

ANALISA SISTEM POSITIONING OBJEK PADA AREA INDOOR BERBASIS BLE DAN RASPBERRY PI

Afifah Dwi Ramadhani¹, Achmad Ilham Imanuddin², Kholidiyah Masykuroh³

^{1,3} Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro,
Institut Teknologi Telkom Purwokerto
Jl. D.I. Panjaitan no. 128, Purwokerto, Indonesia

² Teknik Elektro, Teknik Elektro, Politeknik Elektronikasi Negeri Surabaya
Jl. Raya ITS, Surabaya, Indonesia

e-mail: afifahdr@ittelkom-pwt.ac.id¹, achmadilham07@gmail.com², kholidiyah@ittelkom-pwt.ac.id³

Received : August, 2021

Accepted : April, 2022

Published : A, Year

Abstract

BLE technology can assist in indoor positioning system (IPS) applications. The IPS has an important role in determining the position of objects that are useful for monitoring or tracking. One of the methods is trilateration by utilizing the RSSI value between the transmitter and receiver to calculate the distance. In addition, we can use indoor paths loss modeling to calculate the distance. However, the RSSI method still has weaknesses due to fluctuations in measurement values caused by the effect of multipath and attenuation on the signal. So that there will be an error while we estimate the position and causes the accuracy to be weak. Besides the fluctuation of RSSI, the accuracy is also influenced by the geometric position between the transmitter and receiver. Geometric Dilution of Precision is a method that calculates the geometric value. In this study, we applied object positioning techniques using the BLE devices and the trilateration method. We analyzed the position accuracy by considering the mean of RSSI, the median of RSSI, and GDOP. The results show that taking into account the GDOP, the accuracy increases by 53% compared to the average RSSI scenario. And the accuracy value also increased 63% compared to the median RSSI scenario.

Keywords: BLE, Indoor Positioning System, Geometric Dilution of Precision, Trilateration

Abstrak

Teknologi BLE dapat dimanfaatkan dalam aplikasi indoor positioning system. Indoor positioning system mempunyai peranan penting dalam menentukan posisi objek yang berguna dalam hal monitoring atau tracking. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan posisi objek adalah menggunakan metode trilaterasi dengan memanfaatkan nilai RSSI yang didapatkan antara transmitter dan receiver. Nilai RSSI digunakan untuk menghitung jarak menggunakan pemodelan path loss dalam ruangan. Namun dalam metode RSSI masih memiliki kelemahan karena adanya fluktuasi nilai pengukuran yang disebabkan adanya efek pantulan atau multipath serta atenuasi pada sinyal. Sehingga sering terjadi kesalahan dalam estimasi yang menyebabkan akurasi lemah. Selain fluktuasi nilai RSSI, akurasi posisi juga mempertimbangkan posisi geometri antara transmitter dan receiver. Geometric Dilution of Precision adalah metode yang digunakan untuk menghitung nilai geometri antara antara transmitter dan receiver. Pada penelitian ini, diterapkan teknik pemosisian objek menggunakan perangkat BLE dan metode yang digunakan adalah trilaterasi berdasarkan nilai rata-rata RSSI, median RSSI, dan GDOP. Hasil menunjukkan bahwa dengan mempertimbangkan GDOP, akurasi posisi meningkat 53% dibandingkan dengan skenario rata-rata RSSI. Serta akurasi meningkat 63% bila dibandingkan dengan skenario median RSSI.

Kata Kunci: BLE, Indoor Positioning System, Geometric Dilution of Precision, Trilaterasi

1. PENDAHULUAN

Indoor Positioning System (IPS) merupakan sebuah teknik penentuan posisi di dalam ruangan. Saat ini posisi mempunyai peranan penting dalam beberapa aplikasi seperti *monitoring* orang, peralatan, atau *mobile robot*, serta *tracking* beberapa objek. Beberapa metode yang digunakan dalam IPS adalah bergantung pada infrastruktur yang telah ada seperti menggunakan perangkat UWB, *Wi-Fi Access Point*, Ultrasound, RFID, BLE [1, 2]. Berbagai macam instrumen dibuat dengan ukuran yang sekecil mungkin agar dapat disematkan pada lokasi terpencil. Selain ukuran, energi daya dan biaya menjadi salah satu parameter evaluasi IPS dimana semakin rendah akan semakin baik [3]. *Bluetooth Low Energy* (BLE) adalah sebuah teknologi *wireless* yang berfokus pada komunikasi jarak dekat. BLE menjadi sebuah teknologi baru yang mempunyai keunggulan yaitu konsumsi energi dan biaya yang relatif rendah. BLE dapat memperbaiki kelemahan dari penggunaan jaringan Wi-Fi pada IPS dikarenakan BLE dapat mencakup area dengan sinyal Wi-Fi yang lemah di dalam gedung. Metode pemosisian berbasis BLE dapat dibagi kedalam dua jenis yaitu berbasis *range-based* dan metode *fingerprint*. Pada metode *range-based*, posisi dari perangkat BLE harus diketahui sebelum pemosisian sedangkan pada metode *fingerprint*, peta referensi harus dibangun terlebih dahulu [1, 4].

Pada metode *range-based*, pemanfaatan RSSI digunakan untuk menghitung jarak antara *transmitter* dengan *receiver*. Jarak antar perangkat digunakan untuk estimasi posisi target menggunakan metode *trilaterasi* [5]. Pada komunikasi nirkabel, untuk menghitung jarak antar perangkat dapat menggunakan pemodelan *path loss*. Penelitian yang dilakukan pada [5] menggunakan *path loss* model yang diaplikasikan pada perangkat ZigBee untuk estimasi lokasi objek menggunakan metode *trilaterasi* dan min-max. Akurasi jarak yang diperoleh adalah 1-3 meter. Karena penggunaan RSSI masih memiliki kelemahan yang dipengaruhi oleh efek *multipath* dan atenuasi, teknik estimasi menggunakan RSSI hasilnya kurang akurat dan tidak konsisten. Pada penelitian [6] melakukan pemodelan cluster *path loss* dimana perhitungan *path loss* dihitung

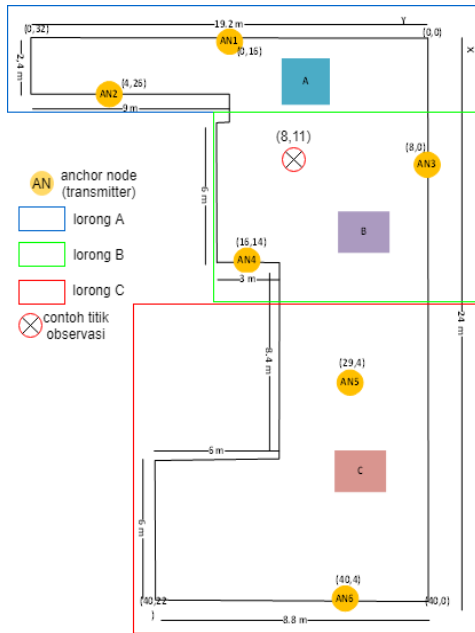
menggunakan persamaan regresi linear. Hasilnya adalah nilai akurasi jarak bertambah sebesar 35%. Selain estimasi jarak, langkah selanjutnya yaitu menghitung posisi dari objek menggunakan metode *trilaterasi* [7]. Akurasi posisi juga dipengaruhi pada posisi geometri antara *transmitter* dan *receiver*. GDOP merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menghitung nilai presisi posisi objek dengan mempertimbangkan posisi referensinya [8].

Pada penelitian ini kami menerapkan teknik pemosisian objek menggunakan perangkat *beacon* BLE sebagai *transmitter* dan Raspberry pi sebagai *receiver*. Kami menggunakan metode *range-based* dengan memanfaatkan RSSI. Selanjutnya, jarak antar perangkat dihitung berdasarkan skenario *cluster path loss* pada wilayah observasi. Nilai *cluster path loss* dihitung dari rata-rata *path loss* pada tiap perangkat *beacon* BLE. Perhitungan posisi objek, digunakan metode *trilaterasi*. Akurasi posisi akan dianalisa berdasarkan tiga skenario yaitu menggunakan rata-rata RSSI, median RSSI, dan GDOP. Kami menerapkan tiga skenario untuk mendapatkan nilai akurasi terbaik pada system lokalisasi *indoor*.

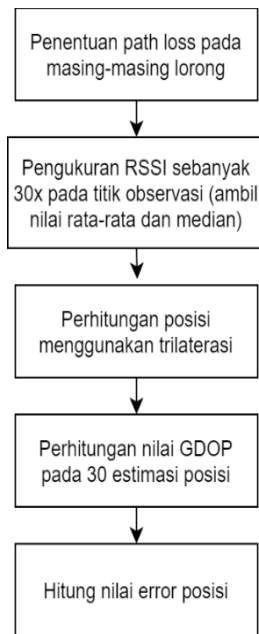
2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian sistem dengan menentukan posisi sebuah objek pada area observasi seperti pada Gambar 1, dimana perangkat *transmitter* disimbolkan dengan AN (*Anchor Node*) sebagai *beacon*, diletakkan pada ketinggian 2 meter. Kemudian kami menggunakan perangkat Raspberry Pi sebagai *receiver* yang akan diletakkan pada ketinggian 1 meter. Selain itu, area observasi ini dibagi menjadi 3 area dimana seluruh area akan diubah ke dalam koordinat kartesian 2 dimensi yaitu x dan y. Ketiga area tersebut kami beri simbol lorong A, lorong B, dan lorong C. Lorong A ditunjukkan dengan kotak berwarna biru, lorong B ditunjukkan dengan kotak berwarna ungu, sedangkan lorong C ditunjukkan dengan kotak berwarna merah.

Blok diagram penelitian ditunjukkan pada Gambar 2. Mekanisme dari penelitian ini, dimulai dengan menentukan nilai *path loss* pada tiap area yang telah dibagi-bagi seperti pada



Gambar 1. Area Observasi



Gambar 2. Diagram blok

Gambar 1. Selanjutnya kami melakukan pengukuran RSSI pada 8 titik observasi. Pada penelitian ini, kami mengambil nilai rata-rata dan median RSSI untuk observasi nilai akurasi. Selanjutnya kami juga menghitung nilai GDOP pada setiap hasil estimasi *trilaterasi*. Akurasi posisi dapat diperoleh dengan menghitung nilai eror posisi dengan menggunakan MSE. Keseluruhan mekanisme ini menerapkan parameter pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1: Parameter Pengukuran

Anchor Node	Keterangan
Perangkat TX	BLE Beacon
Perangkat RX	Raspberry Pi 3
Luas Ruang	19.2 m x 24 m
Jumlah Anchor	6
Jumlah Objek	1
Tx Power	-59 dBm

2.1 Penentuan Path Loss

Received Signal Strength Indicator (RSSI) merupakan sebuah parameter yang menentukan kuat-lemahnya sinyal pada suatu transmisi jaringan nirkabel [9]. Secara praktisnya, semakin kecil nilai RSSI maka semakin lemah suatu *device* menerima transmisi sinyal, begitupula sebaliknya. Lemahnya suatu sinyal juga dipengaruhi beberapa hal salah satunya adalah jarak antar perangkat. Kondisi inilah yang menyebabkan nilai RSSI tidak stabil dan selalu berbeda-beda bergantung dengan keadaan lokasi [10]. Sistem komunikasi nirkabel yang berfokus pada jaringan sensor nirkabel, teknik *ranging* berbasis RSSI sering digunakan pada algoritma lokalisasi untuk menentukan lokasi *node* yang tersebar diruang observasi. Parameter koefisien *path loss* berperan penting dalam mengetahui karakteristik propagasi sinyal pada ruang observasi. Informasi referensi dibentuk untuk membangun relasi antara RSSI dengan jarak antar perangkat sehingga menghasilkan koefisien *path loss*.

Salah satu pemodelan propagasi sinyal yang sering dipakai adalah *log-normal shadowing* model dengan memanfaatkan jarak referensi antar perangkat transmisi. Pemodelan ini dapat direpresentasikan seperti persamaan (1) [11].

$$P_R = P_{R_0} + 10n \log \log \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (1)$$

Dimana P_R dan P_{R_0} merupakan kuat sinyal pada jarak d dan d_0 ke transmiter, lalu n adalah koefisien path loss, d dan d_0 adalah jarak antar perangkat dan jarak referensi. Secara umum, P_{R_0} , n , dan d_0 merupakan nilai yang didapatkan dalam proses membangun informasi referensi.

Pengumpulan data yang tepat dibutuhkan untuk mendapatkan informasi referensi yang tepat pula. Pertama perlu menentukan jarak d_0

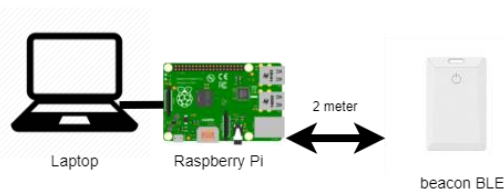
sebagai jarak referensi, dilanjutkan dengan mengukur kuat sinyal P_{R_0} antar perangkat dengan jarak d_0 . Setelah kedua nilai ditentukan, hitung nilai n dengan jarak d yang bervariasi. Dengan cara yang sama, perhitungan n dapat disederhanakan menjadi persamaan (2).

$$n = \frac{(P_R - P_{R_0})}{10 \log \log \left(\frac{d}{d_0} \right)} \quad (2)$$

Secara spesifik, nilai koefisien *path loss* akan berubah-ubah tergantung kondisi dan karakteristik dari suatu lingkungan. Berdasarkan [12] memaparkan beberapa nilai *path loss* dengan kondisi lingkungan yang berbeda, ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2: Koefisien Path Loss

Lingkungan	Path loss
Kantor	1.4 - 2.5
Lorong/Koridor	1.9 - 2.5
Tangga dan Balkon	1.4 - 2.4
Tempat Parkir	2.7 - 3.4
Pagar	4.6 - 5.1
Gang	2.1 - 3.0



Gambar 3. Pengukuran RSSI untuk Mendapatkan Path Loss

Nilai *path loss* dihitung pada masing-masing lorong. Pertama dilakukan pengukuran RSSI antara *beacon* BLE dan Raspberry pi. *Beacon* BLE berada pada posisi yang tetap sedangkan Raspberry pi bergerak mundur per 2 meter secara sekuensial seperti ditunjukkan Gambar 3. Pengukuran dilakukan hingga jarak 20 meter. Kemudian dilakukan pengukuran RSSI dimana jarak antara *beacon* BLE dan Raspberry pi adalah 1 meter. Pengukuran dilakukan dengan berpindah-pindah posisi di area observasi dengan jarak yang sama. Skenario ini digunakan untuk menentukan nilai varians dari pengukuran RSSI di wilayah observasi. Pencarian *path loss* ini dilakukan untuk 6 *beacon* BLE. Sehingga masing-masing *beacon* mempunyai nilai *path loss* untuk menghitung jaraknya. Setiap pengujian RSSI

diambil sebanyak 10 percobaan. Setelah didapatkan nilai RSSI, perhitungan *path loss* menggunakan persamaan (2) sehingga didapatkan skenario *path loss* yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3: Skenario Pengukuran Path Loss

Lorong	Anchor Node	Perhitungan Path loss
A	AN 1	Rata-Rata Path loss AN1, AN2, AN3
	AN 2	
	AN 3	
B	AN 1	Rata-Rata Path loss AN1, AN3, AN4
	AN 3	
	AN 4	
C	AN 4	Rata-Rata Path loss AN4, AN5, AN6
	AN 5	
	AN 6	

Setelah *path loss* dihitung langkah selanjutnya adalah melakukan estimasi jarak. Pada penelitian ini, setiap titik observasi akan dilakukan perekaman data RSSI sebanyak 30 data. Selanjutnya dihitung nilai rata-rata RSSI dan median RSSI untuk memperoleh nilai estimasi jarak menggunakan persamaan (1).

2.2 Penentuan Estimasi Posisi Berdasarkan Trilaterasi

Trilaterasi merupakan salah satu algoritma dalam sistem lokalisasi. Algoritma ini menggunakan parameter seperti frekuensi dari sebuah sinyal, RSSI, alamat MAC dari perangkat *beacon*, dan koordinat sebuah *transmitter* di dalam area tersebut. Konsep dasar dari algoritma *trilaterasi* adalah bagaimana menghitung jarak antara pengguna dengan *transmitter*. Pengukuran jarak antara pengguna dengan *transmitter* salah satunya dapat menggunakan RSSI, karena RSSI tidak memerlukan sinkronisasi antar *transmitter*, atau antara *transmitter* dan penerima [13, 14]. Persamaan (3) menunjukkan algoritma *trilaterasi* untuk menghitung posisi pengguna.

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = d_i^2 \quad (3)$$

Dimana d_i adalah estimasi jarak antara *transmitter* dan penerima dan i adalah ID dari *transmitter*. x_i dan y_i adalah koordinat dari *transmitter*. x dan y adalah estimasi lokasi dari pengguna. Jika persamaan (3) diturunkan

terhadap 3 *transmitter* maka persamaan (3) menjadi persamaan (4), (5), dan (6).

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2 \quad (4)$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2 \quad (5)$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = d_3^2 \quad (6)$$

Persamaan (4), (5), dan (6) dapat dijabarkan seperti pada persamaan (7), (8), dan (9).

$$x^2 - 2xx_1 + x_1^2 + y^2 - 2yy_1 + y_1^2 = d_1^2 \quad (7)$$

$$x^2 - 2xx_2 + x_2^2 + y^2 - 2yy_2 + y_2^2 = d_2^2 \quad (8)$$

$$x^2 - 2xx_3 + x_3^2 + y^2 - 2yy_3 + y_3^2 = d_3^2 \quad (9)$$

Selanjutnya dari persamaan (7), kita kurangkan dengan persamaan (8) sehingga menjadi persamaan (10), dan persamaan (9) kita kurangkan dengan persamaan (8) sehingga menjadi persamaan (11).

$$(-2x_1 + 2x_2)x + (-2y_1 + 2y_2)y = d_1^2 - d_2^2 - x_1^2 + x_2^2 - y_1^2 + y_2^2 \quad (10)$$

$$(-2x_2 + 2x_3)x + (-2y_2 + 2y_3)y = d_2^2 - d_3^2 - x_2^2 + x_3^2 - y_2^2 + y_3^2 \quad (11)$$

Dari persamaan (10) dan (11), kami mencoba untuk menyederhanakan menjadi persamaan (12) dan (13).

$$Cx + Ky = E \quad (12)$$

$$Gx + Hy = J \quad (13)$$

Pencarian nilai x dan y , bisa menggunakan persamaan (14) dan (15).

$$x = \frac{EH - JK}{HC - KG} \quad (14)$$

$$y = \frac{EG - CJ}{KG - CH} \quad (15)$$

Pada setiap posisi pengujian, diperlukan 3 referensi jarak estimasi dimana untuk masing-masing pengujian dikumpulkan 30 data RSSI dari masing-masing *anchor node*. Perhitungan estimasi jarak menggunakan persamaan (1). Kemudian kami melakukan perhitungan estimasi posisi menggunakan persamaan (14) dan (15). Sehingga pada setiap titik observasi akan didapatkan nilai estimasi posisi berdasarkan rata-rata dan median RSSI.

2.3 Penentuan Estimasi Posisi Berdasarkan GDOP

Sistem *geometric dilution of precision* (GDOP) banyak digunakan dalam sistem GPS. GDOP adalah sebuah tingkatan kualitas *metric* dari susunan geometris pada satelit (dalam penelitian ini, kami menggunakan perangkat *beacon*). GDOP dihitung dengan mempertimbangkan hubungan geometris antara posisi penerima (pengguna) dan posisi *transmitter*. Ketika sudut antar satelit kecil, maka pengukuran posisi tidak akan tepat dan DOP akan tinggi. Namun, ketika sudut antar satelit besar, nilai GDOP akan lebih rendah sehingga akurasi posisi semakin besar [15, 16].

GDOP dapat digunakan dalam berbagai cara yaitu sebelum atau sesudah proses pemosisian. Dengan adanya satu set dari transmitter, maka GDOP dapat memberikan indikasi tentang kesalahan yang mungkin kita perkirakan untuk setiap posisi yang dihitung dan seberapa besar presisi pada perhitungan posisi tersebut [15]. Diasumsikan posisi dari transmitter adalah (x_i, y_i) dimana i bergerak dari 1 hingga 3. Jumlah i yaitu 3 karena pada penelitian ini, digunakan 3 transmitter dan posisi dari pengguna yaitu (x_u, y_u) . Perhitungan pseudo-range ρ_i yaitu jarak antara transmitter dengan pengguna. Posisi pengguna dicari dengan estimasi menggunakan algoritma trilaterasi. Sehingga ρ_i bisa didefinisikan seperti pada persamaan (16). Sedangkan untuk perhitungan GDOP dapat menggunakan persamaan (17) [17].

$$\rho_i = \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2} \quad (16)$$

$$GDOP = \sqrt{\text{tr}(H^T H)^{-1}} \quad (17)$$

dimana matrix H didefinisikan pada persamaan (18). dan elemen e didefinisikan sebagai persamaan (19).

$$H = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & 1 & e_{21} & e_{22} & 1 & : & e_{i1} & : & e_{i2} & : \\ & & & & & & & & & & & 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$e_{i1} = \frac{x_i - x_u}{\rho_i}, e_{i2} = \frac{y_i - y_u}{\rho_i} \quad (19)$$

Pada penelitian ini, masing-masing titik observasi mengambil 30 data RSSI dari masing-masing *anchor node*. Sehingga setiap titik observasi akan menghasilkan 30 estimasi posisi menggunakan algoritma *trilaterasi*. Selanjutnya

setiap hasil estimasi posisi akan dihitung nilai GDOPnya menggunakan persamaan (17). Dengan mempertimbangkan nilai geometris antara posisi objek dan *anchor node* diharapkan dapat meningkatkan nilai akurasi. Nilai GDOP yang paling kecil dipilih menjadi hasil estimasi posisi dari setiap titik observasi.

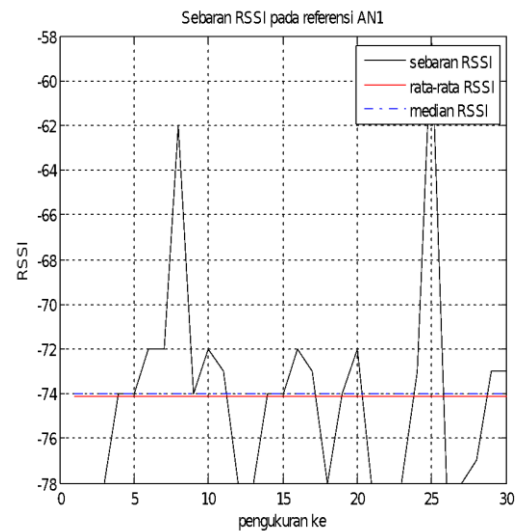
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada skenario pengukuran *path loss*, hasil *path loss* dari masing-masing *beacon BLE (anchor node)* ditunjukkan pada Tabel 4. Untuk menghitung *path loss* dari Lorong A digunakan rata-rata antara AN 1-AN 3 dan hasilnya adalah 1.718. Pada Lorong B, rata-rata *path loss* adalah 1.799. Pada Lorong C, rata-rata *path loss* adalah 2.225. Perhitungan *path loss* sesuai dengan koefisien *path loss* pada Lorong atau koridor di dalam ruangan yang merujuk pada Tabel 2.

Tabel 4: Hasil Perhitungan Path Loss

Lorong	Path loss Anchor	Perhitungan Path loss
A	AN 1 = 1.367	1.718
	AN 2 = 1.774	
	AN 3 = 2.014	
B	AN 2 = 1.774	1.799
	AN 3 = 2.014	
	AN 4 = 1.610	
C	AN 4 = 1.610	2.225
	AN 5 = 3.133	
	AN 6 = 1.935	

Setelah didapatkan *path loss*, kami melakukan observasi pada 8 titik. Pada skenario pengujian pertama, kami menganalisa kesalahan posisi dengan mempertimbangkan nilai rata-rata RSSI dan median RSSI sesuai pada Gambar 2. Pada Gambar 4 menunjukkan sebaran RSSI pada titik observasi $x=8, y=11$ pada salah satu referensi *anchor node*. Grafik pada Gambar 4 menunjukkan terjadi fluktuasi nilai sebaran RSSI. Nilai range RSSI pada salah satu *anchor node* adalah antara -62 dB hingga -78 dB. Pada pengukuran ini kami mengambil nilai rata-rata dan median dari RSSI yang selanjutnya akan digunakan untuk menghitung nilai estimasi posisi menggunakan *trilaterasi*.



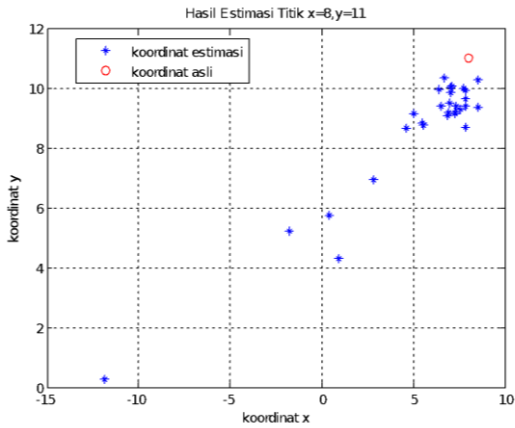
Gambar 4. Sebaran RSSI dititik $x=8, y=11$

Tabel 5 merupakan hasil estimasi posisi menggunakan skenario rata-rata RSSI dan median RSSI. Pada skenario rata-rata RSSI dan median RSSI, hasil menunjukkan bahwa terdapat estimasi posisi yang bernilai negatif. Hal ini dapat terjadi akibat dari nilai fluktuasi RSSI pada salah satu referensi *anchor node* sehingga estimasi jarak yang dihasilkan memiliki kesalahan dan mempengaruhi hasil estimasi posisi. Pada skenario rata-rata RSSI dan median

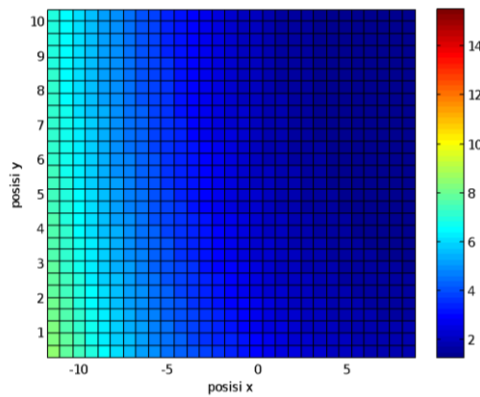
Tabel 5: Hasil Estimasi Menggunakan Rata-Rata dan Median RSSI

Titik ke-i	Koordinat Real		Koordinat Estimasi Menggunakan Rata-Rata RSSI		Koordinat Estimasi Menggunakan Median RSSI	
	X	Y	X	Y	X	Y
1	0	4	2.125093	9.132751	7.846441	7.148612
2	8	3	21.88027	-1.47756	53.60512	-20.6082
3	8	11	6.891229	9.326603	6.955061	9.641215
4	9	15	16.46132	5.918242	13.99429	8.02808

5	14	8	5.928735	6.68964	7.109186	7.873491
6	22	7	16.54	1.68	17.08753	0.798459
7	28	6	33.324	14.41	32.51787	7.54683
8	35	6	36.059	-7.12	37.64599	8.315541



Gambar 5. Hasil Estimasi Posisi pada Titik $x=8, y=11$

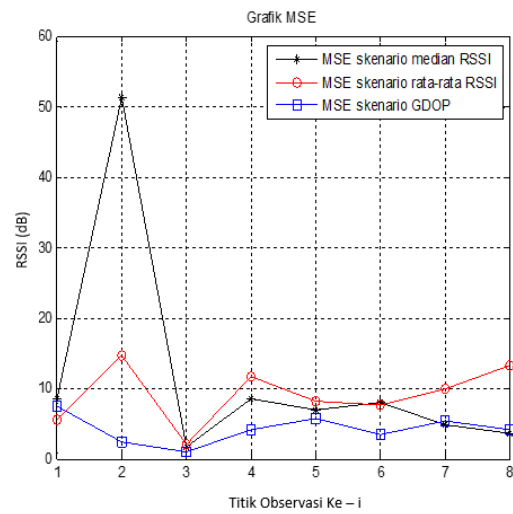


Gambar 6. Nilai GDOP pada Titik Estimasi

RSSI masih memiliki kelemahan dalam hal keakuratan. Sehingga dilakukan analisa menggunakan skenario GDOP.

Pada skenario ketiga dilakukan analisa kesalahan posisi dengan mempertimbangkan nilai GDOP. Pada semua titik observasi, terdapat 30 hasil estimasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil estimasi terbaik dipilih berdasarkan nilai GDOP. Sebaran nilai GDOP pada hasil estimasi di titik $x=8$ dan $y=11$ ditunjukkan pada Gambar 6. Pada Gambar 6, terlihat bahwa nilai GDOP tertinggi 15.5 dan nilai terkecil sebesar 1.29. Pada titik observasi $x=8, y=11$ maka hasil estimasi dengan mempertimbangkan GDOP adalah $x=8,5365, y=10,2683$. Selanjutnya kami menghitung nilai kesalahan berdasarkan MSE antara koordinat sesungguhnya terhadap koordinat estimasi. Gambar 7 menunjukkan grafik nilai MSE pada

kedua skenario. Pada titik observasi satu, nilai MSE pada skenario GDOP lebih tinggi dibandingkan dengan skenario rata-rata RSSI yaitu sebesar 7,5. Namun jika dibandingkan dengan skenario median RSSI, nilai MSE lebih kecil. Pada titik observasi dua, nilai MSE pada skenario median RSSI memiliki nilai tertinggi dibandingkan titik observasi lainnya yaitu sebesar 51,35.

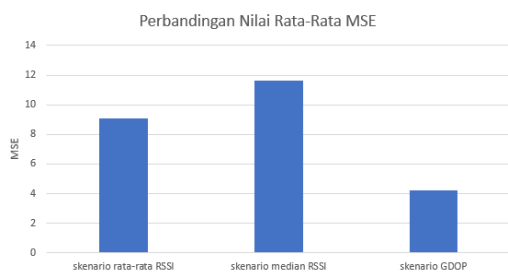


Gambar 7. Grafik MSE RSSI terhadap perubahan titik observasi ke-i

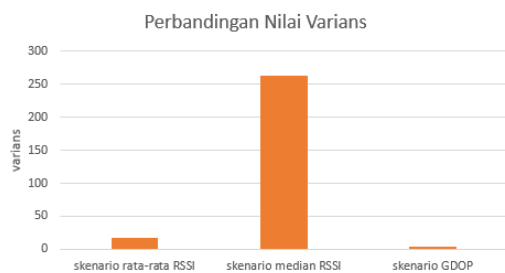
Pada skenario GDOP, nilai MSE lebih kecil dibandingkan dengan skenario lainnya yaitu sebesar 2,33. Pada titik observasi tiga, skenario GDOP memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan skenario lainnya yaitu sebesar 1.03. Pada titik observasi empat, nilai MSE terkecil sebesar 4.092 pada skenario GDOP. Pada titik observasi lima, nilai MSE terkecil sebesar 5.77 pada skenario GDOP. Pada titik observasi enam, nilai MSE terkecil sebesar 3.47. Pada titik observasi tujuh dan delapan, nilai MSE pada skenario lebih besar dibandingkan dengan skenario median RSSI. Namun jika dibandingkan dengan skenario rata-rata RSSI, nilai MSE-nya lebih kecil.

Selanjutnya kami melakukan proses rata-rata MSE dan didapatkan bahwa rata-rata MSE skenario median RSSI sebesar 11.64 dengan nilai varians sebesar 263.54. Rata-rata MSE skenario rata-rata RSSI sebesar 9.1 dengan nilai varians

sebesar 17.19. Rata-rata MSE pada skenario GDOP sebesar 4.21 dengan nilai varians sebesar 4.12. Gambar 8 menunjukkan hasil perbandingan rata-rata pada tiga skenario sedangkan Gambar 9 menunjukkan hasil perbandingan nilai varians pada tiga skenario. Jika kita membandingkan terhadap nilai rata-rata MSE dan nilai varians, maka skenario GDOP memiliki nilai MSE yang lebih kecil sehingga nilai akurasi estimasi posisinya lebih besar dibandingkan dengan skenario lainnya.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Rata-Rata MSE



Gambar 9. Grafik Perbandingan Varians MSE

4. KESIMPULAN

Pada sistem pemosisian objek di lokasi *indoor* berbasis *range-based* diperlukan akurasi yang tinggi karena kelemahan dari sistem ini adalah adanya efek *multipath* dan atenuasi pada sinyal yang dipancarkan. Selain itu, akurasi posisi juga dipengaruhi oleh posisi geometri antara *transmitter* dan *receiver*. Pada penelitian ini, dilakukan analisa akurasi estimasi posisi berdasarkan rata-rata RSSI, median RSSI, dan GDOP. Berdasarkan hasil pengujian, dengan mempertimbangkan nilai GDOP maka nilai akurasi meningkat yaitu dengan menurunnya nilai MSE jika dibandingkan dengan skenario rata-rata RSSI dan median RSSI. Peningkatkan nilai akurasi yaitu sebesar 53% terhadap skenario rata-rata RSSI dan 63% terhadap skenario median RSSI. Sebagai saran untuk penelitian selanjutnya adalah menentukan kondisi area yang akan diukur, apakah termasuk dalam kondisi LOS, *multipath* ataupun lainnya.

Kemudian dilakukan ujicoba menggunakan antenna yang sesuai untuk kondisi lingkungan agar nilai akurasi estimasi posisi lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Hoa and B. Soewito, "Monitoring Human Movement in Building Using Bluetooth Low Energy," CommIT (Communication and Information Technology), pp. 125-133, 2018.
- [2] S. Onofre, B. Caseiro, J. P. Pimentão and P. Sousa, "Using Fuzzy Logic to Improve BLE Indoor Positioning System," in DoCEIS 2016: Technological Innovation for Cyber-Physical Systems, 2016.
- [3] G. M. Mendoza-Silva, J. Torres-Sospedra and J. Huerta, "A Meta-Review of Indoor Positioning Systems," Sensors, vol. 19, no. 20, p. 4507, 2019.
- [4] Z. Zuo, L. Liu, L. Zhang and Y. Fang, "Indoor positioning based on bluetooth low-energy beacons adopting graph optimization," Sensors, vol. 18, no. 11, p. 3736, 2018.
- [5] D. J. Suroso, M. Arifin and P. Cherntanomwong, "Distance-based Indoor Localization using Empirical Path Loss Model and RSSI in Wireless Sensor Networks," Journal of Robotics and Control (JRC), vol. 1, no. 6, pp. 199-207, 2020.
- [6] C. R. Pratiwi, P. Kristalina and A. Sudarsono, "Cluster-based pathloss exponential modeling for indoor positioning in wireless sensor network," in 2016 International Conference on Knowledge Creation and Intelligent Computing (KCIC), Manado, 2016.
- [7] L. Pei, S. Liu, B. Wang and W. Li, "an Improved Indoor Geolocation Algorithm based on Log-distance Path Loss Model," in 2016 International Conference on Computer and Information Technology Applications, 2016.
- [8] K. Balac, M. Prevostini and M. Malek, "Optimizing Sensor Nodes Placement for Fault-Tolerant Trilateration-Based Localization," in 2015 IEEE 21st Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing (PRDC), Zhangjiajie, China, 2015.
- [9] F. Shang, W. Su, Q. Wang, H. Gao and Q. Fu, "A Location Estimation Algorithm Based on RSSI Vector Similarity Degree,"

- International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 10, no. 8, 2014.
- [10] H. Ramadhan, Y. Yustiawan and J. Kwon, "Applying Movement Constraints to BLE RSSI-Based Indoor Positioning for Extracting Valid Semantic Trajectories," *Sensors*, vol. 20, no. 2, p. 527, 2020.
- [11] Y. Miao, H. Wu and L. Zhang, "The Accurate Location Estimation of Sensor Node Using Received Signal Strength Measurements in Large-Scale Farmland," *Journal of Sensors*, 2018.
- [12] S. Ali and P. Nobles, "A Novel Indoor Location Sensing Mechanism for IEEE 802.11 b/g Wireless LAN," in *2007 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication*, Hannover, Germany, 2007.
- [13] T. W. Anugrah, A. Rakhmatsyah and A. A. Wardana, "Non-Line of Sight LoRa – Based Localization using RSSI-Kalman-Filter and Trilateration," *International Journal of Information Communication Technology (IJICT)*, vol. 6, no. 2, pp. 52-63, 2020.
- [14] A. E. M. El Ashry and B. I. Sheta, "Wi-Fi based indoor localization using trilateration and fingerprinting methods," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019.
- [15] A. Thaljaoui and S. E. Khediri, "Adopting Dilution of Precision for Indoor Localization," *Wireless Personal Communications*, pp. 1-34, 2019.
- [16] S. Guo, J. Lin, Y. Ren, L. Yang and J. Zhu, "Study of network topology effect on measurement accuracy for a distributed rotary-laser measurement system," *Optical Engineering*, vol. 56, no. 9, 2017.
- [17] C.-S. Chen, Y.-J. Chiu, C.-T. Lee and J.-M. Lin, "Calculation of weighted geometric dilution of precision," *Journal of Applied Mathematics*, 2013.