

Analisis Perbandingan Metode *Fingerprinting* dan *Dead Reckoning* Pada Sistem Penentuan Posisi Dalam Ruang

Rolly Junius Lontaan*¹, Oktoverano Lengkong², Jacqueline Waworundeng³

^{1,2,3}Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Klabat

e-mail: *¹rolly.lontaan@unklab.ac.id, ²oktoverano@unklab.ac.id, ³jacqueline.morlav@unklab.ac.id

Abstrak

Teknologi sistem penentuan posisi dalam ruangan merupakan salah satu pemecahan masalah yang tidak dapat dilakukan oleh teknologi penentuan posisi objek yang ditentukan oleh *Global Positioning System* (GPS) ketika posisi tersebut berada di dalam sebuah gedung bertingkat. Untuk menentukan posisi dalam ruangan terdapat beberapa metode antara lain metode *fingerprinting* dan metode *dead reckoning* yang merupakan metode-metode yang akan dianalisis perbandingan antara kedua metode tersebut dengan menguji performa atau keakuratannya, kelebihan dan kekurangan dari masing-masing metode dan memberikan rekomendasi untuk penggunaan metode yang tepat dalam situasi tertentu. Dimana *Fingerprinting* lebih akurat dalam situasi dengan banyak penghalang dan kepadatan sinyal yang tinggi, sedangkan *dead reckoning* lebih cocok untuk digunakan dalam situasi dengan banyak pergerakan dan sedikit penghalang.

Kata Kunci: *Fingerprinting, Dead Reckoning, Indoor Positioning System*

Comparison Analysis of Fingerprinting and Dead Reckoning Methods in Indoor Positioning System

Abstract

Indoor positioning system technology is one of the solutions to problems that cannot be done by positioning technology for objects determined by the Global Positioning System (GPS) when the position is in a multi-storey building. To determine the position in the room, there are several methods, including the fingerprinting method and the dead reckoning method, which are methods that will be analyzed in comparison between the two methods by testing their performance or accuracy, the advantages and disadvantages of each method and providing recommendations for the use of the appropriate method. appropriate in certain situations. Where Fingerprinting is more accurate in situations with lots of obstructions and high signal density, while dead reckoning is more suitable for use in situations with lots of movement and few obstructions.

Keywords: *Fingerprinting, Dead Reckoning, Indoor Positioning System*

1. Pendahuluan

Teknologi penentuan lokasi objek saat ini berkembang sangat pesat dan mendekati akurasi lokasi yang sangat baik dan membantu kita dalam banyak hal, misalnya membantu penyandang disabilitas dan melacak orang. Salah satunya adalah teknologi penentuan destinasi yang dikenal dengan *Global Positioning System* (GPS). Namun teknologi GPS tidak dapat digunakan untuk menemukan objek dalam ruangan, sehingga diperlukan teknologi untuk menemukan objek dalam ruangan yang disebut IPS (*Indoor Positioning System*)[1].

Sistem Penentuan Posisi dalam ruangan atau *Indoor Positioning System* (IPS) merupakan salah satu solusi yang ditawarkan untuk menentukan posisi sebuah objek yang permasalahannya tidak dapat dipecahkan oleh teknologi GPS, dikarenakan teknologi GPS untuk menentukan sebuah lokasi objek hanya ditentukan oleh 2 (dua) titik koordinat yaitu *Latitude* (Lintang) dan *Longitude* (Bujur) sehingga ketika objek tersebut berada pada sebuah gedung bertingkat teknologi GPS hanya dapat menentuk titik objek itu berada tetapi tidak bisa memberikan informasi di tingkat berapa objek tersebut berada[2]. Penerapan teknologi IPS memiliki beberapa metode dan teknologi yang diterapkan dan digunakan antara lain: *Trilateration*, *Fingerprinting* dan *Dead Reckoning* namun dari beberapa hasil penelitian seperti salah satunya yaitu (Riady, 2020) memiliki pandangan bahwa metode *Trilateration* dalam estimasi posisi dari singal *Bluetooth Low Energi* (BLE) kurang akurat dibandingkan dengan metode *Fingerprinting* dan *Dead Reckoning*[3].

Oleh karena itu, pengembangan teknologi sistem penentuan posisi berbasis sensor praktis dan mudah diimplementasikan, sedangkan GPS tidak bekerja secara akurat di lingkungan dalam ruangan. Sistem yang diusulkan hanya menggunakan beberapa teknologi sensor *smartphone* yang tersedia: sensor akselerometer, sensor giroskop, dan sensor gravitasi untuk *Pedestrian Dead Reckoning* (PDR) yang mendeteksi langkah dan mengukur panjang dan orientasi tangga kemudian menghitung lokasinya. Seperti yang telah disebutkan di atas, penentuan posisi dengan pendekatan dan orientasi (PDR) merupakan cara yang sederhana dan efektif untuk menemukan lokasi pengguna[1]. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, metode *fingerprinting* memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode lainnya sehingga pada penelitian ini metode yang dipilih adalah kombinasi antara metode *fingerprinting* dan *Dead Reckoning* untuk *indoor positioning*. Sedangkan metode *Dead Reckoning* dipilih karena dari beberapa penelitian sebelumnya metode ini cukup baik untuk menentukan posisi benda yang bersifat dinamis atau bergerak. Maka pada penelitian ini peneliti hanya akan menganalisis perbandingan metode *Fingerprinting* dan *Dead Reckoning* dalam teknologi IPS.

2. Metode Penelitian

Pengujian Eksperimental

Metode penelitian yang akan digunakan dalam menganalisis perbandingan metode *fingerprinting* dan *dead reckoning* pada sistem penentuan posisi dalam ruangan adalah menggunakan metode pengujian eksperimental. Penelitian eksperimen adalah jenis penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh suatu variabel terhadap variabel lain dalam kondisi yang telah ditentukan oleh peneliti sebelumnya. Penelitian ini memiliki kelebihan karena dapat membuktikan hubungan sebab akibat yang dikemukakan oleh peneliti sebelumnya. Sebuah penelitian juga dapat memanipulasi satu atau lebih variabel sesuai keinginan peneliti[4]. Pada metode pengujian eksperimental ini dibagi menjadi 2 (dua) bagian yang pertama yaitu dengan menggunakan metode *fingerprinting* dan yang kedua adalah menggunakan metode *dead reckoning*. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Tahapan Penelitian

Fingerprinting

Metode *fingerprinting* adalah metode pemetaan dengan memanfaatkan pengukuran dari *Received Signal Strength Indikator* (RSSI). Pada proses pemetaan ruang tertutup dibagi menjadi beberapa kisi/bagian, kemudian diletakkan perangkat yang berfungsi sebagai *Access Point* (AP) atau pemancar yang memancarkan sinyal RSSI, kemudian sinyal RSSI penerima diukur kekuatannya dalam satuan dB [5]. Metode *fingerprinting* akan menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) dengan menggunakan sensor BLE untuk mendapatkan (RSSI) dan teknologi *Machine Learning* dalam pengelolaan pengambilan data yang terdiri dari *data training* dan *data testing*. Dimana kedua teknologi tersebut merupakan bagian dari teknologi *Artificial Intelligence* (AI)[6].

Pada metode ini langkah pertama yang dilakukan adalah menempatkan beberapa BLE di dinding yang letak BLE nya tingginya sesuai dengan tinggi smartphone yang akan menerima sinyal RSSI dari BLE. Untuk menentukan nilai *fingerprinting*, *Weighted K-Nearest Neighbor* (WKNN) dari *K-Nearest Neighbor* (KNN) termasuk yang paling tepat digunakan. WKNN memberikan bobot yang sesuai untuk setiap nilai terdekat yang dipilih, KNN memperkirakan bahwa rata-rata *K nearest* dipilih. WKNN dengan demikian telah banyak diterapkan pada pemosisian dalam ruangan. Pemisahan sebenarnya antara penerima dan titik referensi diwakili dalam hal ini dengan jarak *Euclidean* yang digunakan dalam algoritma [7]. WKNN disebut juga di penulisan lain yaitu *Weighted sum*. *Weighted sum* pada IPS digunakan untuk memprediksi posisi objek dengan menghitung data RSSI dari beberapa beacon yang dipasang, dalam hal ini koordinat titik (x, y). Rumus penjumlahan terbobot untuk mendapatkan nilai (x_w, y_w) diberikan pada persamaan (1) dan persamaan (2)[8].

$$x_w = \sum_{i=1}^m x_i \times \frac{w_i}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad (1)$$

$$y_w = \sum_{i=1}^m y_i \times \frac{w_i}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad (2)$$

Dimana, x_w, y_w adalah estimasi koordinat hukum pembobotan, i adalah beacon dari beacon ke-1 hingga beacon ke-m, dan w_i adalah nilai bobot yang digunakan dalam perhitungan. Bobot yang digunakan dalam perhitungan ini adalah jarak RSSI dari beacon i. Jadi untuk menghitung koordinat x_w, y_w terlebih dahulu kita harus menghitung bobot w_i yang akan digunakan dalam perhitungan. Kita dapat menggunakan rumus pada Persamaan (3) untuk mendapatkan nilai w_i.

$$w_i = \sqrt{\sum_{i=1}^m (RSSI_{i_{testing}} - RSSI_{i_{reference}})} \quad (3)$$

Langkah terakhir dari 3 langkah di atas adalah menentukan nilai rata-rata error, Min, Max, Median, dan 90th *Percentile* dari 3 metode di atas dengan menggunakan rumus *Euclidean Distance*, dan membandingkan nilai prediksi dari masing-masing metode dengan ground yang ada. kebenaran.

Dead Reckoning

Metode kedua yang akan di analisis adalah metode *dead reckoning* adalah proses menghitung lokasi saat ini dari posisi awal tertentu. Lebih tepatnya, PDR menggunakan sensor IMU dengan perangkat pintar seperti *smartphone* untuk menentukan jumlah langkah, panjang langkah, dan orientasi gerakan. Pola data sensor akselerometer biasanya digunakan untuk menghitung langkah, dan data sensor IMU, yang mencakup sinyal giroskop, magnetometer, dan sensor akselerometer perangkat, digunakan untuk menghitung orientasi gerakan pengguna. Ini adalah skema pemosisian relatif yang berlawanan dengan skema sidik jari RF karena memprediksi pergerakan pengguna relatif untuk menentukan posisi berikutnya terkait dengan posisi saat ini. Ini menghasilkan pelacakan lokasi terdekat, yang tidak mungkin dilakukan dengan teknologi RF yang ada[9][10]. Pada metode ini menggunakan aplikasi yang sudah ada dari Nisarg Patel.

Untuk metode *Dead Reckoning*, posisi awal dapat diperoleh dari penentuan posisi berbasis RSSI. Akselerometer digunakan untuk mendeteksi langkah dan menghitung panjang langkah, dan arah kemajuan ditentukan oleh giroskop. Asumsikan posisi awal dengan persamaan (x^k, y^k) ; Posisi selanjutnya menjadi persamaan (x^{k+1}, y^{k+1}) dengan menggunakan perhitungan berikut:

$$x^{k+1} = x^k + SL^k \cos \theta^k \quad (4)$$

$$y^{k+1} = y^k + SL^k \sin \theta^k \quad (5)$$

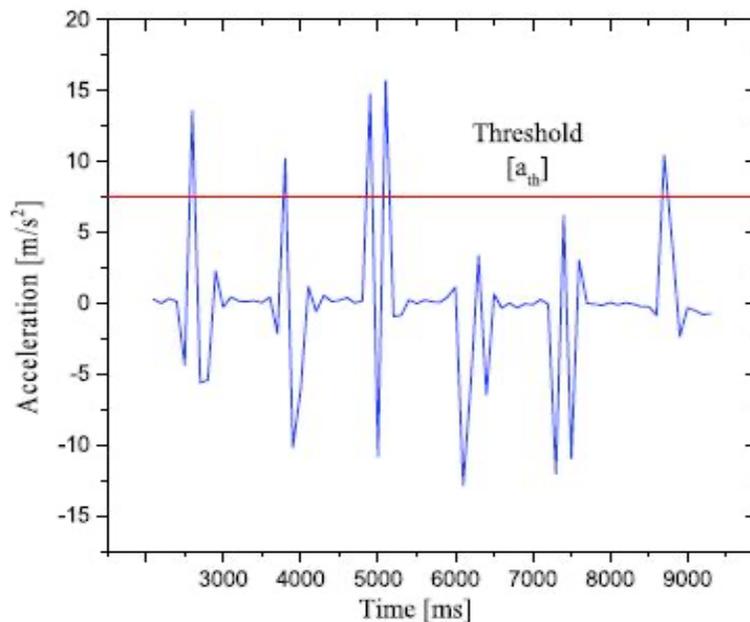
dimana SL^k adalah panjang langkah pada langkah k dan θ^k adalah sudut *heading* pada langkah k [11].

Deteksi Langkah adalah proses yang diperlukan untuk menentukan perpindahan suatu objek. Untuk mendeteksi langkah, Anda dapat menggunakan data akselerometer. Untuk metode deteksi langkah, metode deteksi titik puncak merupakan cara mendasar untuk mencapai kinerja deteksi langkah yang baik dengan menggunakan akselerometer. Metode ini melibatkan percepatan vertikal yang dihasilkan oleh pukulan vertikal saat kaki menyentuh lantai. Karena akselerasi vertikal dipengaruhi oleh kemiringan ponsel cerdas, kami memperhitungkan besarnya akselerasi (a_{mag}). Langkah terdeteksi jika memenuhi dua kondisi berikut:

$$|a_{mag} - g| \geq a_{th} \quad (6)$$

$$Timestamp \Delta t \geq t_{th} \quad (7)$$

dimana g adalah gravitasi bumi, a_{th} adalah percepatan ambang, dan t_{th} adalah waktu ambang untuk periode pengukuran percepatan Δt . percepatan ambang a_{th} digunakan untuk membatasi deteksi langkah-langkah palsu, dan batas waktu t_{th} batas deteksi langkah untuk durasi waktu yang terbatas. Tingkat ambang percepatan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Acceleration and Threshold

Panjang langkah setiap orang berbeda, dan sangat sulit untuk memperkirakan panjang langkah yang akurat jika panjang langkah tidak selalu konstan dan berubah. Ada beberapa cara untuk memperkirakan panjang langkah. Biasanya ada dua metode, statis dan dinamis. Metode statis mengasumsikan bahwa

semua langkah yang dilakukan seseorang memiliki panjang yang sama dan dapat ditentukan dengan persamaan:

$$SL = height * K \quad (8)$$

dimana k adalah nilai konstanta, 0,415 untuk laki-laki dan 0,413 untuk perempuan.

Metode dinamis untuk memperkirakan panjang langkah yang memungkinkan panjang langkah yang berbeda pada setiap langkah adalah pendekatan Weinberg yang digunakan untuk mempelajari persamaan.

$$SL = K^4 \sqrt{a_{max} - a_{min}} \quad (9)$$

$$a = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (10)$$

dimana a_{max} dan a_{min} adalah nilai maksimum dan minimum dari percepatan vertikal. Nilai k yang diperoleh melalui trial and error pada penelitian ini adalah 0,43 [10].

Menentukan heading merupakan bagian yang paling sulit dalam perhitungan kematian, untuk menentukan heading alat yang digunakan adalah giroskop pada perangkat *smartphone*. Untuk Giroskop hanya diambil nilai sumbu y (y_g) dan sumbu z (z_g) karena ketika pengguna memutar perangkat *smartphone* di depan dada, data sumbu x sebagian besar nol. Sehingga persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Gyr = \sqrt{y_g^2 + z_g^2} \quad (11)$$

Untuk menghitung perubahan arah berdasarkan nilai yang dihasilkan pada Persamaan 9, digunakan persamaan berikut:

$$Ori = \sum(Gyr * Time * 57.29578) \quad (12)$$

Untuk metode *dead reckoning* peneliti menggunakan aplikasi *open-source dead reckoning* yang dibuat oleh Nisarg Patel. Dimana aplikasi tersebut sesuai dengan teori dan persamaan yang sudah di jelaskan. Pada aplikasi ini peneliti langsung menggunakan disaat pengambilan data onlinenya dan pada aplikasi ini peneliti langsung mendapat data-data yang dihasilkan dari akselerometer dan giroskop yang terdapat pada perangkat *smartphone*. Selain itu aplikasi ini juga menampilkan grafik lintasan yang dilalui.

Indoor Positioning System

Metode *Indoor Positioning System* adalah penentuan posisi di lingkungan dalam ruangan yang sering dicapai dengan menggunakan titik referensi frekuensi radio [12]. Perkembangan teknologi pemosisian dalam ruangan beragam. Teknologi utama termasuk inframerah, ultrasonik, visi komputer, Zigbee, RFID, Wi-Fi, Bluetooth, lampu tampak LED, dan Ultra-Wideband (UWB). Metode penentuan posisi tradisional mencakup tujuh prinsip utama seperti triangulasi, sidik jari, kedekatan, penentuan posisi pusat massa, metode tiang, metode penentuan posisi multilateral, dan *Dead Reckoning* [13].

Dalam teknik penentuan *Indoor Positioning System* terdapat beberapa teknik yang digunakan untuk menentukan posisi suatu objek dan secara garis besar terbagi menjadi dua pendekatan yaitu pendekatan Geometrik yang terdiri dari triangulasi, analisis scene, dan pendekatan statistik yang terdiri dari algoritma KF, EKF, *Filter Gradien*. Dalam teknik triangulasi dapat dibedakan menjadi dua yaitu Laterasi dan Angulasi. Teknik laterasi terdiri dari beberapa metode yaitu *Receiver Signal Strength Indicator* (RSSI), *Time of Arrival* (ToA) & *Difference in arrival time* (TDoA), *Round Trip of Flight* (RtoF), dan metode *Received signal phase* (RSPM). Sedangkan pendekatan *Scene* terdiri dari metode *fingerprint* dan *k-Nearest Neighbor* [5].

3. Hasil

Berdasarkan pengujian eksperimental yang dilakukan 5 (lima) kali pada titik, lokasi dan rute yang sama maka didapatkan data sesuai dengan tabel 1.

Tabel 1 Hasil Rata-Rata untuk Setiap Rute

Rute		Fingerprinting (cm)	Dead Reckoning (cm)
1	Mean of Error	346.89	444.65
	MIN	90.73	45.63
	MAX	860.24	1,049.23
	Median	307.51	418.39
	90 th Percentile	619.35	849.30
2	Mean of Error	446.33	540.24
	MIN	56.53	43.03
	MAX	1,419.24	1,249.59
	Median	348.31	507.68
	90 th Percentile	869.31	946.35
3	Mean of Error	291.96	546.36
	MIN	63.59	25.25
	MAX	672.51	1,091.23
	Median	282.24	530.09
	90 th Percentile	443.61	947.04
4	Mean of Error	258.46	589.94
	MIN	57.35	0.68
	MAX	667.47	1,081.12
	Median	239.52	578.01
	90 th Percentile	436.41	1,016.57
5	Mean of Error	359.21	588.29
	MIN	43.53	1.06
	MAX	1,155.80	1,077.98
	Median	317.94	558.23
	90 th Percentile	583.00	1,023.67

Dari kelima hasil rata-rata tiap rute diambil nilai rata-rata keseluruhan dan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Nilai rata-rata keseluruhan

	Fingerprinting (cm)	Dead Reckoning (cm)
Mean of Error	333,56	543,84
MIN	63,98	16,73
MAX	968,66	1.161,43
Median	288,99	519,95
90 th Percentile	573,26	965,73

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode yang memiliki performansi atau tingkat akurasi yang tinggi adalah metode *Fingerprinting* dengan menggunakan rumus *Weighted Sum*, sedangkan untuk metode *Dead Reckoning* hasil yang diperoleh memiliki tingkat akurasi yang rendah dibandingkan dengan metode *Fingerprinting*. Maka dari hasil akhir penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penelitian ini telah menganalisis perbandingan metode *Dead Reckoning* dan metode *Fingerprinting* pada IPS. Hasil akhir dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode yang memiliki performa paling tinggi adalah metode *Fingerprint*.

Masing-masing metode yang ada dalam menentukan posisi ruangan memiliki kelebihan dan kekurangan sehingga untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Pada penelitian ini metode yang telah dilakukan dengan memanfaatkan beberapa teknologi dan aplikasi yang ada dapat menghasilkan tingkat

akurasi yang lebih tinggi dari penelitian sebelumnya yang terangkum dalam tabel 2. Sehingga diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi untuk penelitian selanjutnya dengan menggunakan metode *Fingerprinting* atau metode *Dead Reckoning*. Salah satu juga yang menjadi kekurangan metode *dead reckoning* adalah dalam menentukan titik awal. Sehingga metode ini juga memerlukan kombinasi dari metode lainnya salah satunya yaitu metode *fingerprinting*.

Hasil dari penelitian ini juga didukung oleh penelitian lainnya yaitu penelitian yang dilakukan oleh Alvin Riady dengan judul *Indoor Positioning System Menggunakan Metode Hybrid Fingerprinting Dan Pedestrian Dead Reckoning* menunjukkan bahwa model *machine learning* pada metode *fingerprinting* yang diusulkan memiliki nilai akurasi yang lebih tinggi[3].

Penghargaan/Terimakasih

Dalam penelitian ini, peneliti sangat berterima kasih kepada Nisarg Patel atas aplikasi *open-source dead reckoning* yang kami gunakan untuk mendapatkan hasil dari metode *dead reckoning*.

5. Daftar Pustaka

- [1] R. J. Lontaan and G. P. Kusuma, "Indoor positioning system using combined method of fingerprinting and dead reckoning," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 15, no. 5, 2021, pp. 833-845, doi: 10.3923/jatit.2021.15.833.
- [2] Y. Lukito and A.R. Chrismanto, "Perbandingan Metode-Metode Klasifikasi untuk *Indoor Positioning System*," *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi (JUTISI)*, vol. 1, no. 2, pp. 123-131, 2015.
- [3] R. Alvin, "*Indoor Positioning System Menggunakan Metode Hybrid Fingerprinting Dan Pedestrian Dead Reckoning*," M.Kom Thesis, Dept. Computer Science, Universitas Bina Nusantara, 2020.
- [4] D. A. Putri, Memahami Pengertian, Ciri-ciri, dan Contoh Penelitian Eksperimental, *Katadata.co.id*, Dec 13, 2022. Accessed on: Apr, 03, 2023. [Online]. Available: <https://katadata.co.id/agung/berita/6398a85b63716/memahami-pengertian-ciri-ciri-dan-contoh-penelitian-eksperimental>.
- [5] Y. E. Rohmadi, Widyawan, & W. Najib. Teknik *positioning* pada bluetooth. ISSN: 2302-3805, 2015, pp. 45-49..
- [6] Mega Herdiyanti, Mengaplikasikan Teknologi *Artificial Intelligence, Machine Learning Dan IoT* Pada Bisnis, PT. Docotel Teknologi Celebes, Dec, 07, 2019. Accessed on: Apr, 03, 2023. [Online]. Available: <https://dct.co.id/blog/mengaplikasikan-teknologi-artificial-intelligence-machine-learning-dan-iot-pada-bisnis/>
- [7] F. Meneses, A. Moreira, A. Costa, and M. J. Nicolau, "Radio maps for fingerprinting in indoor positioning," in *Geographical and Fingerprinting Data for Positioning and Navigation Systems: Challenges, Experiences and Technology Roadmap*, Elsevier Inc., 2018, pp. 43-67. doi: 10.1016/B978-0-12-813189-3.00004-6..
- [8] Baehaki, "Skema Optimal *Indoor Positioning System* Menggunakan *Bluetooth Low Energy (BLE)*," M.Kom Thesis, *Dept. Computer Science.*, Universitas Bina Nusantara, 2019.
- [9] A. Singgih, "Deteksi Posisi di Dalam Ruang Menggunakan *Bluetooth Low Energy* dan *Algoritma Dead Reckoning*," *Dept. Computer Science.*, Universitas Bina Nusantara, 2015.
- [10] H. J. Bae and L. Choi, "Indoor Positioning System with Pedestrian Dead Reckoning and BLE Inverse Fingerprinting," *International Journal of Sensor Networks and Data Communications*, vol. 07, no. 04, 2018..
- [11] S. Memon, M. M. Memon, F. K. Shaikh, & S. Laghari, "Smart indoor positioning using BLE technology", In 2018 IEEE 4th International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICETAS) (pp. 1-5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICETAS.2017.8277872>
- [12] Q. Yutian, F. Liu, and D. Shi, "Integrated Bluetooth Fingerprinting and Pedestrian Dead Reckoning for Indoor Positioning on Apple's iOS platform," in *Proceedings of the 4th International Conference on Mechatronics, Materials, Chemistry and Computer Engineering 2015 (ICMMCE 2015)*, vol. 39, no. ICMMCE, 2015, pp. 2463-2466.

- [13] J. Sjöberg and A. Johansson, "*Algorithms for coverage mapping and optimizing beacon placement in a hybrid indoor positioning system*," Chalmers University of Technology, Tech. Rep., 2018. [Online]. Available: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/254898/254898.pdf>.