensimulasikan deteksi *random point* menggunakan RSS berdasarkan besar daya yang diterima oleh detektor pada ruangan $5 \times 5 \times 3 \text{ m}^3$. Hasil menunjukkan bahwa jumlah penggunaan LED akan berpengaruh kepada hasil akurasi. Semakin banyak LED maka hasil akurasi akan semakin meningkat dan nilai *positioning error* akan menurun. LED yang digunakan bervariasi yaitu 4 LED, 6 LED, dan 8 LED. Pada skenario 4 LED dihasilkan 18 titik *receiver*, *positioning error* 0,505 m, dan tingkat akurasi 72,22%, skenario 6 LED dihasilkan 22 titik dengan *positioning error* 0,1866 m, dan tingkat akurasi 88,42%, skenario 8 LED dihasilkan 24 titik, *positioning error* 0,0808 m dan tingkat akurasi sebesar 96,62%. Kontribusi yang kami usulkan dari penelitian ini adalah melakukan simulasi penentuan posisi di dalam ruangan menggunakan metode RSS, dengan LED sebagai *transmitter* dan PIN sebagai *receiver*. Simulasi ini diasumsikan pada ruangan tertutup yang berukuran $5 \times 5 \times 3 \text{ m}^3$ dengan 4 skenario posisi LED dan 15 titik *random point receiver* pada level daya yang rendah yaitu 1 watt dan jumlah LED yang terbatas yaitu 3 buah. Skenario 1, LED berada pada koordinat (0,5; 4; 3), (4; 4; 3), dan (4,5; 1; 3), skenario 2 (0,5; 1; 3), (1; 4; 3), dan (4; 4; 3), skenario 3 (0,5; 4; 3), (2,5; 0,5; 3), dan (4,5; 4,5; 3), dan skenario 4 (0,5; 4,5; 3), (2,5; 0,5; 3), dan (4,5; 4,5; 3).

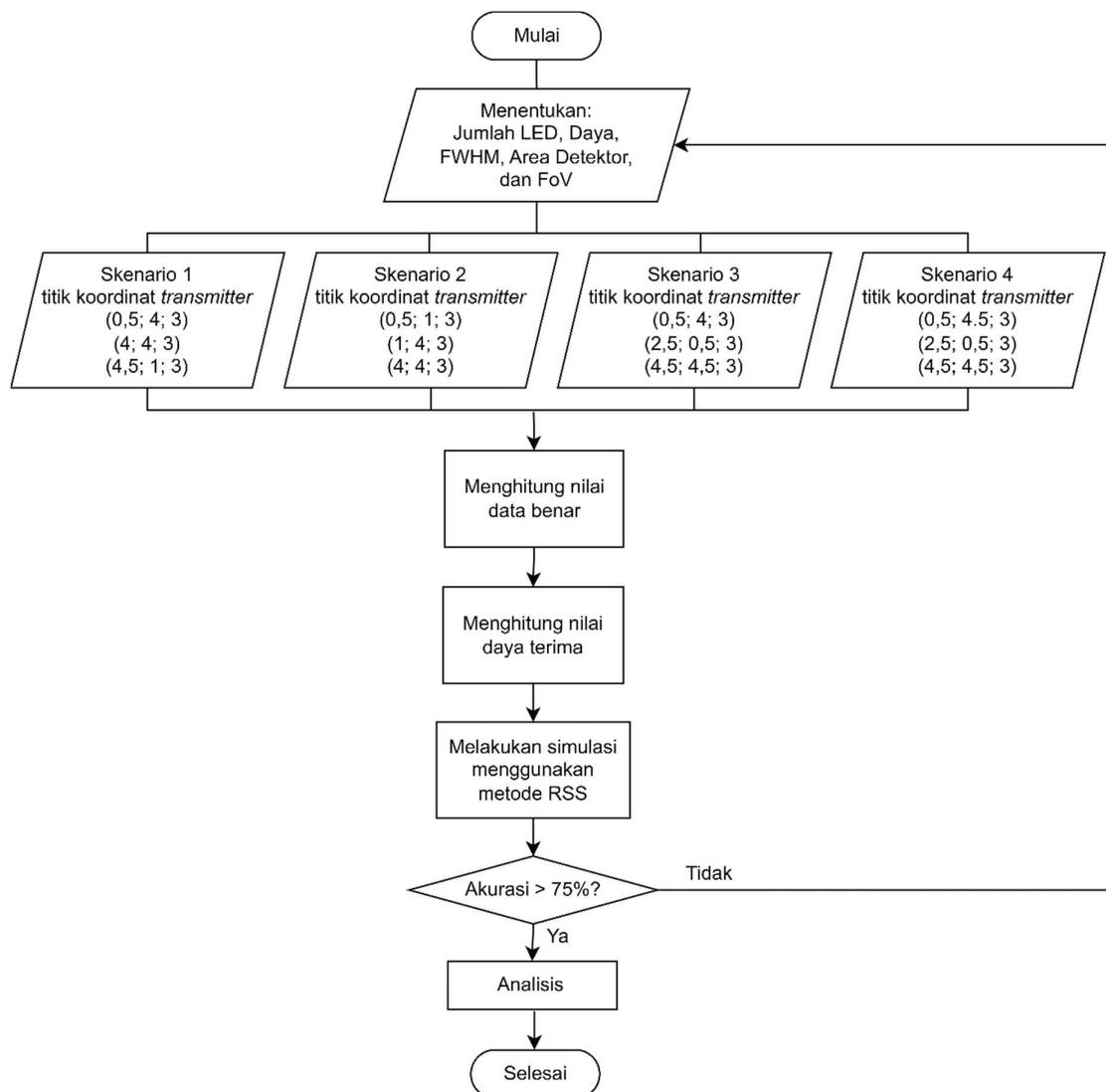
Pada jurnal ini terbagi menjadi 4 bagian. Bagian II, menjelaskan metode yang dilakukan saat penelitian, yaitu metode matematika triangulasi RSS dengan jumlah 4 skenario. Pada setiap skenario memiliki 3 buah LED dengan posisi yang berbeda dengan level daya setiap LED sebesar 1 watt. Bagian III, membahas hasil dari simulasi IPS pada 4 skenario dan melakukan analisis setiap skenario serta melakukan perbandingan setiap skenario. Bagian IV, menyimpulkan dari penelitian yang dilakukan.

2. METODE

Metode yang digunakan pada simulasi sistem IPS pada VLC menggunakan metode RSS dengan jenis sistem transmisi kanal yaitu kanal *Line of Sight* (LoS). Simulasi ini diasumsikan pada ruangan tertutup tanpa adanya interferensi yang berukuran $5 \times 5 \times 3 \text{ m}^3$ yang terdiri dari 4 skenario dengan jumlah *transmitter* sebanyak 3 buah LED pada posisi berbeda dengan level daya sebesar 1 watt. Sedangkan untuk jumlah *receiver* setiap skenario sebanyak 15 PIN. Metode RSS merupakan metode matematika yang tergolong dalam triangulasi. RSS adalah pendekatan alternatif untuk memperkirakan jarak antara perangkat seluler dan stasiun pangkalan menggunakan properti redaman kekuatan sinyal yang dipancarkan.

2.1 Diagram Alir

Dalam penelitian ini mempunyai diagram alir untuk menjadi panduan dalam melakukan simulasi penelitian. Diagram alir ini menguraikan langkah-langkah untuk mencapai hasil yang diinginkan.



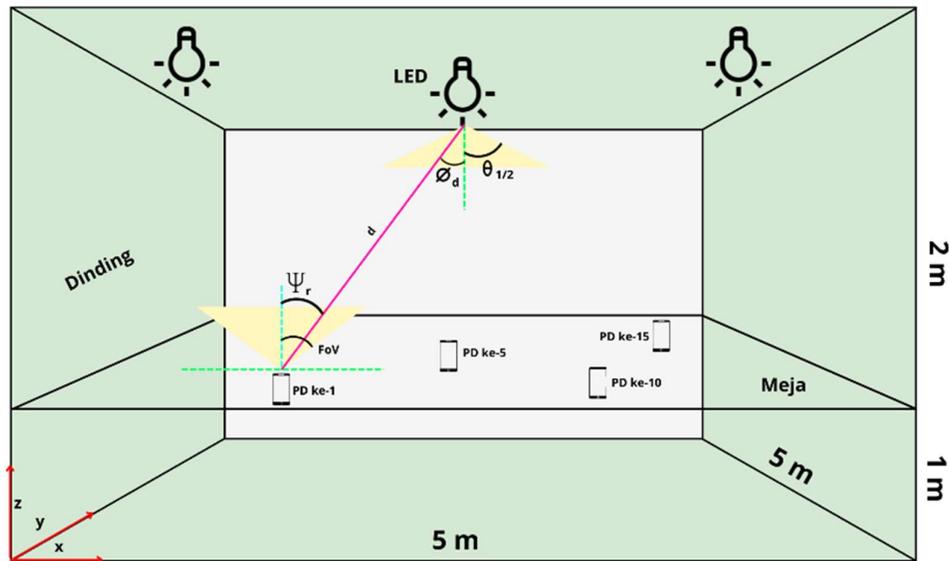
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Gambar 1 merupakan diagram alir penelitian, dimulai dari perhitungan data benar setiap skenario untuk mendapatkan nilai daya terima, dengan titik LED dan PIN sudah diketahui. Dengan cara menghitung jarak menggunakan metode triangulasi, kemudian menghitung nilai lambertian, selanjutnya menghitung nilai kanal, dan menghitung nilai daya terima menggunakan hasil yang sudah diketahui. Selanjutnya, metode triangulasi dapat digunakan dengan menghitung antara lain, nilai kanal karena dapat diketahui karena nilai daya terima sudah diketahui, lalu menghitung nilai jarak, kemudian menentukan titik x dan y sebagai data estimasi untuk *photodetektor*, selanjutnya dapat dihitung tingkat akurasinya menggunakan *R2 Score* untuk menguji kelayakan sistem.

2.2 Kanal Transmisi

Kanal propagasi adalah jalur perambatan yang digunakan untuk mengirimkan data *transmitter* menuju *receiver*. Terdapat 2 jenis kanal yaitu kanal LoS dan kanal *Non-Line of Sight* (NLoS) (Pamukti, dkk, 2022). Penelitian ini menggunakan kanal LoS.

2.2.1 Kanal LoS



Gambar 2. Ilustrasi Kanal LoS

Gambar 2 menggambarkan ilustrasi kanal LoS yang merupakan jalur perambatan yang tidak memiliki *obstacle* atau penghalang pada saat transmisi sinyal. Jenis kanal ini di rekomendasikan untuk penelitian teknologi VLC karena tidak memiliki *obstacle* sehingga energi yang berdifusi lebih sedikit, dan persentase kehandalan sistem lebih terjamin dibandingkan kanal NLoS. Secara umum, pemodelan kanal LoS di dalam ruangan menggunakan sumber dan fotodetektor.

Agar dapat menghitung nilai kanal, dapat menggunakan Persamaan (1) berikut **(Ghassemlooy, dkk, 2013)**

$$H_{los} = \frac{A_r(m+1)}{2\pi d^2} \cos^m(\phi) T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi), \quad (1)$$

dengan A_r sebagai area *detektor*, m merupakan emisi lambertian yang menunjukkan jumlah LED yang digunakan lebih dari 1, d adalah jarak antara *transmitter* dan *receiver*, ϕ didefinisikan sebagai sudut daya pancar maksimum.

Kemudian, untuk mencari nilai Emisi Lambertian menggunakan Persamaan (2) sebagai berikut **(Ghassemlooy, dkk, 2013)**

$$m = \frac{-\ln 2}{\ln(\cos \theta_{1/2})}, \quad (2)$$

dengan $\theta_{1/2}$ merupakan $1/2$ sudut daya pancar, *semi-angle* atau *full width at half maximum* (FWHM) pada LED.

Selanjutnya menghitung nilai daya terima menggunakan Persamaan (3) berikut **(Ghassemlooy, dkk, 2013)**

$$P_r = P_t \times H_{los}, \quad (3)$$

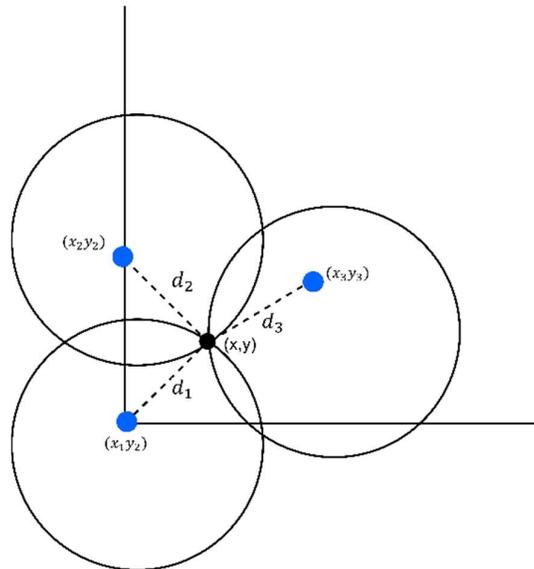
dengan P_t merupakan daya kirim dari lampu LED.

2.3 Received Signal Strength (RSS)

RSS adalah pendekatan alternatif untuk memperkirakan jarak antara perangkat seluler dan stasiun pangkalan menggunakan properti redaman kekuatan sinyal yang dipancarkan (**J. Luo, dkk, 2017**). Metode RSS merupakan penguatan sinyal pada penerima menggunakan prinsip triangulasi. Metode ini rentan terhadap jarak, jika jarak semakin jauh dengan *transmitter* maka sinyal yang diterima oleh *receiver* akan melemah, begitupun sebaliknya. Pada VLC berdasarkan besar daya yang diterima oleh detektor maka nilai jarak d dari *transmitter* ke *receiver* dapat dirumuskan pada Persamaan (4) sebagai berikut (**Rahmwati, dkk, 2020**)

$$d = \sqrt[m+3]{\frac{(m+1) \cdot A_r \cdot h^{m+1}}{H_{los} \cdot 2\pi}}, \quad (4)$$

dengan A_r sebagai area *detektor*, h adalah tinggi antara LED dan detektor, H_{los} adalah nilai kanal LoS, dan m adalah lambertian emisi.



Gambar 3. Ilustrasi RSS

Gambar 3 mengilustrasikan titik *transmitter* dan *receiver* untuk mendapatkan titik x dan y . Untuk mendapatkan titik koordinat x dan y , dibutuhkan minimal 3 buah LED. Hal tersebut dapat dihasilkan dari jarak menggunakan *Euclidean Distance*, seperti pada Persamaan (5),(6)(7) dibawah.

$$d_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2, \quad (5)$$

$$d_2^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2, \quad (6)$$

$$d_3^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2, \quad (7)$$

dengan (x, y) sebagai koordinat PIN dan $(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3)$ adalah koordinat LED.

Agar mendapatkan titik x dan y , dapat digunakan Persamaan (8) dan (9) berikut

$$y = \frac{\begin{aligned} &2x_2x_1^2 - 2x_3x_1^2 + 2x_2y_1^2 - 2x_3y_1^2 \\ &- 2x_2x_2^2 + 2x_3x_2^2 - 2x_2y_2^2 + 2x_3y_2^2 \\ &- 2x_1x_2^2 - 2x_1y_2^2 + 2x_1x_3^2 + 2x_1y_3^2 + 2d_2^2x_1 - 2d_3^2x_1 \\ &+ 2x_2x_2^2 + 2x_2y_2^2 - 2x_2x_3^2 - 2x_2y_3^2 - 2d_2^2x_2 + 2d_3^2x_2 \\ &- 2x_2d_1^2 + 2x_3d_1^2 + 2x_2d_2^2 - 2x_3d_2^2 \end{aligned}}{-4y_2x_1 + 4y_3x_1 + 4y_2x_2 - 4y_3x_2 + 4y_1x_2 - 4y_1x_3 - 4y_2x_2 + 4y_2x_3}, \quad (8)$$

$$x = \frac{x_2^2 + y_2^2 - x_3^2 - y_3^2 - 2y_0y_2 + 2y_0y_3 - d_2^2 + d_3^2}{2x_2 - 2x_3}, \quad (9)$$

dengan (d_1^2, d_2^2, d_3^2) merupakan jarak dari masing-masing LED terhadap PIN.

2.4 Positioning error

Positioning error berfungsi untuk mengukur tingkat eror yang dihasilkan dalam sistem IPS. Jika nilai semakin kecil maka sistem akan lebih baik. Pada penelitian ini nilai *positioning error* difokuskan pada jarak, jika selisih jarak yang dihasilkan hanya berbeda sedikit maka nilai *positioning error* nya itu bernilai kecil. Berikut adalah Persamaan (10) untuk *positioning error* (Rahmwati, dkk, 2020)

$$P_E = \sqrt{(x_r - x_e)^2 + (y_r - y_e)^2}, \quad (10)$$

dengan x_r, y_r adalah koordinat asli dari *random point* dan x_e, y_e sebagai koordinat *estimasi*.

2.5 Akurasi

Akurasi bertujuan untuk kelayakan sistem jika diterapkan pada suatu sistem. Penelitian ini menggunakan akurasi 75% agar metode yang diusulkan dapat digunakan. Rumus yang digunakan untuk menganalisis tingkat akurasi menggunakan *R2 Score* seperti pada Persamaan (11) dibawah (Rahmwati, dkk, 2020)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_r - \hat{y}_e)^2}{\sum_i (y_e - \bar{y}_r)^2}, \quad (11)$$

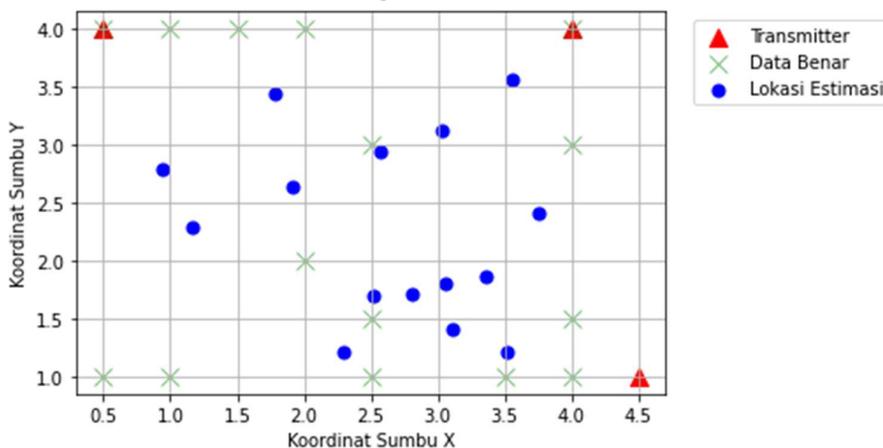
dengan y_r adalah posisi asli, y_e merupakan posisi terdeteksi, dan \bar{y}_r sebagai rata-rata posisi asli.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Setiap Skenario

Pada bab ini, merupakan hasil analisis setiap skenario yang telah disimulasikan. Terdapat 4 skenario dengan posisi lampu LED yang berbeda dan diasumsikan pada ruangan tertutup pada simulasi yang telah dilakukan. Berikut adalah hasil analisis setiap skenario:

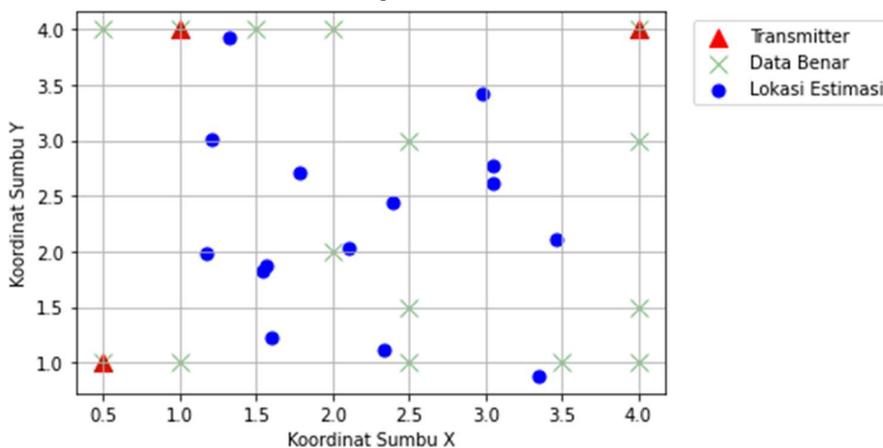
3.1.1 Analisis Posisi Acak Receiver pada Skenario 1



Gambar 4. Hasil Simulasi Skenario 1

Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi pada skenario 1 menggunakan metode RSS. Posisi LED tidak simetris terhadap LED lainnya. LED terletak pada koordinat (0,5; 4; 3), (4; 4; 3), dan (4,5; 1; 3) dan 15 titik PIN. Sehingga memiliki hasil akurasi sebesar 27,97% dengan jumlah titik yang terdeteksi pada radius di bawah 1 m sebanyak 3 pasang titik x dan y . Rata-rata nilai *positioning error* yang didapatkan yaitu 1,8495 m. Penempatan LED pada skenario 1 tidak direkomendasikan untuk penggunaan penentuan posisi di dalam ruangan karena akurasi yang dihasilkan bernilai rendah dengan nilai *positioning error* yang lebih dari 1 m.

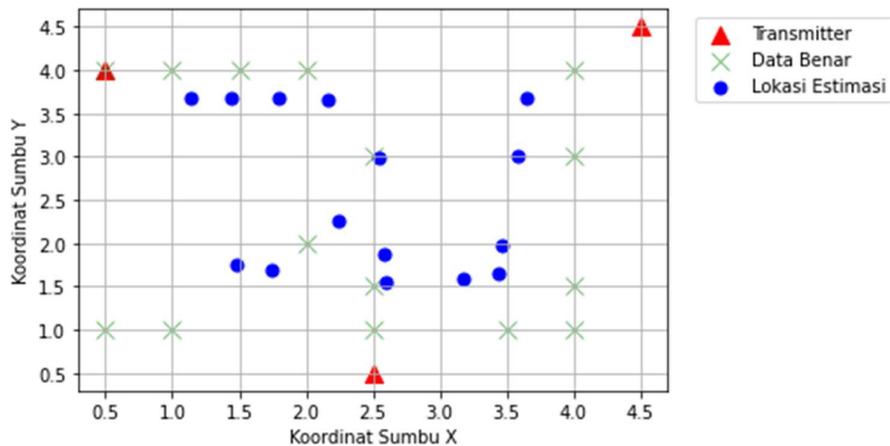
3.1.2 Analisis Posisi Acak Receiver pada Skenario 2



Gambar 5. Hasil Simulasi Skenario 2

Gambar 5 mengilustrasikan hasil simulasi pada skenario 2 menggunakan metode RSS pada titik LED (0,5; 1; 3), (1; 4; 3), dan (4; 4; 3) dan 15 titik PIN. Pada skenario 2 mengalami peningkatan hasil akurasi yaitu sebesar 43,33%, dengan jumlah titik yang terdeteksi pada radius di bawah 1 m sebanyak 6 pasang titik x dan y . Rata-rata nilai *positioning error* yang didapatkan yaitu 1,9837 m. PIN yang terdeteksi mengalami peningkatan dari skenario 1, namun rata-rata nilai *positioning error* yang dihasilkan lebih besar daripada skenario 1. Posisi penempatan 3 buah LED tidak simetris terhadap posisi LED lainnya, sehingga mengalami kenaikan nilai *positioning error* yang sangat besar.

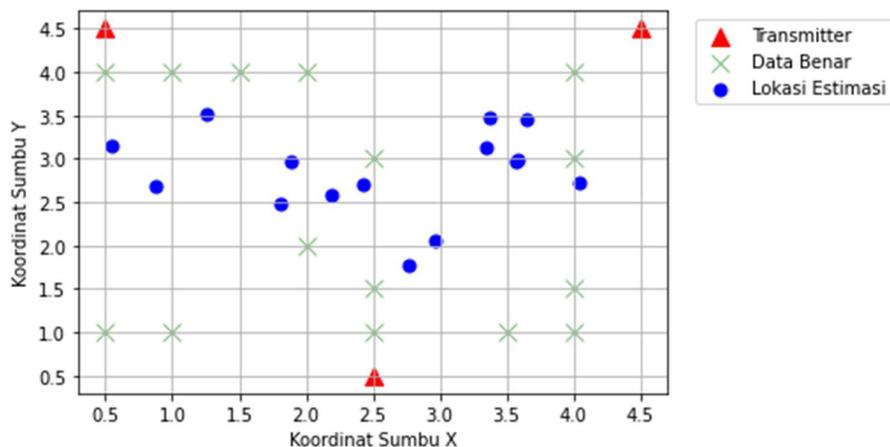
3.1.3 Analisis Posisi Acak Receiver pada Skenario 3



Gambar 6. Hasil Simulasi Skenario 3

Hasil simulasi pada skenario 3 menggunakan metode RSS ditunjukkan pada Gambar 6. Skenario 3 memiliki pola posisi LED seperti segitiga sembarang atau tidak simetris terhadap letak LED lainnya, yaitu pada titik LED (0,5; 4; 3), (2,5; 0,5; 3), dan (4,5; 4,5; 3) dan 15 titik PIN. Penempatan LED seperti pada gambar di atas diharapkan dapat memancarkan cahaya kepada PIN secara meluas sehingga daya yang dikirimkan akan lebih maksimal. Hasil akurasi pada skenario 3 menunjukkan 86,84% dengan jumlah titik yang terdeteksi pada radius di bawah 1 m sebanyak 15 pasang titik x dan y . Rata-rata nilai *positioning error* yang didapatkan yaitu 0,6514 m. Skenario 3 memiliki hasil yang bagus karena pemosisian LED yang tepat dan cakupan cahaya yang diterima oleh detektor lebih baik dari yang sebelumnya.

3.1.4 Analisis Posisi Acak Receiver pada Skenario 4

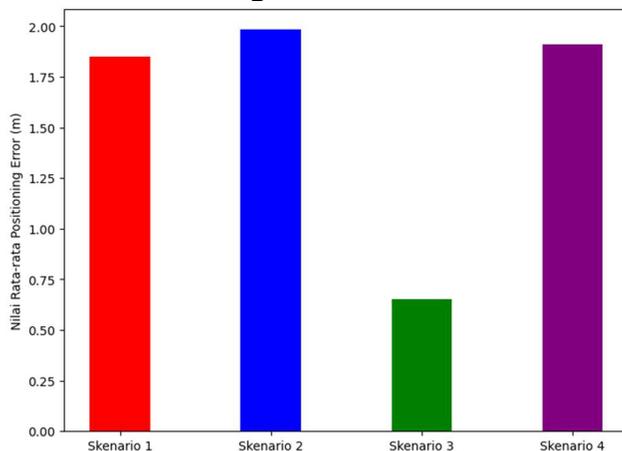


Gambar 7. Hasil Simulasi Skenario 4

Pada skenario 4, letak LED dibuat secara simetris atau sama sisi agar dapat terlihat lebih rapi, seperti pada Gambar 7. Letak LED berada pada titik (0,5; 4,5; 3), (2,5; 0,5; 3), dan (4,5; 4,5; 3) dan 15 titik PIN. Tetapi, ketika posisi LED dibuat pada posisi yang simetris mengalami penurunan akurasi. Akurasi yang dihasilkan pada skenario 4 sebesar 21,15% dengan jumlah titik yang terdeteksi pada radius di bawah 1 m sebanyak 5 pasang titik x dan y . Rata-rata nilai *positioning error* yang didapatkan yaitu 1,9088 m. Penempatan posisi seperti pada skenario 4

mendapatkan hasil akurasi yang paling buruk diantara 3 skenario lainnya, sehingga tidak disarankan untuk penggunaan penentuan posisi di dalam ruangan.

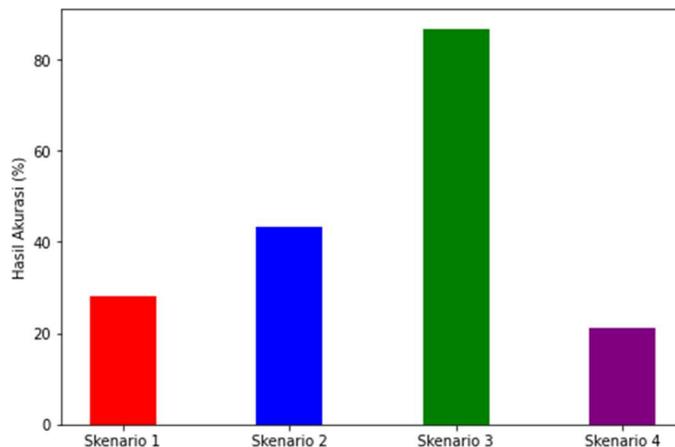
3.2 Perbandingan Nilai *Positioning Error*



Gambar 8. Perbandingan Nilai Rata-Rata *Positioning Error* pada Setiap Skenario

Gambar 8 memperlihatkan perbandingan rata-rata nilai *positioning error* pada setiap skenario. Pada skenario 1 didapatkan nilai rata-rata *positioning error* sebesar 1,8495 m. Skenario 2 didapatkan hasil rata-rata *positioning error* sebesar 1,9837 m. Skenario 3 mendapatkan nilai rata-rata *positioning error* dengan nilai 0,6514 m. Skenario 4 mendapatkan hasil rata-rata *positioning error* sebesar 1,9088 m. Nilai *positioning error* yang baik adalah yang mendekati nilai nol. Dapat dilihat pada Gambar 8, nilai *positioning error* yang baik berada pada skenario 3.

3.3 Perbandingan Hasil Akurasi



Gambar 9. Perbandingan Hasil Akurasi Setiap Skenario

Gambar 9 merupakan perbandingan hasil akurasi dari setiap skenario. Pada skenario 1, didapatkan hasil akurasi sebesar 27,97%, skenario 2 mendapatkan hasil akurasi sebesar 43,33%, skenario 3 mendapatkan hasil akurasi sebesar 86,84%, dan skenario 4 mendapatkan hasil akurasi sebesar 21,15%. Dari semua skenario, nilai akurasi yang paling tinggi berada di skenario 3. Skenario 3 memiliki posisi LED yang cocok untuk digunakan dalam ruangan yang berukuran $5 \times 5 \times 3 \text{ m}^3$ dengan asumsi pada ruangan tertutup tanpa adanya interferensi dengan level daya 1 watt. Letak LED skenario 3 berada di titik (0,5; 4; 3), (2,5; 0,5; 3), dan

(4,5; 4,5; 3) dengan hasil titik PIN yang terdeteksi sebanyak 15 pasang titik x dan y di bawah radius 1 m.

4. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi ekstensif menyatakan bahwa yang dapat mempengaruhi akurasi dan *positioning error* pada penelitian ini yaitu posisi *transmitter* dan selisih jarak benar dengan jarak estimasi antara *transmitter* terhadap *receiver*. Ketika jarak antara *transmitter* dan *receiver* semakin jauh maka kekuatan sinyal akan melemah sehingga sinyal terima tidak akan sama seperti saat dikirim. Nilai *positioning error* yang baik yaitu yang mendekati nol dan nilai akurasi yang baik yang mendekati 100%. Hasil simulasi menunjukkan skenario terbaik berada pada skenario 3 pada posisi LED berada dititik koordinat (0,5; 4; 3), (2,5; 0,5; 3), (4,5; 4,5; 3) terdeteksi 15 PIN dengan radius di bawah 1 m dan mendapatkan akurasi sebesar 86,84% dengan nilai rata-rata *positioning error* yang kecil yakni sebesar 0,6514 m.

DAFTAR RUJUKAN

- Ergul, O., Dinc, E., & Akan, O. B. (2015). Communicate to illuminate: State-of-the-art and research challenges for visible light communications. *Physical Communication* Elsevier B.V., 17(1), 72–85.
- Ghassemlooy, Zabih., Popoola, W., & Rajbhandari, S. (2013). *Optical wireless communications: system and channel modelling with MATLAB*. CRC Press.
- Gu, W., Aminikashani, M., & Kavehrad, M. (2016). Indoor visible light positioning system with multipath reflection analysis. *2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics*, (pp. 89–92).
- Luo, J., Fan, L., & Li, H. (2017). Indoor Positioning Systems Based on Visible Light Communication: State of the Art. Dalam *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 19(4), 2871–2893.
- Luo, P., Zhang, M., Zhang, X., Cai, G., Han, D., & Li, Q. (2013). An indoor visible light communication positioning system using dual-tone multi-frequency technique. *Proceedings of the 2013 2nd International Workshop on Optical Wireless Communications*, (pp. 25–29).
- Nur'adli, L., Fahmi, A., & Pamukti, B. (2022). Perbandingan Kinerja Grpa Dan Spa Pada Kanal Los Untuk Sistem Noma Komunikasi Cahaya Tampak Di Bawah Air. *e-Proceeding of Engineering*, (pp. 568-576).
- Pamukti, B., Adriansyah, N. M., & Niladbrata, R. F. (2022). Evaluasi Coded Random Access untuk Visible Light Communication pada Model Kanal Non-Line Of Sight. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 10(2), 405-418.

- Rahmwati, M. M., Adriansyah, N. M., & Pamukti, B. (2020). Pengaruh Jumlah Light Emitting Diode (LED) Pada Akurasi Sistem Positioning Indoor Berbasis Visible Light Communication (VLC). *e-Proceeding of Engineering*, (pp. 3758-3765).
- Jamaluddin, Nugroho, A.T., & Maulana W. 2019. Rancang Bangun Indoor Positioning System berbasis Wireless Smartphone menggunakan Teknik Global Positioning System dengan Metode Absolut. *Berkala Saintek*, *8*(1), 13-18.
- Wang, Y., Gong, Y., & Shi, Z. (2015). Research on the Collinear Equation Model of Visual Positioning Based on Visible Light Communication. *MATEC Web of Conferences*, (pp. 2–7).
- Xu, W., Wang, J., Shen, H., Zhang, H., & You, X. (2016). Indoor positioning for multiphotodiode device using visible-light communications. *IEEE Photonics Journal*, *8*(1), 1–11.
- Yamaguchi, S., Mai, V. v., Thang, T. C., & Pham, A. T. (2014). Design and performance evaluation of VLC indoor positioning system using optical orthogonal codes. *2014 IEEE 5th International Conference on Communications and Electronics*, (pp. 54–59).
- Zhang, W., Chowdhury, M. I. S., & Kavehrad, M. (2014). Asynchronous indoor positioning system based on visible light communications. *Optical Engineering*, *53*(4), 1-9.
- Zhang, W., & Kavehrad, M. (2012). A 2-D indoor localization system based on visible light LED. *2012 IEEE Photonics Society Summer Topical Meeting Series, PSST 2012*, *4*, 80–81.
- Zhou, Z. (2012). Indoor positioning algorithm using light-emitting diode visible light communications. *Optical Engineering*, *51*(8), 1-9.