

Skema Penentuan Posisi Lingkungan *Indoor* untuk Aplikasi *Monitoring* Lokasi Dosen Berbasis Multilaterasi

Muntaqo Alfin Amanaf¹, Dettia Wenny Brigitta², Rafina Destriarti Ainul³

Abstract—Nowadays, technology is growing and helping the human work. One of those technologies is object mapping or localization in an indoor environment. The technology is often used to determine position is Global Positioning System (GPS). However, GPS signal is difficult to receive when the device is inside a room or building. Therefore, in this research Indoor Localization is implemented at Telkom Institute of Technology Purwokerto with Wireless Sensor Network (WSN) which uses ZigBee as communication protocol. One of indoor localization stages is distance estimation, which in this case, is carried out using Received Signal Strength Indicator (RSSI) by grouping the value of Path Loss Exponent (PLE) based on room characteristics (clusters). Some methods for position estimation based on number of reference nodes are trilateration and multilateration methods. From the measurement results, the distances estimation with PLE clusters has an error of 0.534 meters and PLE without clusters has an error of 0.903 meters. For accuracy estimation, the best position is obtained on PLE cluster multilateration that has the value of 0,714 meters for Mean Square Error (MSE) and 1.2 meters for the lowest value MSE at trilateration without PLE clusters. The computational time of the four methods (multilateration without PLE clusters, trilateration without PLE cluster, multilateration with PLE clusters, and a trilateration with PLE clusters) are almost identical, between 8.72 to 8.75 second.

Intisari—Dewasa ini teknologi semakin berkembang dan memudahkan pekerjaan manusia. Salah satunya adalah sistem pencarian objek atau lokasi di lingkungan dalam ruangan. Teknologi yang sering digunakan untuk menentukan posisi adalah *Global Positioning System* (GPS). Namun, sinyal GPS sulit dijangkau apabila perangkat penerima berada di dalam ruangan atau gedung bertingkat. Oleh karena itu, makalah ini menerapkan *indoor localization* di Institut Teknologi Telkom Purwokerto dengan memanfaatkan *Wireless Sensor Network* (WSN) dan menggunakan ZigBee sebagai protokol komunikasi. Salah satu tahapan *indoor localization* adalah mengestimasi jarak, yang dalam makalah ini dilakukan menggunakan kuat sinyal terima (RSSI) dengan mengelompokkan nilai *Path Loss Exponent* (PLE) berdasarkan karakteristik ruangan (*cluster*). Sedangkan metode untuk menentukan estimasi posisi berdasarkan banyaknya referensi *node* yaitu metode trilaterasi dan multilaterasi. Dari pengujian didapatkan hasil estimasi jarak dengan PLE *cluster* memiliki kesalahan 0,534 meter dan PLE tanpa *cluster* sebesar 0,903 meter. Akurasi estimasi posisi terbaik diperoleh pada multilaterasi PLE *cluster* dengan *Mean Square Error* (MSE) sebesar 0,714 meter dan terendah pada trilaterasi PLE tanpa *cluster* sebesar 1,2 meter. Hasil perbandingan waktu

komputasi dari keempat metode, yaitu Multilaterasi PLE tanpa *Cluster*, Trilaterasi PLE tanpa *Cluster*, Multilaterasi PLE *Cluster*, dan Trilaterasi PLE *Cluster*, hampir sama antara 8,72 sampai 8,75 detik.

Kata Kunci— *Indoor Localization*, ZigBee, RSSI, PLE *cluster*, Multilaterasi.

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini kebutuhan teknologi semakin berkembang dan memudahkan pekerjaan manusia. Salah satu contohnya ialah sistem pencarian objek atau lokasi yang banyak dijumpai di lingkungan dalam ruangan, yang tidak lagi dilakukan secara konvensional menggunakan peralatan nondigital seperti peta dan kompas. Dalam aplikasinya, sistem ini sudah banyak diterapkan, seperti pemantauan kendaraan di area parkir *mall* atau hotel, pemantauan pasien di rumah sakit, pemantauan barang dalam sebuah gedung, dan pelacak posisi bagasi dalam pesawat. Oleh karena itu, sistem ini penting apabila diterapkan di tempat dengan tingkat aktivitas tinggi terkait dengan pemantauan atau pencarian posisi objek, seperti pada lingkungan kampus. Aktivitas yang sering terjadi dalam kampus adalah interaksi antara mahasiswa dan dosen. Sering kali mahasiswa masih kesulitan dan menggunakan cara konvensional untuk mencari posisi dosen di ruang dosen dengan membaca peta. Proses ini dirasa kurang efektif sehingga perlu adanya pembaruan dengan teknologi.

Teknologi yang sering digunakan untuk menentukan posisi adalah teknologi navigasi dengan bantuan satelit yaitu *Global Positioning System* (GPS). Namun, teknologi ini mempunyai kelemahan, khususnya pada penggunaan di dalam ruangan/gedung (*indoor*). Sinyal GPS pada dasarnya sulit dijangkau apabila letak perangkat penerima berada di dalam ruangan atau gedung bertingkat [1]. Oleh karena itu, dibutuhkan teknologi yang mampu menangani permasalahan di dalam ruangan/gedung, yaitu *indoor localization*. *Indoor localization* erat hubungannya dengan *Wireless Sensor Network* (WSN) yang menggunakan teknologi nirkabel sebagai media untuk menghantarkan komunikasi ke penerima, seperti teknologi WiFi, *Blue-Low Energy*, dan ZigBee. Dibandingkan dengan teknologi komunikasi nirkabel lainnya, ZigBee memiliki kelebihan seperti disipasi daya rendah, biaya rendah, penundaan waktu singkat, keamanan tinggi, kemampuan penyembuhan diri, kepadatan jaringan yang tinggi, masa pakai baterai lebih besar, dan protokol sederhana dengan implementasi global [2].

Selain itu, terdapat beberapa teknik lokalisasi untuk penentuan posisi yang digunakan untuk menghasilkan estimasi jarak dari beberapa *node*, seperti teknik *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), *Time of Arrival* (TOA), *Time*

^{1,3} Dosen, Institut Teknologi Telkom Purwokerto, Jln. DI. Panjaitan Purwokerto 53147 INDONESIA (telp: 085640694716; e-mail: muntaqo@ittelkom-pwt.ac.id)

² Mahasiswa, Jurusan Teknik Telekomunikasi Institut teknologi Telkom Purwokerto, Jln. DI. Panjaitan, purwokerto 53147 INDONESIA (telp: 085747484896; e-mail: 15101045@ittelkom-pwt.ac.id)

Difference of Arrival (TDOA), dan *Angle of Arrival* (AOA). Lokalisasi dengan biaya rendah sangat penting dalam WSN. RSSI memiliki biaya yang rendah apabila dibandingkan dengan lokalisasi lainnya yang memerlukan perangkat keras, daya, atau *bandwidth* tambahan [3]. Selain itu, penentuan algoritme lokalisasi sebagai teknik dasar pengukuran *indoor localization* juga memerlukan komputasi posisi untuk menentukan estimasi posisi. Komputasi posisi ini terbagi berdasarkan banyaknya referensi *node* seperti metode trilaterasi yang menggunakan tiga referensi *node* dan multilaterasi dengan referensi *node* lebih dari tiga [4].

Makalah ini mencoba menerapkan *indoor localization* di lingkungan Institut Teknologi Telkom Purwokerto menggunakan teknologi nirkabel ZigBee dengan teknik pengukuran RSSI multilaterasi dengan mengelompokkan nilai *Path Loss Exponent* (PLE) berdasarkan karakteristik ruangan (*cluster*) dan mencoba membandingkan metode penentuan posisi berdasarkan metode lokalisasi trilaterasi dan multilaterasi.

II. INDOOR LOCALIZATION MENGGUNAKAN WSN

A. Wireless Sensor Network (WSN)

WSN digunakan untuk memonitor keadaan suatu wilayah dengan cara saling berkomunikasi. Salah satu aspek penunjang dalam WSN ialah lokalisasi atau metode algoritme untuk memperkirakan letak objek. Lokalisasi merupakan jenis pelayanan yang banyak digunakan untuk melacak target, mendeteksi objek, dan memantau wilayah yang berdasarkan pada posisi *node* itu sendiri [5].

B. Indoor Localization

Indoor localization adalah suatu sistem yang dapat menentukan posisi seseorang di dalam suatu ruangan tertutup/gedung. Sistem ini selain dapat menentukan posisi, juga dapat menentukan orientasi dan arah pergerakan seseorang [1]. *Indoor positioning* juga dapat dikatakan sebagai solusi yang didasari oleh magnetis, data sensor, atau perangkat jaringan yang digunakan untuk menemukan suatu benda atau seseorang secara nirkabel di dalam bangunan [6].

C. ZigBee

ZigBee adalah standar IEEE 802.15.4 untuk komunikasi data pada alat konsumen pribadi maupun untuk skala bisnis. ZigBee didesain dengan konsumsi daya yang rendah dan bekerja untuk jaringan personal tingkat rendah. Perangkat ZigBee biasa digunakan untuk mengendalikan sebuah alat lain maupun sebagai sebuah sensor yang nirkabel. ZigBee memiliki fitur mampu mengatur jaringan sendiri maupun mengatur pertukaran data pada jaringan.

Kelebihan ZigBee lainnya adalah membutuhkan daya rendah, sehingga dapat digunakan sebagai alat pengatur secara nirkabel yang instalasinya hanya perlu dilakukan sekali, karena hanya dengan satu baterai dapat membuat ZigBee bertahan hingga satu tahun. ZigBee adalah spesifikasi untuk protokol komunikasi tingkat tinggi yang mengacu pada standar IEEE 802.15.4 yang berhubungan dengan *Wireless Personal Area Networks* (WPANs) [7].

D. Received Signal Strength Indicator (RSSI)

RSSI adalah teknik mengukur kekuatan sinyal yang dikirim oleh pemancar (TX) menuju penerima (RX) berdasarkan jenis teknologi nirkabel Zigbee. RSSI termasuk kategori teknik yang sering diimplementasikan dalam *indoor positioning* yang setiap *node*-nya dapat dianalisis berdasarkan kuat sinyal terima [6]. Pada RSSI juga dianggap bahwa daya yang diterima (P_{RX}) merupakan fungsi dari jarak TX menuju RX dengan kenaikan beberapa tingkat. Model ini termasuk dalam model propagasi deterministik yang hanya mengeluarkan nilai rata-rata. Hasil RSSI dinyatakan dalam (1) [6].

$$RSSI = 10 \times \log \left[\frac{P_{RX}}{P_{ref}} \right] \quad (1)$$

dengan

P_{RX} = perbandingan kuat sinyal yang diterima terhadap kuat sinyal referensi (meter)

P_{RX} = daya terima pada RX (watt)

P_{ref} = daya terima pada jarak referensi (watt).

Kuat sinyal yang diterima (P_{RX}) diubah ke dalam bentuk RSSI yang diartikan sebagai rasio daya yang diterima terhadap referensi daya $P_{ref}(d_0)$. Sedangkan P_{RX} sendiri mempunyai nilai seperti dinyatakan dalam (2).

$$P_{RX} = P_{TX} \cdot G_{TX} \cdot G_{RX} \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^n \quad (2)$$

dengan

P_{RX} = daya terima pada penerima (watt)

P_{TX} = daya dikirim oleh pemancar (watt)

G_{TX} = *gain* pemancar (watt)

G_{RX} = *gain* penerima (watt)

λ = panjang gelombang (meter)

d = jarak pemancar dan penerima (meter)

n = *Path Loss Exponent*.

Dari substitusi antara (1) dan (2), diperoleh (3) sebagai berikut.

$$RSSI = 10n \times \log \left[\frac{d}{d_0} \right]. \quad (3)$$

Tabel I menyajikan varian nilai PLE (n) untuk berbagai lingkungan [7].

Nilai koefisien PLE juga dapat diperoleh dengan menurunkan rumus RSSI, sehingga didapatkan (4).

$$n = \frac{P_{RX0} - P_{RX}}{10 \log \frac{d}{d_0}} - X_{\sigma} \quad (4)$$

dengan

n = Koefisien *path loss*

P_{RX0} = Daya terima pada jarak acuan 1 meter (dB)

P_{RX} = Daya terima pada jarak d (dB)

d = Jarak pengukuran (meter)

d_0 = Jarak acuan = 1 meter.

Setelah nilai PLE diperoleh, dapat dicari estimasi jarak menggunakan (5).

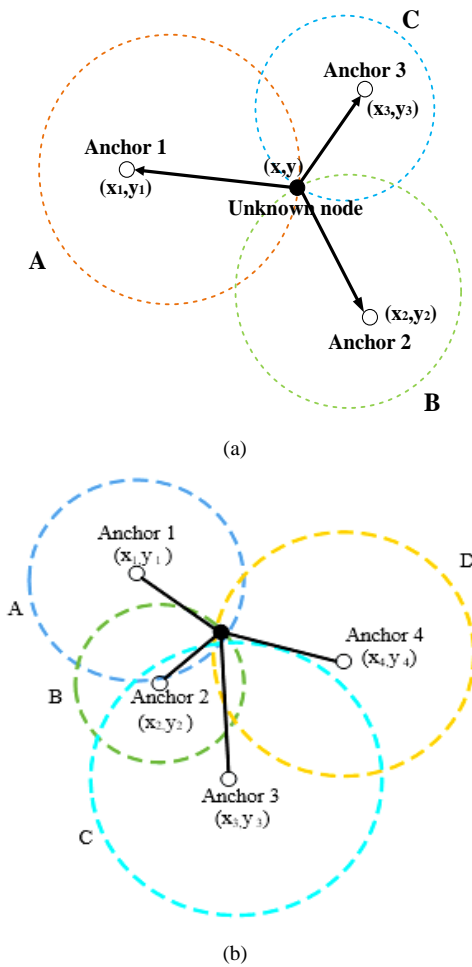
$$d = d_0 \cdot 10^{\frac{P_{RX0} - P_{RX}}{10n}}. \quad (5)$$

TABEL I
PATH LOSS EXPONENT BERBAGAI LINGKUNGAN

Lingkungan	Path Loss Exponent
Free Space	2
Urban Area Cellular Radio	2,7 - 3,5
Shadowed Urba Cellular Radio	3 - 5
In Building Line of Sight	1,6 - 1,8
Obstructed in building	4 - 6
Obstructed in factories	2 - 3

E. Komputasi Posisi

Dalam menentukan komputasi posisi dalam *indoor positioning*, terdapat beberapa metode, yaitu trilaterasi dan multilaterasi. Trilaterasi adalah sebuah metode untuk memperkirakan posisi *unknown node* berdasarkan jarak dari *anchor node* ke *unknown node* yang terletak di tiga *node anchor* terdekat. Multilaterasi merupakan teknik yang memerlukan lebih dari tiga *anchor node* untuk menemukan posisi *unknown node* [8].



Gbr. 1(a) Trilaterasi, (b) multilaterasi.

Pada Gbr. 1 terdapat jarak dari masing-masing *anchor node* yang dipresentasikan sebagai d_i , yang mewakili *node* pertama dan seterusnya, sehingga akan diperoleh estimasi jarak yang didapat dari titik pusat lingkaran dari jarak masing masing *node* berdasarkan pengukuran RSSI seperti pada (6) [9].

$$d_i^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2. \tag{6}$$

Unknown node 1 dilayani oleh empat *anchor node*, yang diasumsikan sebagai $A_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ dan dipresentasikan dalam koordinat (x_i, y_i) . Koordinat tersebut berfungsi sebagai referensi dari perkiraan posisi (x,y) dari *unknown node* 1. Jarak di antara keduanya ditunjukkan sebagai posisi (x,y) dari persamaan matriks berikut [10].

$$X = \begin{bmatrix} x_{est} \\ y_{est} \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 2(x_{i=1} - x_{i+1}) & 2(y_{i=1} - y_{i+1}) \\ 2(x_{i=1} - x_{i+2}) & 2(y_{i=1} - y_{i+2}) \\ \dots & \dots \\ 2(x_{i=1} - x_n) & 2(y_{i=1} - y_n) \end{bmatrix} \tag{7}$$

$$= \begin{bmatrix} ((d_{i+1}^2 - d_{i=1}^2) - (x_{i+1}^2 + y_{i+1}^2) + (x_{i=1}^2 + y_{i=1}^2)) \\ ((d_{i+2}^2 - d_{i=1}^2) - (x_{i+2}^2 + y_{i+2}^2) + (x_{i=1}^2 + y_{i=1}^2)) \\ \dots \\ ((d_n^2 - d_{i=1}^2) - (x_n^2 + y_n^2) + (x_{i=1}^2 + y_{i=1}^2)) \end{bmatrix} \tag{8}$$

Matriks X didefinisikan sebagai posisi perkiraan yang nilainya dapat diperoleh menggunakan (9) [9].

$$X = (A^T \cdot A)^{-1} A^T \cdot B. \tag{9}$$

Hasil estimasi posisi yang diperoleh dibandingkan dengan koordinat sesungguhnya dari *unknown node* untuk mendapatkan kesalahan estimasi posisi rata-rata pada sistem. Jika nilai estimasi posisi dari *unknown node* dinyatakan sebagai (x_{est}, y_{est}) dan nilai koordinat sesungguhnya *unknown node* adalah (x_{real}, y_{real}) , maka kesalahan estimasi posisi rata-rata dari *unknown node* tersebut dinyatakan sebagai *Mean Square Error* (MSE), diberikan pada (10) [9].

$$MSE = \sqrt{(X_{real} - X_{est})^2 + (Y_{real} - Y_{est})^2}. \tag{10}$$

III. METODE

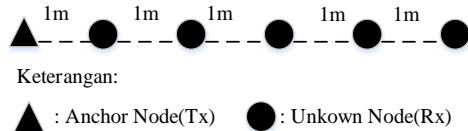
Pada bagian ini dijelaskan sistem desain, skenario, dan prosedur *indoor positioning*. Langkah utama dari sistem ini yaitu fase pengukuran RSSI dan simulasi dengan MATLAB. Setelah itu, kinerja sistem ini dianalisis berdasarkan estimasi kesalahan dan perhitungan waktu.

A. Skenario Pengukuran

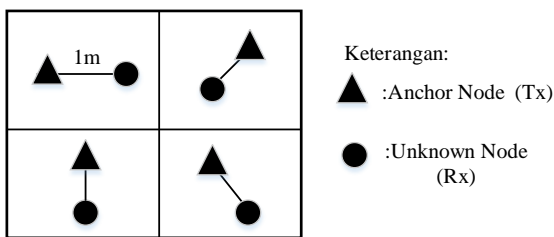
1) *Skenario Pertama*: Skenario pertama digunakan untuk menghasilkan hubungan kuat sinyal yang diterima pada jarak setiap *node*. Cara ini dilakukan dengan menempatkan sepasang *anchor node* (TX) secara terpisah dengan *unknown node* (RX) pada jarak tertentu, dengan TX ditempatkan pada ketinggian 2,5 meter, sedangkan RX pada 1,5 meter. Kemudian dilakukan pengukuran kuat sinyal yang dikirim dalam beberapa paket. Selanjutnya, dilakukan pengukuran kuat sinyal secara berulang-ulang sampai *node* mencapai batas maksimal untuk menjangkau kuat sinyal dengan mengubah jarak *node* RX menjauh dari posisi sebelumnya, sementara *node* TX tetap pada posisinya [9]. Gbr. 2 mengilustrasikan skenario pertama.

2) *Skenario Kedua*: Skenario kedua digunakan untuk menghasilkan nilai $X\sigma$ yang merupakan variabel acak Gaussian yang nantinya digunakan untuk mencari nilai PLE. Skenario ini

dilakukan dengan menempatkan secara acak sepasang *anchor node* (TX) berjarak 1 meter dari *unknown node* (RX) dan dilakukan pengukuran RSSI. Pada skenario kedua, penempatan ketinggian *node* berbeda dengan skenario pertama, yaitu TX dan RX ditempatkan pada ketinggian 1,5 meter. Kemudian dilakukan pengukuran secara berulang-ulang dengan mengubah posisi *node* TX dan RX sebelumnya ke posisi lain dengan jarak 1 meter [9]. Gbr. 3 menggambarkan skenario kedua.

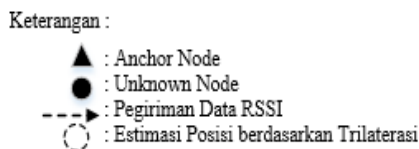
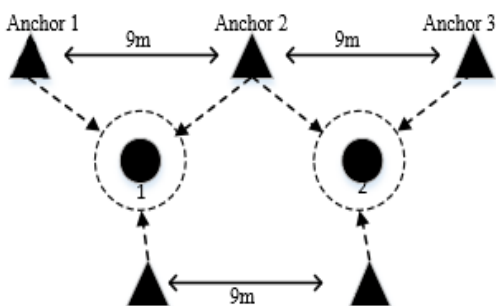


Gbr. 2 Skenario pertama.



Gbr. 3 Skenario kedua.

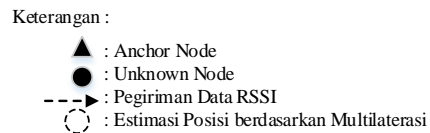
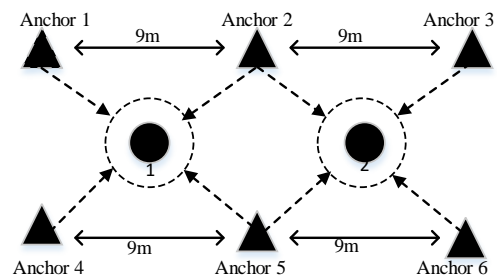
3) *Skenario Ketiga*: Pada skenario ketiga dilakukan pengukuran berdasarkan metode komputasi yang digunakan, yaitu trilaterasi yang menggunakan tiga *anchor node* dan multilaterasi yang menggunakan empat *anchor node* untuk mereferensi *unknown node*. Penempatan ketinggian *anchor node* adalah pada 2,5 meter dan *unknown node* 1,5 meter, sama seperti pada skenario pertama. Sedangkan skema penyebaran *anchor node* dilakukan dari jarak stabilitas maksimum dan *unknown node* disebarkan secara acak. Perencanaan peletakan *anchor node* ini dilakukan secara acak. Gbr. 4 merupakan gambar skenario ketiga yang menggunakan metode trilaterasi.



Gbr. 4 Proses estimasi posisi berdasarkan trilaterasi.

Gbr. 4 merupakan proses estimasi posisi berdasarkan metode trilaterasi, yang menggunakan tiga *anchor node* untuk mereferensi *unknown node*. Pemilihan *anchor node* ini

berdasarkan jarak terdekat *anchor node* terhadap *unknown node*. Sedangkan estimasi posisi berdasarkan multilaterasi ditunjukkan pada Gbr. 5.



Gbr. 5 Proses estimasi posisi berdasarkan multilaterasi.

B. Path loss Exponent Berdasarkan Cluster

Penerapan PLE berdasarkan *cluster* digunakan untuk memperoleh PLE yang spesifik pada setiap area, sehingga dapat mengurangi kesalahan estimasi posisi dalam ruangan. Teknik menentukan *cluster* ini dilakukan dengan cara memisahkan setiap pengukuran pada skenario pertama berdasarkan perbedaan nilai PLE yang dilakukan secara vertikal maupun horizontal, dengan selisih mendekati 0,3. Dari pemisahan nilai PLE pada setiap pengukuran secara vertikal maupun horizontal, terbentuk *cluster* berdasarkan nilai PLE yang sama. Nilai PLE yang sama dikelompokkan menjadi satu area seperti ditunjukkan pada Gbr. 6.

TABEL II
NILAI PLE CLUSTER DI SETIAP AREA

Area	Nilai PLE Berdasarkan Cluster
1	1,01
2	0,954
3	1,044

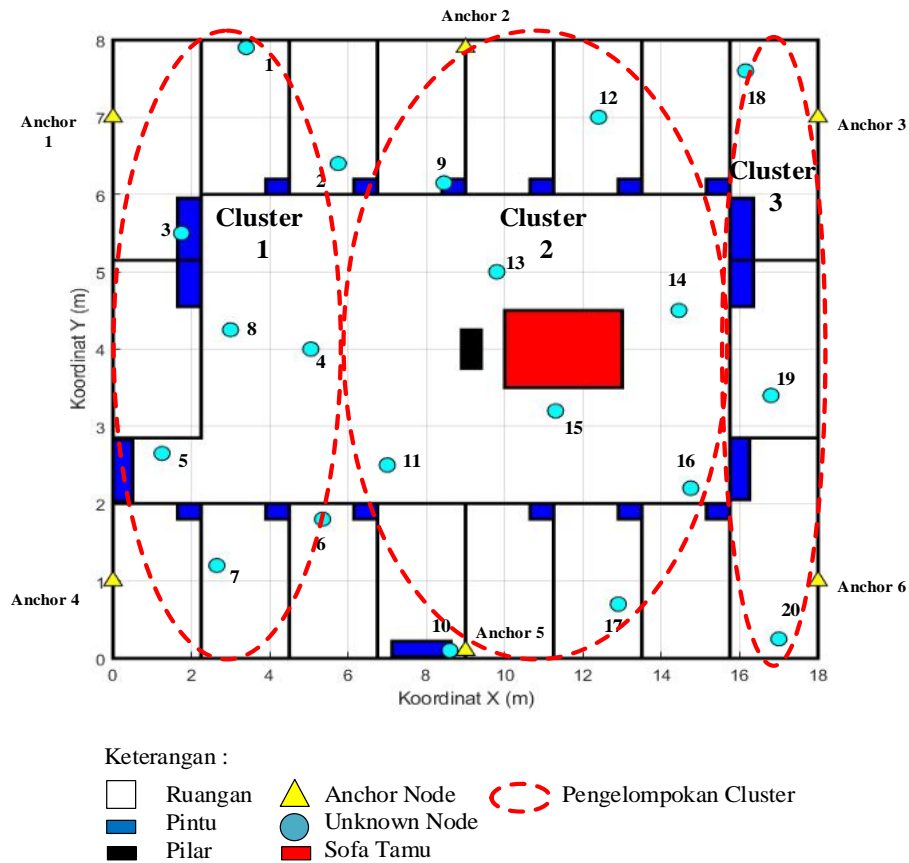
Berdasarkan proses pengukuran, diperoleh tiga area PLE berdasarkan *cluster*. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh karakteristik area seperti bahan bangunan, hambatan, dan posisi pengiriman data RSSI. Nilai area PLE berdasarkan *cluster* ditunjukkan pada Tabel II.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

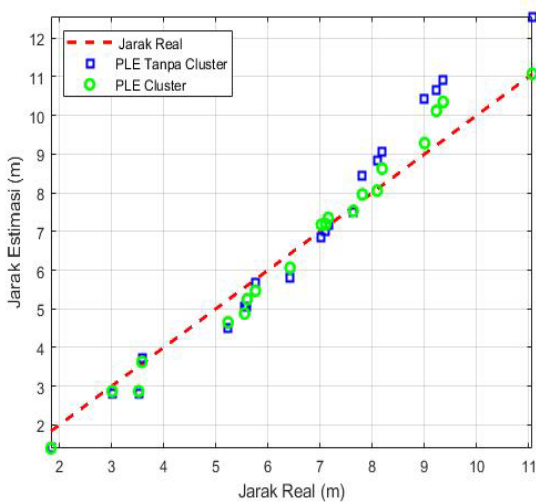
A. Analisis Kinerja

Pada bagian ini dibahas analisis kinerja sistem. Ada dua hal yang dievaluasi dalam sistem ini, yaitu persentase akurasi dan perhitungan waktu MSE.

1) *Estimasi Jarak*: Makalah ini membandingkan hasil estimasi jarak dan kesalahan estimasi jarak menggunakan PLE tanpa *cluster* dan PLE dengan *cluster*. Keduanya dibandingkan dengan jarak sesungguhnya berdasarkan hasil pengukuran RSSI yang telah diukur sebelumnya pada skenario ketiga. Dari hasil pengukuran, dilakukan perhitungan untuk mengetahui estimasi jarak dari *anchor node* terhadap *unknown node*.

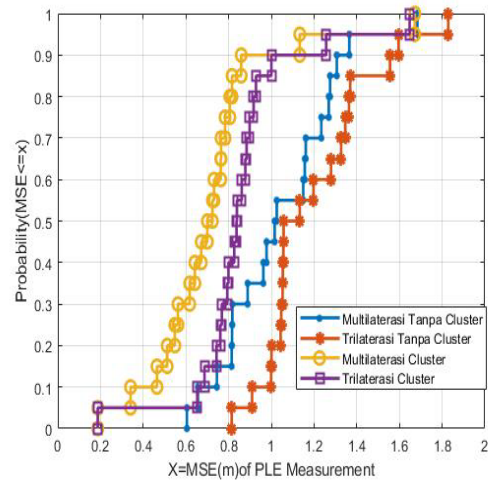


Gbr. 6 Area PLE berdasarkan cluster di lokasi pengujian.



Gbr. 7 Hasil estimasi jarak berdasarkan nilai PLE.

Dari data hasil didapatkan kesalahan estimasi jarak pada PLE tanpa cluster sebesar 0,903 meter, sedangkan rata-rata kesalahan estimasi jarak dengan menggunakan PLE cluster sebesar 0,534 meter. Hal ini menunjukkan bahwa estimasi jarak dengan menggunakan PLE cluster memiliki kesalahan estimasi jarak yang lebih kecil, dengan rentang 0,369 meter, dibandingkan dengan PLE tanpa cluster. Gbr. 7 menunjukkan hasil estimasi jarak berdasarkan nilai PLE.



Gbr. 8 Grafik CDF mean square error.

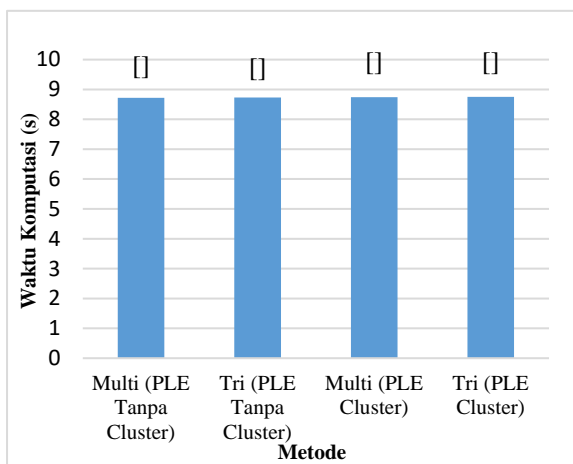
2) Analisis MSE: Dalam analisis nilai MSE perlu diketahui hasil estimasi posisi. Makalah ini menganalisis kesalahan estimasi posisi dari masing-masing metode yang digunakan, yaitu trilaterasi dengan PLE tanpa cluster, multilaterasi dengan PLE tanpa cluster, trilaterasi dengan PLE cluster, dan multilaterasi dengan PLE cluster.

Berdasarkan perhitungan, diperoleh hasil rata-rata MSE dari berbagai metode yang digunakan, seperti trilaterasi PLE tanpa

cluster, multilaterasi PLE tanpa *cluster*, trilaterasi PLE *cluster*, dan multilaterasi PLE *cluster*. Metode yang menggunakan PLE *cluster* dapat mengurangi kesalahan estimasi posisi dibandingkan menggunakan PLE tanpa *cluster*. Dari hasil rata-rata tersebut didapatkan hasil MSE untuk metode multilaterasi dan trilaterasi dengan menggunakan PLE *cluster* sebesar 0,714 meter dan 0,854 meter. Sedangkan metode multilaterasi dan trilaterasi dengan menggunakan PLE tanpa *cluster* mendapatkan MSE sebesar 1,45 meter dan 1,2 meter. Hal ini menunjukkan bahwa metode multilaterasi dengan PLE *cluster* memiliki MSE terkecil dan trilaterasi dengan PLE tanpa *cluster* memiliki MSE terbesar. Berdasarkan estimasi posisi, dapat dianalisis MSE dari masing-masing metode dalam data keseluruhan menggunakan *Cumulatif Distribution Function* (CDF) seperti ditunjukkan pada Gbr. 8.

TABEL III
WAKTU KOMPUTASI MASING-MASING METODE

Metode	Waktu Komputasi
Multilaterasi PLE tanpa <i>cluster</i>	8,72 detik
Trilaterasi PLE tanpa <i>cluster</i>	8,73 detik
Multilaterasi PLE <i>cluster</i>	8,74 detik
Trilaterasi PLE <i>cluster</i>	8,75 detik



Gbr. 9 Grafik batang waktu komputasi.

Pada Gbr. 8 diperlihatkan grafik CDF yang berguna untuk mengetahui nilai MSE terkecil berdasarkan probabilitas kumulatif dari masing-masing metode. Kinerja terbaik ditunjukkan pada metode multilaterasi PLE *cluster* dengan MSE berkisar antara 0,186 meter hingga 1,671 meter. Sementara trilaterasi PLE *cluster* memiliki MSE berkisar antara 0,186 meter hingga 1,647 meter. Sedangkan MSE multilaterasi PLE tanpa *cluster* berkisar antara 0,604 meter hingga 1,683 meter dan kinerja terendah ditunjukkan pada metode trilaterasi PLE tanpa *cluster*, dengan MSE berkisar antara 0,814 meter hingga 1,827 meter.

3) *Analisis Waktu Komputasi*: Analisis waktu komputasi ini menggunakan beberapa metode yang dapat memengaruhi waktu komputasi sistem. Makalah ini menggunakan metode trilaterasi dengan PLE tanpa *cluster*, multilaterasi dengan PLE tanpa *cluster*, trilaterasi dengan PLE *cluster*, dan multilaterasi

dengan PLE *cluster*. Tabel III memperlihatkan hasil waktu komputasi dari masing-masing metode.

Hasil yang didapatkan dari keempat metode, yaitu multilaterasi PLE tanpa *cluster*, trilaterasi PLE tanpa *cluster*, multilaterasi PLE *cluster*, dan trilaterasi PLE *cluster* hampir sama, berkisar antara 8,72 detik sampai 8,75 detik. Dari hasil tersebut juga dapat diketahui bahwa jenis nilai PLE tidak terlalu memengaruhi waktu komputasi, karena nilai PLE hanya deklarasi variabel yang tidak memerlukan waktu komputasi yang lama. Perbandingan hasil waktu komputasi dari masing-masing metode ditunjukkan pada Gbr. 9.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan simulasi analisis *indoor localization* yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut. Hasil perbandingan estimasi jarak *anchor node* terhadap *unknown node* menunjukkan penggunaan PLE *cluster* lebih baik daripada PLE tanpa *cluster*, dengan selisih kesalahan estimasi jarak sebesar 0,369 meter. Lalu, hasil perbandingan estimasi posisi dengan kinerja terbaik diperoleh pada metode multilaterasi PLE *cluster* dengan MSE 0,714 meter. Sementara trilaterasi PLE *cluster* memiliki MSE sebesar 0,857 meter, multilaterasi PLE tanpa *cluster* 1,045 meter, dan kinerja terendah dihasilkan oleh metode trilaterasi PLE tanpa *cluster*, dengan MSE sebesar 1,2 meter. Selanjutnya, hasil perbandingan waktu komputasi dari keempat metode, yaitu multilaterasi PLE tanpa *cluster*, trilaterasi PLE tanpa *cluster*, multilaterasi PLE *cluster*, dan trilaterasi PLE *cluster*, hampir sama, yakni berkisar antara 8,72 detik sampai 8,75 detik. Dari hasil tersebut juga dapat diketahui bahwa jenis nilai PLE tidak terlalu memengaruhi waktu komputasi.

REFERENSI

- [1] Y. Lukito dan A.R. Chrismanto, "Perbandingan Metode-Metode Klasifikasi untuk Indoor Positioning System," *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi (JUTISI)*, Vol. 1, No. 2, hal. 123–131, 2015.
- [2] B. Mukhopadhyay, "Performance Evaluation of Localization Techniques in Wireless Sensor Networks Using RSSI and LQI," *2015 Twenty First National Conference on Communications (NCC)*, 2015, hal. 1-6.
- [3] L. Asmaa, K.A. Hatim, dan M. Abdelaaziz, "Localization Algorithms research in Wireless Sensor Network based on Multilateration and Trilateration Technique," *2014 Third IEEE International Colloquium in Information Science and Technology (CIST)*, 2014, hal. 415–419.
- [4] A.A.A Ari, A. Gueroui, N. Labraoui dan B.O. Yenke, "Concepts and Evolution of Research," *International Journal of Computer Networks & Communications*, Vol. 7, No. 1, hal. 81-98, 2015.
- [5] F. Arkan, "Sistem Detektor Kebakaran untuk Rumah Susun dengan Sistem Wireless Sensor Network," *Jurnal Ecotipe*, Vol. 1, No. 1, hal. 5-13, 2014.
- [6] A. Pratiarso, A.S. Putra, P. Kristalina, A. Sudarsono, M. Yuliana, dan I.G.P. Astawa, "Skema Lokalisasi Posisi Node Terdistribusi pada Lingkungan Free Space Path Loss," *JNTETI*, Vol. 6, no. 3, hal. 352–358, 2017.
- [7] O.N. Anthony, O. Obikwelu dan Raphael, "Characterization of Signal Attenuation using Pathloss Exponent in South-South Nigeria," *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS)*, Vol. 3, No. 3, hal. 100–104, 2014.
- [8] N.S. Matharu dan A.S. Buttar, "Localization Techniques in Wireless Sensor Network: A Survey," *Journal of Network Communications and Emerging Technologies (JNCET)*, Vol. 3, No. 3, hal. 1–4, 2015.

- [9] R.D. Ainul, P. Kristalina, dan A. Sudarsono, "Modified Iterated Extended Kalman Filter for Mobile Cooperative Tracking System," *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, Vol. 7, No. 3, hal. 980–992, 2017.
- [10] K. Vadivukkarasi, R. Kumar, dan M. Joe, "A Real Time RSSI Based Novel Algorithm to Improve Indoor Localization Accuracy for Target Tracking in Wireless Sensor Networks," *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 10, No. 16, hal. 7015–7023, 2015.