

Implementasi Algoritma Trilateration pada Penentuan Posisi Obyek

Dhiyaan Khansa Afifah¹, Dany Primanita Kartikasari², Fariz Andri Bakhtiar³

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya
Email: ¹dhiyaankhansa@gmail.com, ²dany.jalin@ub.ac.id, ³fariz@ub.ac.id

Abstrak

Algoritma *Trilateration* sudah umum digunakan untuk teknik pelacakan obyek yang bergantung pada kekuatan sinyal sebagai pengukur jarak, dan termasuk teknik yang hemat biaya karena menggunakan perangkat keras yang mudah ditemukan, juga menggunakan rumus matematika yang relatif sederhana. Algoritma ini menggunakan tiga buah node referensi untuk memperkirakan lokasi node yang dicari dengan mengasumsikan simpul yang tidak diketahui sebagai persimpangan dari tiga buah titik. Pengujian yang dilakukan bertujuan untuk mencari tahu bagaimana akurasi dari sistem penentuan posisi menggunakan *BLE device* dan untuk menentukan posisi terbaik. Hasil pengujian yang di peroleh adalah tingkat akurasi sistem penentuan posisi menggunakan algoritma *trilateration* sangat dipengaruhi oleh nilai *RSSI* yang berfluktuasi yang diterima oleh *BLE device*. Tingkat akurasi sistem yang di dapat adalah standar sebesar 77% dengan nilai rata-rata jarak *euclidean* 1,966909 meter dan nilai *error* sebesar 23%. Akurasi yang terbaik pada sistem ini, adalah sebesar 94,26% pada skenario ke-4 dengan rata-rata jarak *euclidean* 0,670711 meter dan nilai *error* sebesar 5%.

Kata kunci: *trilateration*, *BLE*, *RSSI*

Abstract

Trilateration algorithm is commonly used for object tracking techniques that depend on signal strength as a distance measure, and is a cost-effective technique because it uses easy-to-find hardware, also uses relatively simple mathematical formulas. This algorithm uses three reference nodes to estimate the location of the searched node by assuming the unknown node as the intersection of three points. The tests carried out aim to find out how accurate the positioning system is using a BLE device and to determine the best position. The test results obtained that the level of accuracy of the positioning system using the trilateration algorithm is strongly influenced by the fluctuating RSSI value received by the BLE device. The level of system accuracy obtained is a standard on 77% with an average Euclidean distance of 1.966909 meters and an error value of 23%. The best accuracy in this system is 94.26% in the 4th scenario with an average euclidean distance of 0.670711 meters and an error value of 5%.

Keywords: *trilateration*, *BLE*, *RSSI*

1. PENDAHULUAN

Layanan berbasis lokasi yang banyak digunakan oleh manusia pada saat ini adalah teknologi *GPS (Global Positioning System)*. Teknologi ini dapat membantu kebutuhan sehari-hari manusia terutama untuk mengetahui posisi dengan cepat serta secara *real-time* juga membantu dalam hal pencarian rute perjalanan. Teknologi ini menggunakan algoritma *triangulation* dengan bantuan satelit. Namun, teknologi *GPS* tergolong sulit untuk diandalkan keakuratannya untuk digunakan pada layanan berbasis lokasi di dalam ruangan atau *indoor*

localization karena sering kali penerimaan sinyal satelit di dalam ruangan terganggu. *Indoor localization* atau lokalisasi dalam ruangan memiliki banyak potensi pada berbagai layanan yang dapat diberikannya dengan memanfaatkan *Internet of Things (IoT)*. Lokalisasi dalam ruangan dapat membantu pelacakan lokasi pengguna atau obyek di dalam ruangan. Teknologi ini dapat menguntungkan banyak sistem baru seperti *Internet of Things (IoT)*, *Smart City*, *Smart Building*, *Smart Grid*, dan *Machine Type Communication*. Sebagai contoh, *IoT* merupakan penggabungan dari berbagai teknologi dan standar komunikasi yang mempunyai tujuan untuk menyediakan

konektivitas antar beberapa perangkat. *IoT* menjadi bagian yang tak terpisahkan dengan berbagai teknologi jarak pendek dan menengah seperti *Bluetooth*, *Zigbee*, *WiFi*, *UWB* dan lain-lain (Zafari, Gkelias, dan Leung 2019).

Berbagai macam teknologi dapat digunakan untuk membuat sistem referensi untuk lokalisasi seperti sinyal audio, sinyal magnetic, penampakan cahaya, dan teknik komunikasi radio seperti (*WiFi*, *Bluetooth*, *Bluetooth Low Energy*, *Radio Frequency Identification*, dan *Ultra-Wideband*). Dan dapat dipadukan dengan metode penginderaan seperti *Received Signal Strength (RSS)*, *Time of Flight (ToF)* atau *Time Difference of Arrival (TDoA)*, *Angle of Arrival (AoA)* atau *Angle Difference of Arrival (ADoA)*, dan *Phase of Arrival (PoA)*. Serta dapat menggunakan solusi *hybrid* seperti metode *Machine Learning (Neural Networks dan Deep Learning)* juga teknik berbasis model seperti *Kalman Filters* dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi atau kinerja sistem (Simon dan Sujbert 2021).

Dengan meningkatnya penggunaan *smartphone*, metode berbasis *WiFi* telah menjadi metode yang paling sering digunakan untuk penentuan posisi dalam ruangan. Namun, baru-baru ini para peneliti mulai menggunakan metode penentuan posisi berbasis *Bluetooth Low Energy*. Dalam penelitian oleh L.Ciabattone dkk pada tahun 2016, lokalisasi dalam ruangan dilakukan dengan menggabungkan informasi dari analisis *RSSI* dari *BLE beacon* dan data sensor inersia dari *smartphone* (Bai dkk. 2020). Secara umum, *BLE beacon* adalah sebuah perangkat nirkabel dengan tenaga baterai yang kecil yang berfungsi untuk memberitahukan keberadaan layanannya. Teknologi ini mirip dengan *WiFi* dimana perangkat dapat berkomunikasi satu dengan lain untuk saling menawarkan dan memilih layanan yang tersedia. Komunikasi dilakukan dengan cara melakukan *broadcast* berulang kali sebuah pengenal *beacon* kepada *smartphone* yang kompatibel dan berada dalam jarak tangkapnya. Kemudian, informasi tersebut dapat digunakan *smartphone* untuk menentukan lokasi dan layanan dari *beacon*. *Beacon* juga dapat membantu untuk mendeteksi ketika suatu obyek telah memasuki atau keluar dari area tertentu.

Bluetooth Low Energy (BLE) adalah salah satu pilihan terbaik yang dapat digunakan untuk sistem penandaan barang. Sebagian besar *smartphone* dan perangkat pintar lainnya pada saat ini menerapkan *BLE hardware* kedalamnya.

Dimana *BLE* akan mengidentifikasi objek yang terdeteksi berada dalam radiusnya dengan melakukan transmisi sebuah paket iklan per detik yang mengkonsumsi daya yang sangat rendah. Oleh karena itu, konsumsi baterai pada perangkat juga sangat minim (Chandan dan Khairnar 2018).

Sistem lokalisasi dalam ruangan dengan menggunakan *BLE beacon* yang diletakkan pada titik-titik tertentu di dalam sebuah ruangan dapat memberikan informasi berharga terkait dengan lokasi dan lingkungan pengguna saat ini yang dapat digunakan untuk layanan cerdas. Karena sistem ini dapat diimplementasikan dan di skalakan dengan mudah juga tidak menimbulkan dampak signifikan pada infrastruktur saat ini, teknologi *BLE* menjadi pilihan populer untuk layanan lokasi dalam ruangan. Juga karena teknologi ini menggunakan pemancar yang mengkonsumsi daya rendah, mudah digunakan, dan dapat disambungkan ke perangkat pintar seperti ponsel dan tablet (Pušnik, Galun, dan Šumak 2020).

Sistem *indoor localization* memanfaatkan *wireless sensor network* dengan tujuan untuk mempermudah informasi letak dari suatu objek pada sebuah ruangan dengan menggunakan kekuatan sinyal atau *RSSI* yang diterima oleh sensor. Salah satu teknologi yang membantu jalannya sistem *indoor localization* adalah penggunaan *Bluetooth Low Energy (BLE)*. *RSSI* yang di terima merupakan parameter yang penting dan sudah umum digunakan untuk perhitungan sederhana dari sistem lokalisasi dalam ruangan. *RSSI* mewakili hubungan antara daya yang diterima dan daya yang di pancarkan (Suroso, Arifin, dan Cherntanomwong, 2020).

Pada penelitian oleh Toeman dan Ovatman pada tahun 2019, peneliti menyatakan bahwa teknik lokalisasi berbasis jarak yang memiliki fondasi yang kuat adalah algoritma *trilateration* atau *multilaterasi*. Algoritma *Trilateration* adalah salah satu algoritma yang umum digunakan untuk teknik pelacakan barang dengan menggunakan kekuatan sinyal atau *RSSI* sebagai pengukur jarak dari sensor ke *node* yang dicari. Algoritma ini merupakan teknik yang tergolong hemat biaya dan juga menggunakan rumus yang relative sederhana. Algoritma ini memerlukan setidaknya tiga buah *node* yang bereperan sebagai referensi untuk memperkirakan lokasi *node* yang dicari dengan mengasumsikan titik yang tidak diketahui berada pada perpotongan ketiga lingkaran dari *node* itu.

Pada penelitian kali ini, penulis akan

melakukan implementasi untuk sistem lokalisasi objek yang ditandai oleh sebuah *BLE server* yang dibantu oleh *tag RFID* sebagai pelabelan letak objek yang dicari. Lalu akan di hitung estimasi posisinya oleh beberapa *BLE device* dan untuk mendapatkan hasil yang akurat, penulis menggunakan algoritma *Trilateration* dimana nantinya akurasi didapatkan dari membandingkan jarak estimasi yang didapat dengan jarak yang sebenarnya.

2. RECEIVE STRENGTH SIGNAL INDEX (RSSI)

RSSI menjadi tolak ukur seberapa baik perangkat dapat menangkap sinyal dari titik *access point*. *RSSI* digunakan untuk mengukur kualitas sinyal yang diterima ke perangkat. Jika nilai *RSSI* mendekati 0, berarti kekuatan sinyal yang ditangkap semakin bagus.

Hubungan antara *RSSI* dan jarak dapat dilihat pada rumus dibawah ini :

$$RSSI[dBm] = A - 10 * n * \log_{10}(d) \quad (1)$$

$$d(m) = 10^{\left(\frac{A-RSSI}{10n}\right)} \quad (2)$$

dengan keterangan :

- A : Kekuatan sinyal yang diterima oleh device dalam jarak 1 meter.
- RSSI : Kekuatan sinyal yang dipancarkan oleh *transmitter (ble)* dengan satuan dBm.
- d : Jarak dari lokasi yang diketahui (jarak dari pengirim ke penerima)
- n : Redaman sinyal atau *path loss* antara antenna pengirim dan penerima yang memiliki kondisi berbeda pada setiap lingkungan.

Tabel 1 Nilai *path loss exponent (n)*

Environment	Path Loss Exponent (n)
Free Space	2
Urban area cellular radio	2.7 to 3.5
Shadowed Urban cellular radio	3 to 5
In Building Line-Of-Sight	1.6 to 1.8
Obstructed in Building	4 to 6
Obstructed in Factories	2 to 3

Sumber : Pradana dan Farahiyah (2019)

3. BLUETOOTH LOW ENERGY (BLE)

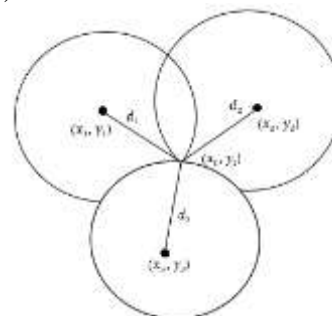
Bluetooth Low Energy (BLE) adalah standar

komunikasi yang dirancang dengan tujuan memungkinkan perangkat nirkabel jarak pendek dapat beroperasi selama berbulan-bulan bahkan bertahun-tahun dengan baterai tunggal. Ketika digabungkan dengan teknologi *beacon*, *BLE* memberikan metode yang efektif untuk mendapatkan perkiraan posisi pengguna terhadap target pemantauan yang telah ditentukan sebelumnya. Teknologi ini beroperasi hingga jarak 50 meter. Teknologi ini menyederhanakan sarana untuk menyesuaikan *Location Based Service (LBS)* yang ditawarkan kepada pengguna berdasarkan lokasi fisik (Cheng dkk. 2016).

BLE melakukan komunikasi dengan membuat sebuah koneksi dengan *device* melalui inisiasi atau iklan. *BLE* melakukan pengiklanan paket yang berisi *ID* unik yang akan menjadi identifikasi perangkat keras *Bluetooth* secara unik, bersama dengan kekuatan sinyal dan informasi perangkat keras lainnya pada *interval* waktu yang teratur. *BLE* akan memancarkan sinyal-sinyal oleh pemancar yang sudah ditempatkan pada posisi tertentu dan sudah diketahui oleh sistem. Sinyal-sinyal yang diiklankan kemudian diterima oleh *server* dan diukur daya pancar sinyal yang diterimanya (*RSSI*). Hasil pengukuran *RSSI* ini nantinya akan dijadikan acuan untuk memperoleh estimasi jarak antara pemancar dan penerima yang selanjutnya akan diolah oleh sebuah algoritma.

4. ALGORITMA TRILATERATION

Metode trilaterasi tidak melibatkan pengukuran sudut. Pada dasarnya, metode ini memanfaatkan tiga buah *node* referensi untuk memperkirakan lokasi *node* yang dianggap sebagai simpul buta (Manurung, Putrada, dan Jadied 2019).



Gambar 1. Ilustrasi Metode *Trilateration*

Sumber : Manurung, Putrada, dan Jadied (2019)

Jika (x_t, y_t) adalah posisi simpul yang tidak diketahui, maka berdasarkan rumus pythagoras

dapat diperoleh :

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = d^2 \quad (i = 1,2,3) \quad (3)$$

dengan keterangan :

d : Jarak antara sensor dan perangkat pembaca

x_i dan y_i : Koordinat x dan y dari masing-masing pemancar sinyal

x_t dan y_t : Koordinat x dan y dari posisi tag yang akan dicari

Nilai (x, y) yang dicari dapat dihitung dengan mengukur jarak *Euclidean* antara pusat setiap lingkaran dan titik potong dengan persamaan dibawah ini :

$$x = \frac{(y(y_1 - y_2) - V_b)}{x_2 - x_1} \quad (4)$$

$$y = \frac{V_b(x_2 - x_3) - V_a(x_2 - x_3)}{(y_1 - y_2)(x_2 - x_3) - (y_3 - y_2)(x_2 - x_3)} \quad (5)$$

Dimana

$$V_b = \frac{((x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) + (d_2^2 - d_1^2))}{2} \quad (6)$$

$$V_a = \frac{((x_3^2 - x_2^2) + (y_3^2 - y_2^2) + (d_2^2 - d_3^2))}{2} \quad (7)$$

5. PERHITUNGAN AKURASI

Akurasi yang baik sangat dibutuhkan dalam sebuah perancangan system pencarian suara objek dalam sebuah ruangan. Akurasi dapat diperhitungkan dengan rumus jarak Euclidean yang memiliki persamaan sebagai berikut :

$$d = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} \quad (8)$$

$$\text{Akurasi} = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2}}{n} \quad (9)$$

Dengan keterangan :

d : Jarak *Euclidean*

(x,y) : Lokasi objek atau penerima yang sebenarnya

(x',y') : Estimasi lokasi objek atau penerima

n : Banyaknya jumlah data yang diuji

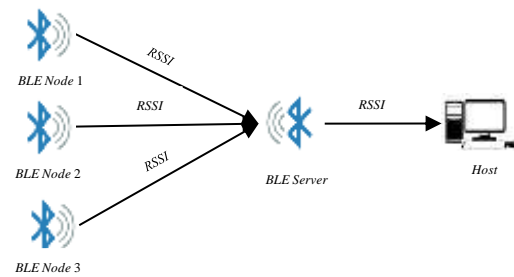
6. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Perancangan dibutuhkan untuk menjadi acuan pada tahap implementasi sistem hingga didapatkan hasil pengujian. Hasil pengujian

yang dihasilkan kemudian akan dianalisis untuk mendapatkan penentuan posisi yang akurat.

5.1. Perancangan Sistem

Pada tahap perancangan sistem, termasuk didalamnya perancangan arsitektur, *flowchart*, *sequence diagram*, dan alur komunikasi data.



Gambar 2. Arsitektur Sistem

Pada gambar 2 diatas menampilkan perancangan arsitektur sistem yang akan dibuat pada sistem ini, dimana komponen pada sistem ini terdiri dari *BLE node*, *BLE server*, dan *Host*. *BLE node* akan melakukan *advertising* atau pengiklanan dengan cara memancarkan sinyal secara terus menerus yang kemudian akan ditangkap oleh *BLE server* untuk selanjutnya dihitung nilai *RSSI*-nya yang akan dilanjutkan oleh *BLE sever* ke *host*.

Selanjutnya, terdapat *flowchart* dari perancangan sistem yang dimulai dengan *BLE server* yang melakukan *scanning* untuk mendeteksi *BLE node* yang sedang melakukan *advertising*. *BLE server* akan menghitung jumlah *BLE node* yang ditemukan disekitarnya, apabila terdeteksi *BLE node* berjumlah 3 maka akan dilakukan perhitungan nilai *RSSI* dan juga mengambil data *MAC address* dari tiap *BLE node* yang terdeteksi. Apabila berjumlah kurang dari 3, maka *BLE server* akan terus-menerus melakukan *scanning* hingga terdeteksi jumlah *BLE node* adalah 3. Lalu, nilai *RSSI* yang didapat oleh *BLE server* akan dikirimkan ke *host* untuk selanjutnya dilakukan perhitungan dengan algoritma *trilateration* untuk mendapatkan output estimasi lokasi obyek yang dicari. *Flowchart* ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Perancangan Sistem



Gambar 4. Sequence Diagram Perancangan Sistem

Berdasarkan skema perancangan sistem pada gambar 4 diatas dapat dilihat bahwa sistem penentuan posisi obyek dimulai dengan beberapa BLE node yang sudah menyala akan melakukan advertising dan BLE server akan melakukan scanning terhadap BLE node. Setelah BLE server mendeteksi adanya BLE node disekitarnya, maka akan melakukan pengukuran nilai RSSI dan juga mengambil data MAC address dari tiap BLE node yang ada. Lalu, data yang didapat oleh BLE server akan dilanjutkan menuju host dengan menggunakan tipe data JSON agar dapat terbaca oleh host dan dapat diolah untuk melakukan perhitungan dengan algoritma trilateration.

7. PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan dalam dua tahap yaitu pengujian sistem dan pengujian akurasi. Pengujian dilakukan pada sebuah ruangan berukuran 10 meter x 6 meter dengan menggunakan 3 buah modul ESP-32 yang berperan sebagai BLE node, 1 buah modul ESP-32 yang berperan sebagai BLE server yang dilengkapi dengan RFID reader dan RFID tag sebagai pelabelan letak obyek yang dicari serta sebuah host yang akan diimplementasikan dengan algoritma trilateration untuk melakukan perhitungan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sepuluh skenario pada peletakan posisi tiga buah BLE node terhadap sebuah objek tetap yang berada pada koordinat (5,3). Setiap skenario dilakukan pengambilan data sebanyak empat kali dengan mengambil lima nilai pada setiap percobaan. Skenario yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini :

Tabel 2 Skenario Pengujian

Skenario	BLE 1		BLE 2		BLE 3	
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	X ₃	Y ₃
1	5	1	1	3	5	6
2	5	2	2	3	5	5
3	5	2.5	3	3	5	4
4	5	3	4	3	5	4
5	4	2	4	4	5	6
6	9	2	4	4	5	6
7	9	1	8	4	10	5
8	9	1	8	2	9	4
9	9	2	3	3	2	6
10	4	1	4	6	1	6

7.1. Pengujian Sistem

Pada pengujian sistem akan dihitung nilai error dan percentage error dari sistem yang telah di implementasikan. Percentage error dihitung menggunakan persamaan di bawah ini untuk selanjutnya digunakan untuk mencari percentage accuracy.

$$Percentage\ error = \frac{x-x_1}{x} \times 100\% \quad (10)$$

Dengan keterangan :

x : Jarak sebenarnya

x₁ : Jarak Estimasi

Hasil percentage error pada pengujian sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3 Hasil *Percentage Error*

Skenario Ke-	Percentage Error
1	34%
2	8%
3	5%
4	15%
5	11%
6	5%
7	46%
8	57%
9	17%
10	32%
Rata-rata	23%

7.2. Pengujian Akurasi

Pada pengujian akurasi akan dihitung nilai akurasi dan *percentage accuracy* dari sistem yang telah dilakukan pengujian dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$\text{Akurasi} = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x^i)^2 + (y^i)^2}}{n} \quad (11)$$

Dengan keterangan :

(x^i, y^i) : Nilai *error* dari tiap koordinat.

n : Banyaknya data pengujian pada tiap skenario.

$$\text{Percentage Accuracy} = 100\% - \text{Percentage Error} \quad (12)$$

Hasil pengujian *percentage accuracy* secara keseluruhan sistem pada pengujian akurasi dapat dilihat pada tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4 Hasil Perhitungan Akurasi

Skenario Ke-	Percentage Error	Percentage Accuracy	Euclidean (m)
1	34%	66,08%	2,527483
2	8%	91,53%	1,035739
3	5%	95%	0,735739
4	15%	84,58%	1,1
5	11%	88,88%	1,266228
6	5%	94,62%	0,670711
7	46%	54%	4,083775
8	57%	43,37%	3,895223
9	17%	83%	1,374459
10	32%	67,87%	2,979736
Rata-rata	23%	77%	1,966909

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa rata-rata jarak *euclidean* terkecil didapatkan pada skenario ke-6 dengan nilai 0.670711 meter ketika *BLE node* 1 berada pada titik koordinat (9,2), koordinat *BLE node* 2 pada titik koordinat (4,4), dan *BLE node* 3 pada titik koordinat (5,6). Sedangkan rata-rata jarak *euclidean* terbesar didapatkan pada skenario ke-7 dengan nilai 4.083775 meter ketika *BLE node* 1 berada pada titik koordinat (9,1), koordinat *BLE node* 2 pada titik koordinat (8,4), dan *BLE node* 3 pada titik

koordinat (10,5).

Sedangkan secara keseluruhan sistem, rata-rata jarak *euclidean* yang dihasilkan adalah sejauh 1.966909 meter dengan tingkat akurasi sebesar 77% dan *percentage error* sebesar 23%.

8. KESIMPULAN

Kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah di awal adalah bahwa sistem penentuan posisi obyek menggunakan algoritma *trilateration* bergantung pada besarnya nilai *RSSI* yang didapatkan dari *BLE*. Dan nilai *RSSI* yang di dapatkan oleh *BLE* berfluktuasi atau tidak stabil karena adanya kondisi *nLos* atau halangan dari beberapa objek yang ada di dalam ruangan yang mengganggu pancaran gelombang *RSSI*. Berdasarkan penelitian oleh Anggeriko, Hari Ginardi, dan Fajar Baskoro pada tahun 2016 yang menyimpulkan bahwa akurasi sistem yang dapat digolongkan baik adalah ketika jarak *euclidean* bernilai kurang dari 1 meter, jika nilai jarak *euclidean* berkisar diantara 1 meter hingga 2 meter, maka tingkat akurasi adalah standar. Oleh karena itu, tingkat akurasi yang dihasilkan pada sistem ini adalah standar yaitu dengan rata-rata 1.966909 meter dengan rata-rata *percentage accuracy* 77% dan rata-rata *percentage error* 23%.

9. DAFTAR PUSTAKA

- Aryasena, Anggeriko. 2016. “Perancangan Indoor Localization Menggunakan Bluetooth Untuk Pelacakan Posisi Benda Di Dalam Ruangan.” Undergraduate, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Bai, Lu, Fabio Ciravegna, Raymond Bond, dan Maurice Mulvenna. 2020. “A Low Cost Indoor Positioning System Using Bluetooth Low Energy.” *IEEE Access* 8: 136858–71.
- Chandan, Abhishek R., dan Vaishali D. Khairnar. 2018. “Bluetooth Low Energy (BLE) Crackdown Using IoT.” Dalam *2018 International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)*, Coimbatore: IEEE, 1436–41. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8597189/> (Desember 20, 2021).
- Cheng, Rung-Shiang, Wei-Jun Hong, Jheng-Syun Wang, dan Kawuu Lin. 2016. “Seamless Guidance System Combining

GPS, BLE Beacon, and NFC Technologies.” *Mobile Information Systems* 2016: 1–12.

Pušnik, Maja, Mitja Galun, dan Boštjan Šumak. 2020. “Improved Bluetooth Low Energy Sensor Detection for Indoor Localization Services.” *Sensors* 20(8): 2336.

Simon, Gyula, dan László Sujbert. 2021. “Special Issue on ‘Recent Advances in Indoor Localization Systems and Technologies.’” *Applied Sciences* 11(9): 4191.

Zafari, Faheem, Athanasios Gkelias, dan Kin K. Leung. 2019. “A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies.” *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 21(3): 2568–99.