

# KOMBINASI BLE DAN UWB UNTUK SISTEM PELACAKAN POSISI DALAM RUANGAN

Bertrando Gunawan, Petrus Santoso  
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra, Surabaya, Indonesia  
E-Mail: brtrando@gmail.com, petrus@petra.ac.id

**Abstrak** – Sistem pelacakan posisi dalam ruangan dapat menggunakan perangkat ESP32 DW1000 yang dilengkapi dengan teknologi ultra wideband (UWB) dan bluetooth low energy (BLE). Dengan menggabungkan kedua teknologi ini, yaitu BLE sebagai pengukuran koordinat sebelum sistem pencari lokasi meminta koordinat dan UWB sebagai pengukuran koordinat setelah sistem pencari lokasi meminta koordinat. Hasil pengujian pengukuran koordinat menggunakan algoritma trilateration yang dilakukan menggunakan BLE memiliki rata-rata 13.76% persentase akurasi. Sedangkan hasil pengujian pengukuran koordinat menggunakan algoritma trilateration yang dilakukan menggunakan UWB memiliki rata-rata 94.61% persentase akurasi. Pengujian siklus kerja alat ESP32 dari BLE menjadi UWB memberikan hasil BLE membutuhkan daya 0.41W atau 47.67% yang lebih besar dibandingkan UWB.

**Kata Kunci** – sistem pelacakan posisi dalam ruangan, lokalisasi waktu nyata, bluetooth low energy, ultra wideband, esp32 dw1000

## I. PENDAHULUAN

Pada penelitian yang dilakukan Philipp Mayer [1] dengan judul “Self-sustaining Ultra-wideband Positioning System for Event-driven Indoor Localization”. Dari penelitian yang dilakukan, kesimpulan yang ditarik bahwa penggunaan daya pada teknologi Ultra Wideband (UWB) dapat dibatasi agar tidak terlalu boros. Philipp Mayer menggunakan sensor akselerometer untuk mengaktifkan rangkaian tersebut. Hal tersebut mampu menekan pemakaian daya saat rangkaian tidak dalam keadaan aktif. Konsumsi energi tinggi pada rangkaian umumnya disebabkan oleh kelangsungan aktifnya rangkaian secara terus menerus.

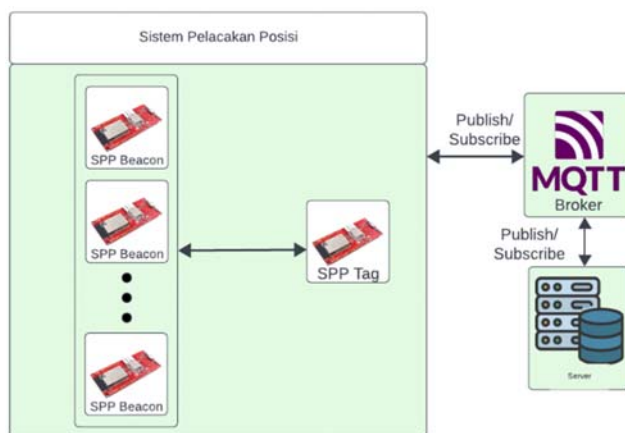
Terdapat penelitian yang telah dikerjakan oleh Andreas Willyanto[2] dengan judul “Sistem Pelacakan Posisi dalam Ruang”. Penelitian tersebut memanfaatkan Ultra Wideband untuk mendeteksi perhitungan lokasi di dalam ruangan. Sebuah prototipe yang memanfaatkan ESP32 UWB sudah berhasil diimplementasikan dan sudah diuji, menghasilkan sebuah kesimpulan sistem berjalan dengan baik. Sistem ini memiliki kekurangan dalam pemakaian daya yang terlalu besar. Hal tersebut membuat alat DW1000 sulit digunakan sebagai tag. Oleh karena itu, penelitian ini ingin membuat kombinasi bluetooth low energy (BLE) dan UWB.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini bertujuan untuk memberikan gambaran mendetail tentang bagaimana sistem ini akan dirancang. Bagian ini akan menyediakan desain arsitektur, desain layanan, desain protokol, dan implementasi sistem.

### A. Desain Arsitektur

Arsitektur sistem pelacakan posisi pada Gambar 1 menggabungkan komponen pelacakan posisi, komunikasi data melalui broker MQTT, dan pengolahan data dalam server. Semua komponen bekerja sama untuk mencapai tujuan kombinasi BLE dan UWB untuk pelacakan posisi dalam ruangan.



Gambar 1. Arsitek Sistem Pelacakan Posisi

Komponen pelacakan posisi menggunakan perangkat ESP32 dan module DW1000. ESP32 adalah sebuah mikrokontroler yang dibuat oleh Espressif Systems, dengan beberapa varian modul seperti ESP32 Wroom dan ESP32 Wrover yang terintegrasi pada Wi-Fi dan Bluetooth (BLE). Sedangkan DW1000 adalah modul yang dibuat oleh Decawave untuk komunikasi ultra-wideband (UWB). ESP32 digunakan sebagai sistem pelacakan posisi (SPP) untuk beacon dan tag. Komunikasi pada sistem ini menggunakan broker MQTT. Komunikasi tersebut digunakan untuk komponen pelacakan posisi, server, dan komponen pengantar benda. MQTT menggunakan konsep subscribe dan publish. Perangkat yang mengirimkan pesan ke broker disebut publisher, sementara perangkat yang menerima pesan disebut subscriber. Ketika broker menerima pesan pada topik tertentu, broker akan mengirimkan pesan tersebut ke semua subscriber yang berlangganan topik tersebut. Server berfungsi untuk mengolah data dalam sistem pelacakan posisi dan melakukan perhitungan trilateration. Algoritma yang dipilih adalah algoritma trilateration karena kemudahannya dalam aksesibilitas. Keunggulan aksesibilitas yang dirasakan adalah tidak memerlukan pengumpulan data awal yang intensif dan pemeliharaan berkelanjutan. Untuk algoritma trilateration, dibutuhkan minimal 3 buah beacon

dengan 1 buah tag[3]. Server juga terhubung ke database sistem pelacakan posisi dan bertugas mengirimkan koordinat posisi.

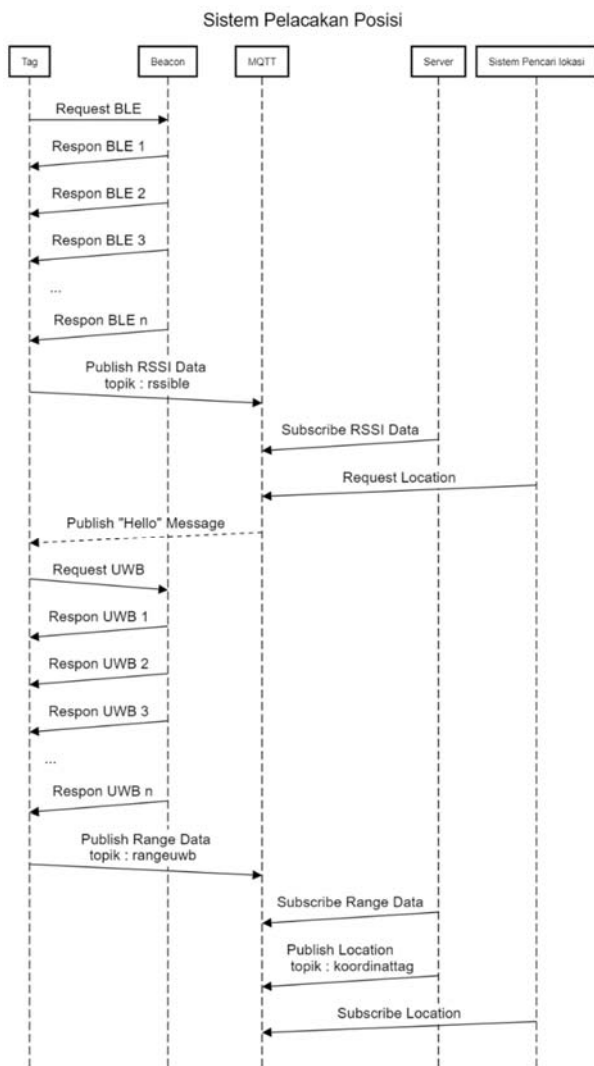
**B. Desain Layanan**

Desain layanan pada sistem pelacakan posisi adalah connectionless dalam berkomunikasi. Hal ini dikarenakan sistem tidak membutuhkan konfirmasi antar satu sama lain. Perangkat hanya mengirimkan saja data yang diminta. Service primitive dapat dilihat pada Tabel 1. Pertukaran komunikasi yang dilakukan antara perangkat beacon dengan tag dapat langsung berjalan tanpa adanya 3-way handshake atau konfirmasi.

Tabel 1. Tabel Service Primitive ESP32

Primitive	Parameter
RequestBLE	ServiceUUID, charUUID, RSSI
ResponBLE	idBeacon, idTag, RSSI
RequestUWB	idBeacon, Range
ResponUWB	idTag, Range

**C. Desain Protokol**



Gambar 2. Time Sequence Diagram Sistem Pelacakan Posisi

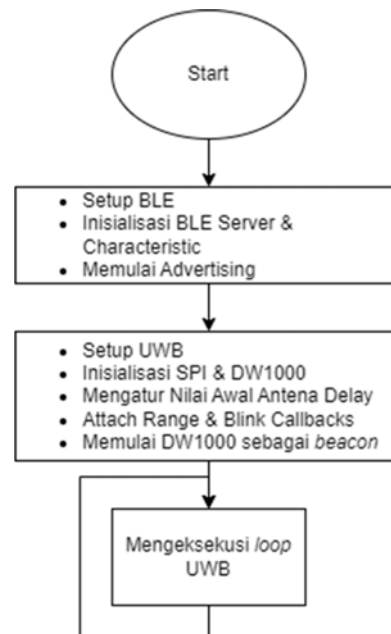
Pada Gambar 2 memperlihatkan time sequence dari sistem pelacakan posisi yang melibatkan beberapa komponen, yaitu tag, beacon, MQTT, server, dan sistem pencari lokasi. Sistem pelacakan ini menggunakan dua teknologi utama: BLE (Bluetooth Low Energy) dan UWB (Ultra-Wideband) untuk memantau posisi. Proses dimulai dengan tag yang secara berkala mengirimkan permintaan BLE (Request BLE) ke beacon. Beacon kemudian merespons permintaan ini dengan mengirimkan sinyal RSSI (Respon BLE) kembali ke tag secara kontinyu. Data RSSI ini kemudian dipublikasikan oleh tag ke server melalui protokol MQTT sebagai RSSI Data. Server melakukan subscribe ke RSSI Data dengan topik rssible untuk menerima informasi tersebut.

Ketika sistem pencari lokasi mengirimkan permintaan untuk lokasi pengguna, sistem menggunakan teknologi UWB untuk mendapatkan data posisi yang lebih akurat. Tag mengirimkan permintaan UWB (Request UWB) ke beacon, dan beacon merespons dengan sinyal UWB (Respon UWB) secara kontinyu. Data jarak UWB ini kemudian dipublikasikan oleh tag melalui MQTT sebagai Range Data. Server yang melakukan subscribe ke Range Data dengan topik rangeuwb. Data tersebut akan diproses untuk menghitung posisi. Hasil perhitungan tersebut akan dikirim melalui MQTT sebagai location dengan topik koordinattag. Sistem pencari lokasi kemudian dapat melakukan subscribe untuk menerima data posisi ini.

Dengan menggunakan BLE untuk pelacakan umum dan beralih ke UWB saat diperlukan, sistem ini bertujuan untuk menghemat daya dan memberikan informasi posisi yang lebih akurat hanya saat diperlukan.

**D. Implementasi Beacon**

Dalam sistem pelacakan posisi, ESP32 beacon memiliki kegunaan untuk menerima dan mengirimkan umpan balik sinyal agar terhubung dengan ESP32 tag. ESP32 beacon dapat dioperasikan melalui teknologi BLE dan juga UWB. Tugas pada beacon hanyalah menunggu sinyal request dari tag. Pada Gambar 3 diperlihatkan flowchart dari program ESP32 beacon.



Gambar 3. Flowchart ESP32 Beacon

Inisialisasi perangkat BLE dan menetapkan nama perangkat dilakukan dalam program setup beacon BLE. Selain itu, dalam setup beacon BLE dilakukan pembuatan server BLE yang memungkinkan perangkat lain untuk terhubung. Layanan untuk memulai BLE dilakukan dalam setup beacon BLE juga. Memulai layanan ini dibuat agar tersedia untuk perangkat lainnya.

Pengaturan advertising dilakukan agar perangkat lain dapat menemukan perangkat ini. Dalam pengaturan advertising BLE, harus menambahkan UUID layanan ke dalam pengaturan advertising. Pengaturan respon scan untuk memberikan informasi lebih lanjut saat perangkat lain memindai juga ada dalam advertising. Setelah itu, advertising sudah dapat dimulai dengan menampilkan pesan pada serial monitor bahwa perangkat BLE siap.

Kode program loop utama pada beacon BLE itu tidak ada. Hal tersebut dikarenakan untuk aplikasi BLE dasar ini, tidak ada kode tambahan yang diperlukan dalam loop karena semua pengaturan dan fungsi BLE ditangani oleh library BLE dan berjalan di latar belakang.

Kode setup beacon UWB bertujuan untuk memulai alat beacon UWB. Dalam setup beacon UWB, dilakukan menginisialisasi driver, mengatur konfigurasi DW1000, serta memulai ESP32 sebagai beacon.

Sistem ini memerlukan tahapan yang dinamakan ranging. Ranging berguna guna melakukan pengukuran jarak. Pengukuran jarak dilakukan dengan perhitungan Time of Flight (ToF). ToF akan diukur berdasarkan waktu yang dibutuhkan oleh sinyal untuk melakukan perjalanan dari pemancar ke penerima.

Dalam melakukan pemancaran sinyal UWB, sinyal ToF sering kali mengalami fluktuasi yang dapat mempengaruhi akurasi pengukuran jarak. Sinyal ToF pun ini relatif tidak stabil. Pada sinyal ToF digunakan filter moving average untuk menghaluskan atau meratakan data. Perumusan moving average filter dapat dirumuskan menjadi persamaan di bawah ini [4].

$$S_t = \alpha \times Y_t + (1 - \alpha) \times S_{t-1} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{2}{n+1} \quad (2)$$

Dengan keterangan :

$S_t$  : Nilai yang difilter pada waktu t

$Y_t$  : Nilai actual pada waktu t

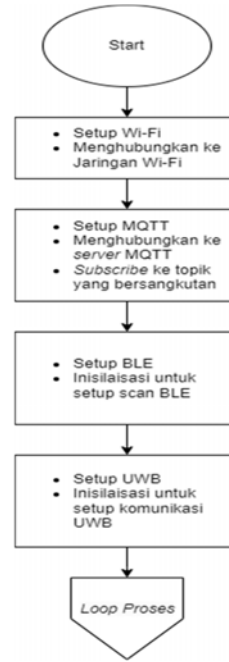
$S_{t-1}$  : Nilai yang difilter pada waktu sebelumnya t-1

$\alpha$  : berada diantara 0 dan 1.

$n$  : Jumlah elemen yang dipertimbangkan

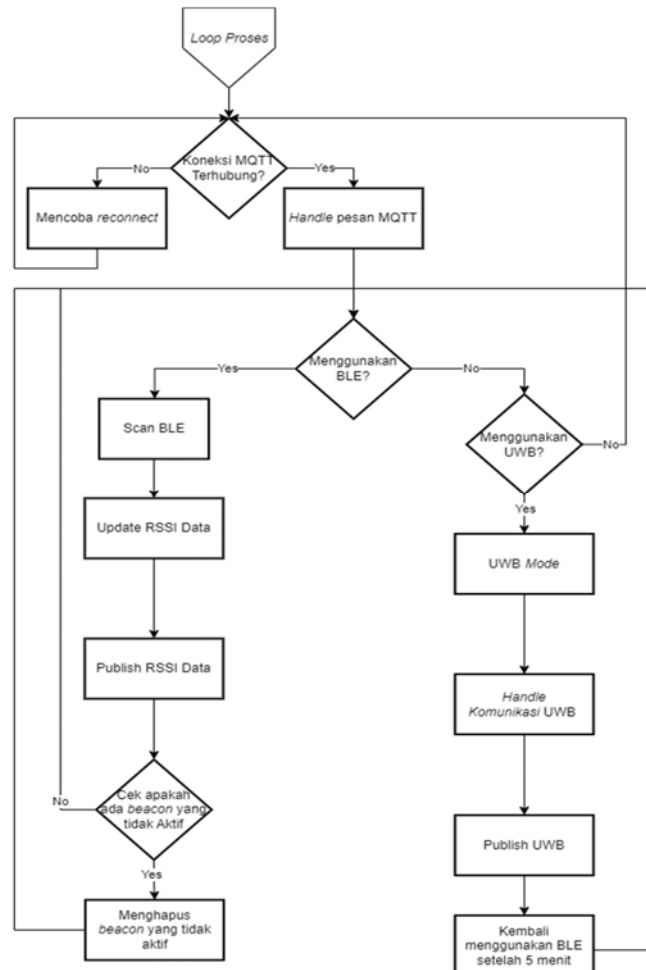
### E. Implementasi Tag

Dalam sistem pelacakan posisi, ESP32 tag memiliki kegunaan untuk mengirimkan sinyal agar terhubung dengan ESP32 beacon. ESP32 tag dapat dioperasikan melalui teknologi BLE dan juga UWB. Tugas pada ESP32 tag juga sebagai penghubung client dengan broker MQTT. ESP32 tag juga yang bertugas untuk menerima pesan dari sistem pencari lokasi. Pesan itu akan mempengaruhi cara kerja dari ESP32 tag tersebut. Flowchart setup dari ESP32 tag dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Flowchart Setup ESP32 Tag

Setelah progres dari setup sudah selesai, maka ESP32 akan lanjut ke program loop yang ada pada Gambar 5.



Gambar 5. Flowchart Loop ESP32 Tag

Inisialisasi perangkat BLE menjadi tag 1, konfigurasi scan BLE dengan memanggil callback untuk menemukan beacon, dan mengaktifkan library scan agar ESP32 BLE melakukan scan diatur pada setup tag BLE.

Pada fungsi loop tag BLE, perangkat ESP32 tag akan melakukan scan selama durasi yang sudah ditentukan lalu menghapus hasil scan untuk siklus scan berikutnya. Pada loop tag BLE, fungsi ini berguna untuk memeriksa apakah ada perangkat yang tidak aktif lebih lama dari beaconTimeout. Jika perangkat tersebut sudah tidak aktif, perangkat tag akan mereset beacon tersebut serta mengurangi perhitungan jumlah beacon yang terdeteksi. Pada fungsi loop, fungsi akan memanggil fungsi publishRSSIData untuk mengirimkan nilai RSSI menggunakan MQTT.

Sinyal RSSI relatif tidak stabil dan memiliki noise. Noise ini membuat estimasi jarak yang dilakukan akan memiliki akurasi yang kurang bagus. Maka dari itu, untuk mengurangi noise tersebut digunakan kalman filter untuk RSSI. Langkah-langkah Kalman filter dibagi menjadi prediksi dan update seperti persamaan yang ada di bawah ini[5].

Prediksi :

Prediksi state berdasarkan model sistem :

$$Prediction = Kalman_A \times previousFilteredValue \quad (3)$$

Prediksi covariance error :

$$Kalman_P = Kalman_A \times Kalman_P \times Kalman_A + Kalman_Q \quad (4)$$

Update :

Menghitung gain Kalman (K) :

$$K = \frac{Kalman_P \times Kalman_C}{Kalman_C \times Kalman_P + Kalman_C + Kalman_R} \quad (5)$$

Pembaruan perkiraan state dengan pengukuran baru :

$$filteredValue = Prediction + K \times (measurement - Kalman_C \times Prediction) \quad (6)$$

Pembaruan covariance error:

$$Kalman_P = (1 - K \times Kalman_C) \times Kalman_P \quad (7)$$

Dengan keterangan :

$Kalman_R$  : Variasi dari noise pengukuran.

$Kalman_Q$  : Variasi dari noise proses.

$Kalman_A$  : Matriks transisi state.

$Kalman_B$  : Matriks kontrol input.

$Kalman_C$  : Matriks pengukuran.

$Kalman_P$  : Covariance error dari perkiraan.

$Kalman_X$  : Perkiraan state.

*Measurement*: Pengukuran baru yang diperoleh.

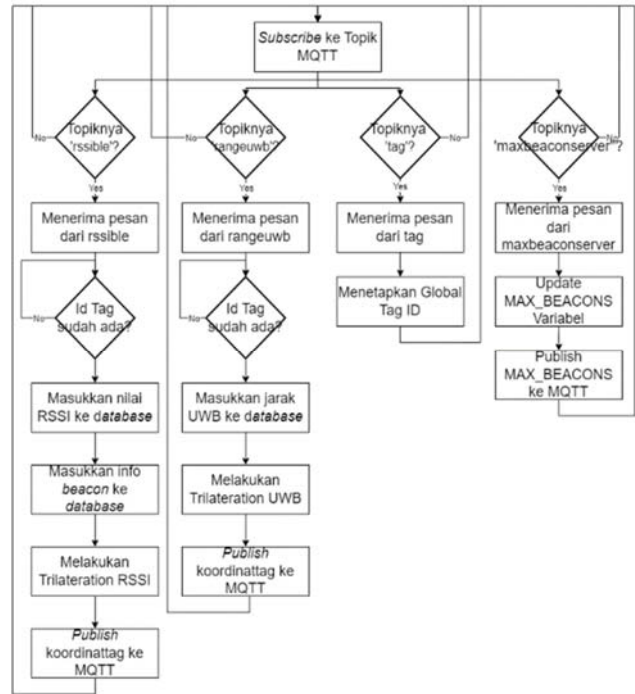
*previousFilteredValue* : Nilai state yang telah difilter sebelumnya.

Konfigurasi pada ESP32 tag UWB dimulai dengan memberi address pada tag. Dilanjuti dengan pembuatan struktur untuk menyimpan informasi tentang perangkat UWB yang terdeteksi, nama perangkat serta nilai jaraknya. Setup dilakukan dengan mengkonfigurasi pin SPI dan menginisialisasi komunikasi UWB.

Pada proses loop UWB aktif dan BLE mati saat menerima pesan dari MQTT menggunakan UWB. Saat menggunakan UWB, perangkat ESP32 akan mengatur data komunikasi tersebut dan melakukan publikasi menggunakan MQTT. Setelah 5 menit kemudian, sistem akan kembali menggunakan BLE.

### F. Implementasi Server

Server dalam sistem pelacakan posisi dibuat untuk menerima pesan dari perangkat tag. Selain itu, server berfungsi sebagai perhitungan trilaterasi pada sistem pelacakan posisi. Maka dari itu, server juga terhubung ke dalam database sistem pelacakan posisi. Server juga bertugas untuk mengirim posisi koordinat (tag) ke sistem pencari lokasi. Segala komunikasi yang dilakukan oleh server menggunakan broker MQTT. Pada server yang dibuat, bahasa pemrograman yang digunakan, yaitu javascript.



Gambar 6. Flowchart Server Sistem Pelacakan Posisi

Server akan memulai dengan menghubungkan ke database dan juga menghubungkan ke broker MQTT. Server akan melakukan subscribe ke 4 topik yang berbeda. Topik yang perlu disubscribe, yaitu nilai RSSI. Nilai RSSI didapatkan dengan melakukan subscribe dengan topik 'rssible'. Kedua, jarak UWB yang didapatkan dengan melakukan subscribe dengan topik 'rangeuwb'. Ketiga, idTag didapatkan dengan melakukan subscribe dengan topik 'tagTopic'. Hal terakhir yang disubscribe dengan topik 'maxbeaconserver' untuk mendapatkan jumlah beacon yang aktif.

Dalam mengukur jarak BLE menggunakan RSSI, jarak antara beacon dan tag dapat diperoleh rumus dibawah ini[6].

$$d(m) = 10^{\frac{(A-RSSI)}{10n}} \quad (8)$$

Dengan nilai :

$A$  : Kekuatan atau daya pancar sinyal yang diterima oleh device dalam jarak 1 meter dengan satuan dBm.

$d$  : Jarak antara transmitter (Tx) dan receiver (Rx) dengan satuan meter (m).

$RSSI$  : Kuat sinyal yang di pancarkan receiver (Rx) dengan satuan dBm.

$n$  : Pathloss yang memiliki kondisi berbeda pada setiap lingkungan.

Pengukuran posisi tag dapat dicari dengan menggunakan algoritma trilateration. Algoritma trilateration adalah pengukuran yang dapat digunakan untuk BLE dan UWB. Algoritma tersebut dapat dirumuskan seperti dibawah ini[3].

Jarak dihitung dengan persamaan :

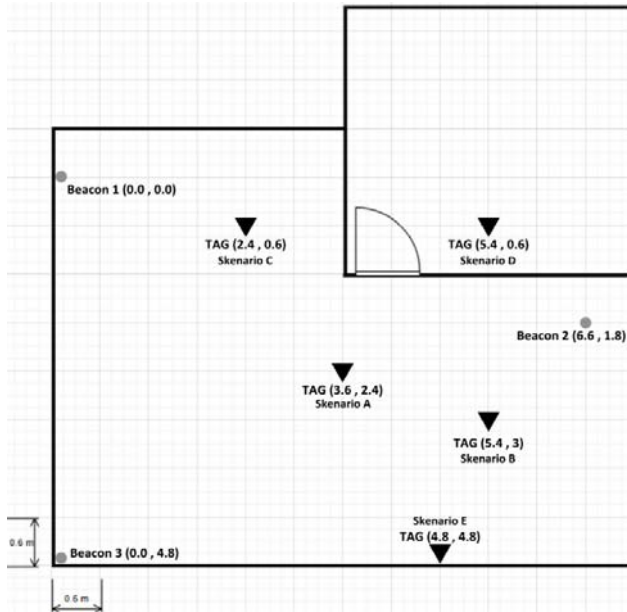
$$\begin{aligned} d_1^2 &= (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \\ d_2^2 &= (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 \\ d_3^2 &= (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 \end{aligned} \quad (9)$$

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan pembahasan mengenai lingkungan pengujian, pengujian sistem, tujuan pengujian, peralatan pengujian, skenario pengujian, dan hasil pengujian yang digunakan untuk bab selanjutnya.

#### A. Pengujian dan Analisa Kemampuan Algoritma Trilateration Terhadap BLE Dalam Mengukur Posisi Tag

Pada pengujian ini bertujuan untuk Mengukur estimasi posisi menggunakan BLE dengan algoritma trilateration. Pengujian dilakukan dengan mengunggah kode program beacon ke dalam ESP32 Wroom-32 Module DW1000, kemudian unggah kode program beacon ke dalam ESP32 Wroom-32D Module DW1000. Selanjutnya, unggah kode program tag ke dalam ESP32 Wrover-B Module DW1000. Setelah itu, hubungkan beacon dan tag ke sumber daya menggunakan adapter. Tempatkan beacon sesuai dengan denah pengujian sistem dengan kondisi berdiri dan menghadap ke dalam ruangan. Letakkan tag pada posisi yang telah ditentukan seperti Gambar 7 : skenario a pada posisi x = 3.6 dan y = 2.4, skenario b pada posisi x = 5.4 dan y = 3, skenario c pada posisi x = 2.4 dan y = 0.6, skenario d pada posisi x = 5.4 dan y = 0.6, serta skenario e pada posisi x = 4.8 dan y = 4.8. Setelah itu, aktifkan server dan ambil dataset sebanyak 50 data. Pengambilan data dilakukan di ruangan Laboratorium IoT Universitas Kristen Petra.



Gambar 7. Posisi Tag dalam Pengujian

Algoritma trilateration terhadap BLE dapat melakukan pengukuran lokasi tag antara 3 beacon pada titik yang sudah ditentukan. Pengambilan analisa akan dilakukan berdasarkan nilai rata-rata dari 10 data terbaik.

Berdasarkan Tabel 2, error pada koordinat x secara keseluruhan memiliki rata-rata di bawah 30% atau lebih tepatnya 29.01%. Pengukuran tidak menjadi akurat dikarenakan error pada koordinat y yang memiliki rata-rata di atas 100% atau lebih tepatnya 143.48%. Persentase error terkecil, 12.97% ada pada skenario pertama. Dimana letak tag berada di x = 3.6 dan y = 2.4. Persentase error terburuk saat skenario d (5.4,0.6), yaitu 185.7%. Hasil persentase error pada pengujian sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada sebesar 86.24%.

Tabel 2. Hasil Persentase Kesalahan Koordinat Trilateration terhadap BLE

Skenario	X Error	Y Error	Overall Error
a (3.6,2.4)	10.99%	14.95%	12.97%
b (5.2,3.0)	36.64%	1.02%	18.83%
c (2.4,0.6)	25.16%	335.18%	180.17%
d (5.4,0.6)	41.66%	329.74%	185.70%
e (4.8,4.8)	30.58%	36.50%	33.54%
Rata-rata	29.01%	143.48%	86.24%

Pada Tabel 3 menunjukkan persentase akurasi, error pada pengukuran trilateration dan jarak euclidean. Persentase akurasi paling tinggi ada di skenario a, dimana persentase akurasinya menacapai 87.03%. Diikuti dengan skenario b, yaitu 81.17%. Skenario C mendapatkan persentase akurasi sebesar 66.46%.

Posisi tag dapat mempengaruhi perhitungan persentase error dan juga persentase akurasi. Hal tersebut dapat dibuktikan dari skenario c (2.4,0.6) dan d (5.4,0.6). Persentase error c dan d melebihi 100% dan persentase akurasinya di bawah 0%. Penyebab terjadinya itu karena posisi tersebut sulit terbaca oleh beacon 2. Sulitnya terbaca dapat dikarenakan beberapa faktor, yaitu terhalang tembok, ketinggian posisi beacon dengan tag yang berbeda, dan di dalam ruangan seperti skenario d (5.4,0.6).

Rata-rata jarak Euclidean terkecil didapatkan pada skenario a dengan nilai 0.54 meter dari posisi tag sebenarnya. Jarak Euclidean terjauh didapatkan pada skenario d dengan nilai 3 meter dari posisi tag sebenarnya.

Tabel 3. Hasil Persentase Error dan Persentase Akurasi Trilateration dan Euclidean terhadap BLE

Skenario	Persentase Error	Persentase Akurasi	Euclidean (m)
a (3.6,2.4)	12.97%	87.03%	0.542905
b (5.2,3.0)	18.83%	81.17%	1.979017
C (2.4,0.6)	180.17%	-80.17%	2.102629
d (5.4,0.6)	185.70%	-85.70%	3.008006
e (4.8,4.8)	33.54%	66.46%	2.285907
Rata-rata	86.24%	13.76%	1.98

#### B. Pengujian dan Analisa Kemampuan Algoritma Trilateration terhadap ToF dalam Mengukur Posisi Tag

Pada pengujian ini bertujuan untuk mengukur estimasi posisi menggunakan UWB dengan algoritma trilateration. Pengujian dilakukan dengan mengunggah kode program beacon ke dalam ESP32 Wroom-32 Module DW1000, kemudian unggah kode program beacon ke dalam ESP32 Wroom-32D Module

DW1000. Selanjutnya, unggah kode program tag ke dalam ESP32 Wrover-B Module DW1000. Setelah itu, hubungkan beacon dan tag ke sumber daya menggunakan adapter. Tempatkan beacon sesuai dengan denah pengujian sistem dengan kondisi berdiri dan menghadap ke dalam ruangan. Letakkan tag pada posisi yang telah ditentukan yang sama dengan pengujian sebelumnya: skenario a pada posisi  $x = 3.6$  dan  $y = 2.4$ , skenario b pada posisi  $x = 5.4$  dan  $y = 3$ , skenario c pada posisi  $x = 2.4$  dan  $y = 0.6$ , skenario d pada posisi  $x = 5.4$  dan  $y = 0.6$ , serta skenario e pada posisi  $x = 4.8$  dan  $y = 4.8$ . Setelah itu, aktifkan server dan ambil dataset sebanyak 50 data. Pengambilan data dilakukan di ruangan Laboratorium IoT Universitas Kristen Petra.

Algoritma trilateration terhadap BLE dapat melakukan pengukuran lokasi tag antara 3 beacon pada titik yang sudah ditentukan. Pengambilan analisa akan dilakukan berdasarkan nilai rata-rata dari 10 data terbaik. Hasil persentase error pada koordinat dapat dilihat pada Tabel 4. Error pada koordinat x secara keseluruhan memiliki rata-rata di bawah 5% atau lebih tepatnya 3.72%. Sedangkan, error pada koordinat y yang memiliki rata-rata di bawah 10% atau lebih tepatnya 7.06%. Persentase error terkecil, 2.01% ada pada skenario kedua. Dimana letak tag berada di  $x = 5,4$  dan  $y = 3$ . Persentase error terburuk saat skenario d (5.4,0.6), yaitu 10.28%. Hasil persentase error pada pengujian sistem secara keseluruhan sebesar 5.39%.

Tabel 4. Hasil Persentase Kesalahan Koordinat Trilateration terhadap UWB

Skenario	X Error	Y Error	Overall Error
a (3.6,2.4)	7.18%	4.90%	6.04%
b (5.2,3.0)	2.58%	1.44%	2.01%
c (2.4,0.6)	3.17%	8.46%	5.81%
d (5.4,0.6)	2.38%	18.18%	10.28%
e (4.8,4.8)	3.30%	2.31%	2.80%
Rata-rata	3.72%	7.06%	5.39%

Berdasarkan Tabel 5 menunjukkan persentase akurasi, error pada pengukuran trilateration dan jarak euclidean. Persentase akurasi paling tinggi ada di skenario b, dimana persentase akurasinya mencapai 97.99% mendekati 98%. Diikuti dengan skenario e, yaitu 97.2%. Selanjutnya skenario c dengan persentase 94.19%. Skenario a mendapatkan persentase akurasi sebesar 93.96%. Paling terakhir skenario d dengan persentase 89.72%. Dengan persentase rata-rata dari skenario yang diuji 94.61%.

Tabel 5. Hasil Persentase Error dan Persentase Akurasi Trilateration dan Euclidean terhadap UWB

Skenario	Persentase Error	Persentase Akurasi	Euclidean (m)
a (3.6,2.4)	6.04%	93.96%	0.290869
b (5.2,3.0)	2.01%	97.99%	0.150039
c (2.4,0.6)	5.81%	94.19%	0.099185
d (5.4,0.6)	10.28%	89.72%	0.178705
e (4.8,4.8)	2.80%	97.2%	0.19478
Rata-rata	5.39%	94.61%	0.182715

Posisi tag dapat mempengaruhi perhitungan persentase error dan juga persentase akurasi. Hal tersebut dapat dibuktikan dari skenario d yang memiliki persentase error paling besar, 10.28%. Penyebab terjadinya itu karena posisi tersebut ada dalam ruangan yang berbeda dari ketiga beacon. Meskipun begitu, persentase error dari kelima skenario itu 5.39%.

Rata-rata jarak Euclidean terkecil didapatkan pada skenario c dengan nilai 0.09 meter dari posisi tag sebenarnya. Jarak Euclidean terjauh didapatkan pada skenario a dengan nilai 0.29 meter dari posisi tag sebenarnya.

C. Pengujian dan Analisa Pengukuran Penggunaan Daya

Pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui daya perangkat ESP32 Wrover-B Modul DW1000 yang digunakan sistem pelacakan posisi saat menggunakan BLE dan UWB.

Pengujian dapat dilakukan dengan unggah kode program tag ke dalam ESP32 Wrover-B Modul DW1000, kemudian unggah kode program beacon ke dalam ESP32 Wroom-32 Modul DW1000. Hubungkan output dari USB meter tester ke satu buah kabel micro, lalu hubungkan kabel micro tersebut ke ESP32. Siapkan stopwatch dan aktifkan server. Selanjutnya, hubungkan USB meter tester dengan powerbank. Ambil nilai arus dan tegangan perangkat selama satu menit dalam kondisi BLE dan UWB.



Gambar 8. Diagram Hardware Pengukuran Penggunaan Daya

Pengukuran daya Perangkat ESP32 dapat dihitung dengan perkiraan waktu aktif perangkat melakukan transmisi. Waktu aktif akan berguna sebagai berapa lama komponen aktif dalam satu periode penggunaan. Pengukuran daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini

Konsumsi daya :

$$P = I \times V \tag{10}$$

Dengan keterangan :

P : Daya dalam Watt (W).

I : Arus dalam Ampere (A).

V : Tegangan dalam Volt (V)

Energi :

$$E = P \times t \tag{11}$$

Dengan keterangan :

E : Energi dalam WattHour (Wh) atau Joule (J).

P : Daya dalam Watt (W)

t : Waktu dalam jam (h) atau detik (s)

Dari pengujian yang sudah dilakukan, Tabel 6 dibuatkan untuk mempermudah analisa data. Pengujian tersebut memberikan beberapa kesimpulan. Pertama, perangkat dengan BLE dan WiFi memiliki arus sekitar 31.58% lebih tinggi dibandingkan dengan perangkat yang hanya menggunakan BLE. Kedua, BLE dan WiFi memiliki arus 47.06% lebih tinggi dibandingkan dengan perangkat yang hanya menggunakan UWB dan menggunakan kombinasi UWB dan WiFi. Ketiga, perangkat dengan BLE saja memiliki arus sekitar 11.76% lebih tinggi dibandingkan dengan perangkat yang hanya menggunakan UWB dan menggunakan kombinasi UWB dan WiFi. Keempat,

perangkat kombinasi UWB dan WiFi dengan UWB saja tidak ada perbedaan arus karena nilai arusnya sama.

*Filter. Sensors*, 23(5). 2023, Available at: <https://doi.org/10.3390/s23052669>.

- [6] Julio, M., Pradana, R., & Farahiyah, D. *Simulasi Indoor Localozation Menggunakan Algoritma Trilateration Secara Real-time Pada*.

Tabel 6. Hasil Pengujian Daya

No	Pengujian	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi(Wh)
1	BLE dan WiFi	5.07 V	0.25A	1.27W	0.021Wh
2	BLE	5.07 V	0.19A	0.96W	0.016Wh
3	UWB dan WiFi	5.07 V	0.17A	0.86W	0.014Wh
4	UWB	5.07 V	0.17A	0.86W	0.014Wh

#### IV. KESIMPULAN

Pada pengukuran posisi tag dengan algoritma trilateration yang dilakukan dengan teknologi UWB dapat mengukur koordinat tag dengan akurasi 80.85% lebih tinggi dibandingkan teknologi BLE. BLE memiliki rata-rata akurasi sebesar 13.76%, sementara UWB mencapai 94.61%. Selain itu, pada sistem ini, penggunaan daya oleh perangkat ESP32 tag yang menggunakan BLE dan WiFi ternyata 0.41W atau 47.67% lebih tinggi dibandingkan dengan UWB. Komunikasi antar sistem sudah berjalan dengan baik, yang dibuktikan dengan perubahan siklus kerja alat ESP32 dari BLE menjadi UWB.

Saran yang diberikan yaitu, Perubahan protokol dapat memanfaatkan mode light sleep, di mana alat dapat dibangun kembali menggunakan timer. Berdasarkan dokumentasi dari ESP32, mode light sleep mengonsumsi daya sebesar 80mA, yaitu sekitar 32% dari arus 250mA. Selain itu, beban tag dapat dikurangi dengan cara mengubah pengiriman data perangkat ke beacon. Sistem ini juga dapat diterapkan sebagai sebuah aplikasi yang dapat memantau sistem pelacakan lansia dan sistem pengantar benda. Pembuatan aplikasi berbasis Android atau web akan memungkinkan penambahan lebih banyak fitur.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mayer, P., Magno, M., & Benini, L. "Self-sustaining Ultra-wideband Positioning System for Event-driven Indoor Localization". *IEEE Internet of Things Journal*, 2023, Available at: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2023.3289568>
- [2] Willyanto, A., Santoso, P. "Sistem Pelacakan Posisi dalam Ruang". *Jurnal Teknik Elektro*. Vol. 18 No. 1, 2025, pp. 1-7
- [3] Syazwani, C. J. N., Wahab, N. H. A., Sunar, N., Ariffin, S. H. S., Wong, K. Y., & Aun, Y. "Indoor Positioning System: A Review". *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(6), pp. 477–490, 2022
- [4] Holt, C. C. "Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages". *International Journal of Forecasting*, 20(1), 5–10., 2004, Available at: <https://doi.org/10.1016/J.IJFORECAST.2003.09.015>.
- [5] Dong, J., Lian, Z., Xu, J., & Yue, Z. *UWB Localization Based on Improved Robust Adaptive Cubature Kalman*