

Aplikasi *Mobile* Pemetaan Pengunjung Museum Trowulan Berbasis *Bluetooth Indoor Positioning System* Menggunakan Metode *Trilateration*

Jonathan Kurnia Anggita, Andreas Handojo, Resmana Lim
Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri Universitas Kristen Petra
Jl. Siwalankerto 121 – 131 Surabaya 60236
Telp. (031) – 2983455, Fax. (031) – 8417658

E-Mail: jonathandot13@gmail.com, handojo@petra.ac.id, resmana@petra.ac.id

ABSTRAK

Indoor Positioning System (IPS) merupakan metode alternatif dari *Global Positioning System* (GPS) dalam navigasi dan pelacakan pengguna ketika di dalam gedung atau tempat tertutup. Dengan IPS dapat tercipta aplikasi yang berfungsi sebagai *tour guide* untuk “Museum Trowulan”, dimana pengunjung museum selaku pengguna mampu diberi informasi multimedia dari objek terdekat. Metode kalkulasi yang digunakan adalah dengan menggunakan *trilateration* serta menggunakan *kalman filter* untuk *smoothing* sinyal. Dengan penelitian ini diharapkan peningkatan pengalaman berkunjung museum yang lebih interaktif.

Untuk mewujudkan IPS pada museum digunakan *Bluetooth Low Energy* (BLE) *Beacon* untuk memancarkan sinyal yang dapat diterima pengguna museum lewat *smartphone*. Dari sinyal yang diterima dapat dikalkulasi posisi pengguna, yang kemudian sistem dapat menunjukkan barang terdekat dengan menurunkan jarak dari posisi pengguna dengan tiap barang. Setelah itu data posisi pengguna dapat di analisa oleh pengelola museum.

Hasil pengujian menunjukkan peletakan *beacon* dan waktu untuk *kalman filter* mempengaruhi kekuatan hasil kalkulasi. Semakin kecil zona yang tercipta dengan menggunakan 3 *beacon* dapat tercipta kalkulasi dengan jarak error yang makin rendah. Hasil dari kalkulasi *beacon* juga dapat dilihat pada aplikasi web dalam bentuk *heatmap* dan grafik volume yang dikategorikan dalam jenis kelamin dan usia. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan peningkatan akurasi *kalman filter* dengan pengukuran *noise*.

Kata Kunci: *Indoor Positioning System, Trilateration, Kalman Filter, Bluetooth Low Energy Beacon.*

ABSTRACT

Indoor Positioning System (IPS) is an alternative method of *Global Positioning System* (GPS) for navigation and user tracing while inside a building or a closed space. With IPS it's possible to create a *tour guide* application for visitors of “Museum Trowulan”, in which the application could give a multimedia information of an item close to the visitor as a user. The calculation method used is *trilateration* method combined with *kalman filter* for signal *smoothing*. Hopefully with this research, there could be a more interactive museum experience.

Bluetooth Low Energy (BLE) *Beacon* is used for IPS to broadcast a signal which could be received by the user via *smartphone*. User's position could be calculated from the received signal, and then the nearest item could be shown from calculating each item's position from user's position. After calculation the data could be analyzed by museum's admin.

The test results show that the beacon's position and time used for kalman filter affects the end result of calculation. The smaller the zone created by using 3 beacon, the smaller the error distance of the calculation. The calculation result could be seen through the web application in the form of heatmap and volume chart which is categorized by gender and age. This research could be improved by using noise measurement for kalman filter to improve the accuracy of calculation.

Keywords: *Indoor Positioning System, Trilateration, Kalman Filter, Bluetooth Low Energy Beacon.*

1. PENDAHULUAN

Indoor Positioning System (IPS) merupakan metode alternatif dari *Global Positioning System* (GPS) dalam navigasi dan pelacakan pengguna ketika di dalam gedung atau tempat tertutup. Hal ini dikarenakan sinyal GPS yang masuk kedalam gedung tergolong lemah, sehingga menurunkan tingkat akurasi dari pelacakan lokasi pengguna. Fungsi dari IPS untuk mendeteksi posisi pengguna dalam suatu jarak tertentu mampu memberi manfaat untuk memandu orang tunanetra dengan menggunakan BLE *beacon* yang akan memberikan informasi objek terdekat ketika berada pada lokasi *beacon* [6]. Selain memberikan informasi yang ditetapkan pada *beacon*, IPS juga dapat digunakan untuk mengetahui lokasi pengguna pada ruangan, sama halnya dengan GPS [1]. Terdapat pula penelitian IPS untuk mengetahui lokasi pengguna yang juga menggabungkan teknik *dead reckoning* untuk memprediksi arah jalan pengguna [5]. Terdapat pula studi lain dengan menggunakan *wi-fi fingerprinting* untuk mengenali sinyal tiap *access point* pada suatu titik [3]. IPS membuka kemungkinan untuk pengembangan fitur-fitur yang memerlukan lokasi pengguna didalam ruangan dengan menggunakan alat pemancar sinyal yang disediakan.

Manfaat IPS yang telah dijabarkan mampu bermanfaat untuk museum. Contohnya dengan IPS dapat tercipta aplikasi yang berfungsi sebagai *tour guide* untuk pengunjung museum yang mampu memberi informasi apa yang berada didekat pengguna dan mampu memberi daftar apa saja objek atau wilayah didekat pengguna. Sebelumnya telah terdapat penelitian tentang museum, contohnya dengan memunculkan informasi dari suatu objek namun masih sepenuhnya menggunakan *smartphone* dan tidak ada peta atau unsur IPS [2]. Terdapat pula aplikasi serupa, namun dengan menangkap sinyal dari *bluetooth low energy beacon*, hanya saja informasi yang diberikan masih berupa informasi objek saja, dan tidak ada peta atau unsur IPS [4]. Selain pada museum, terdapat pula penelitian pada perpustakaan untuk menemukan buku penelitian ini sudah juga menyediakan buku populer di sekitar pengguna, serta menunjukkan lokasi buku pada

peta, terdapat unsur IPS walau hanya untuk menunjukkan didekat BLE *beacon* mana pengguna berada [6]. Penelitian-penelitian ini berhenti pada tahap memberikan informasi satu arah saja, sehingga data IPS yang didapat masih berupa data mentah, dan tidak dapat memberi informasi apapun.

Nantinya IPS akan dapat digunakan selain untuk melacak lokasi, juga berfungsi sebagai *tour guide* yang mampu memberi informasi apa yang berada didekat pengguna dan mampu memberi daftar apa saja objek atau wilayah didekat pengguna. Selain itu juga dapat mengolah data dimana pengguna berada, durasi pengguna pada suatu daerah objek yang menarik bagi pengunjung, dan demografi pengguna seperti usia dan jenis kelamin.

2. DASAR TEORI

2.1 Tools Indoor Positioning System

Terdapat beberapa pilihan alat untuk mewujudkan IPS seperti *bluetooth low energy beacon*, membentuk *wide area network* dengan *router*, atau alat pemancar gelombang ultrasonik. Berdasarkan perbandingan dari penelitian yang ada [4] dapat disimpulkan beberapa alternatif sebagai berikut:

1. *Bluetooth low energy beacon*: Memiliki jangkauan sinyal hingga 10 meter, konsumsi energi rendah, *hardware* yang murah dan berukuran kecil, serta dapat diberi *universally unique identifier* (UUID) sebagai pembeda sehingga lebih simpel.
2. *Router* untuk membentuk *wide area network*: Memiliki jangkauan sinyal yang luas, konsumsi energi sedang, perlu algoritma kompleks untuk pemrosesan.
3. Pemancar gelombang ultrasonik: Memiliki jangkauan sinyal yang rendah, konsumsi energi antara sedang ke rendah, sangat tergantung oleh peletakan alat.

Berdasarkan beberapa pertimbangan dari penelitian yang telah ada [5] *bluetooth low energy beacon* atau BLE *beacon* dipilih sebagai alat untuk IPS seperti pada Gambar 1. Berikut beberapa pertimbangan yaitu:

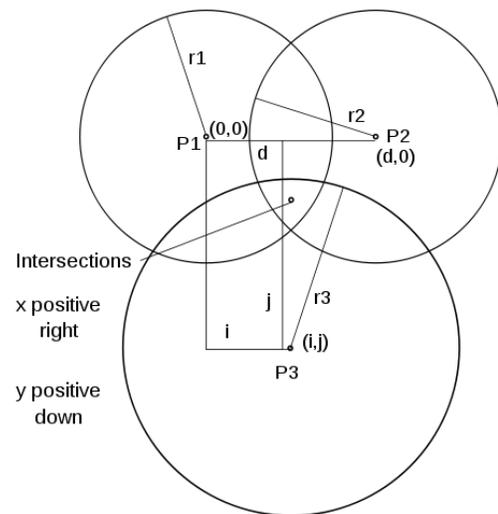
1. Tidak terlalu terpengaruh oleh lingkungan karena memiliki kekuatan transmisi yang rendah, serta memiliki mekanisme paket yang bersifat *hopping* sehingga meminimalisir *collision* saat pengiriman data. Serta memiliki sample yang banyak sehingga lebih mudah mendeteksi *outlier*.
2. BLE *beacon* sesuai untuk ditaruh pada tiap-tiap objek museum atau ruangan yang masing-masing memerlukan UUID yang unik, hal ini tidak dapat dicapai dengan *router* untuk membentuk *wide area network* karena tidak dapat diberi ID untuk jumlah banyak.
3. BLE *beacon* memiliki proses inialisasi yang tergolong mudah, yaitu hanya dengan menetapkan UUID saja, sehingga ketika teknisi tidak ada ditempat, BLE *beacon* yang baru atau lama dapat di *setting* dengan mudah.
4. Konsumsi energi yang rendah untuk BLE *beacon* memungkinkan maintenance yang minim karena baterai mampu bertahan hingga lebih dari 1 tahun.
5. Bentuk yang kecil sekitar 13 cm x 5 cm x 13 cm, membuat BLE *beacon* mudah untuk proses pemasangan dan pemindahan. Sehingga sesuai untuk museum yang membutuhkan banyak BLE *beacon* karena memiliki banyak objek.



Gambar 1. Bluetooth Low Energy Beacon

2.2 Metode Trilateration

Metode yang digunakan dalam IPS digunakan metode *trilateration*, yaitu metode geometri untuk untuk menentukan posisi titik lewat pengukuran jarak menggunakan konsep geometri seperti lingkaran, bidang bulat, dan segitiga [1]. Konsep lebih jelas metode ini dapat dilihat pada Gambar 2. Metode *trilateration* merupakan metode yang memiliki aplikasi praktis untuk mensurvei dan navigasi. Contoh pengaplikasiannya adalah pada *global positioning system* (GPS). Selain *trilateration* metode lain yang digunakan untuk GPS adalah *triangulation* yang memiliki metode yang mirip namun juga menggunakan sudut sebagai parameter pengukuran. Dalam kasus *smartphone*, sudut menjadi masalah dalam pengukuran dikarenakan sudut pemegangan *smartphone* tidak pernah stabil dan justru membuat perhitungan menjadi rancu.



Gambar 2. Konsep Trilateration

Dalam bidang 2 dimensi titik dapat ditemukan pada perpotongan 2 lingkaran, sedangkan dalam bidang 3 dimensi titik dapat ditemukan pada perpotongan 3 bidang bulat. Dengan menggunakan persamaan garis dari 3 lingkaran. Berdasarkan konsep diatas, terdapat terlalu banyak variabel yang ditentukan, dimana untuk sistem yang dibuat, hanya perlu menemukan x dan y, sehingga z tidak diperlukan [5]. Hal ini menyebabkan solusi diatas bersifat *over-determined* sehingga tidak memiliki satu

solusi yang unik. Solusi untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan menggunakan *least squared (LSQ) method* yaitu metode regresi data untuk meminimalisir jumlah residu yang diakar.

Karena *node* yang terdeteksi mampu lebih dari 2, maka dapat diaplikasikan pula metode *multilateration* untuk meningkatkan akurasi sehingga bobot kesalahan oleh satu *node* akan berkurang. Metode *multilateration* mirip dengan *trilateration*, namun menggunakan 2 titik yaitu x dan y, serta mampu menampung hingga n persamaan. Sistem yang baru dapat dilinearisasikan menjadi $Ax = b$ sesuai dengan Persamaan 1.

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_n) & 2(y_1 - y_n) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_{n-1} - x_n) & 2(y_{n-1} - y_n) \end{bmatrix}$$

$$x = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_n^2 + y_1^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_1^2 \\ \vdots \\ x_{n-1}^2 - x_n^2 + y_{n-1}^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_{n-1}^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dengan metode LSQ yang disebutkan, sistem dapat terselesaikan sebagai Persamaan 2:

$$x = (A^T A)^{-1} (A^T b) \quad (2)$$

2.3 Metode Kalman Filter

Meski metode IPS telah dirancang untuk meminimalisir tingkat kesalahan, namun permasalahan sinyal juga perlu diperhatikan. Permasalahan setiap alat IPS adalah sinyal yang tidak stabil, oleh karena itu diperlukannya *kalman filter*. Algoritma *kalman filter* berfungsi untuk melakukan estimasi dari suatu pengukuran dalam suatu jangka waktu. *Kalman filter* menemukan faktor pembagi paling optimum untuk setiap *state*, namun juga mengingat sedikit dari *state* yang lama, dikarenakan algoritma *kalman filter* bersifat rekursif.

Dalam penelitian ini digunakan Kalman filter dengan satu dimensi [5]. Terdapat beberapa variabel yang harus ditetapkan dahulu dari awal dengan mempertimbangkan sifat perubahan sinyal yang acak dan tidak ada input eksternal maka, algoritma *kalman filter* dapat di simpulkan menjadi Persamaan 3.

Tahap Prediksi:

$$\hat{x}_t^- = \hat{x}_{t-1}$$

$$P_t^- = P_{t-1} + Q \quad (3)$$

Pada tahap prediksi pertama akan dicari X_t , yaitu hasil estimasi nilai selanjutnya berdasarkan nilai t (waktu) yang lama, atau hasil dari tahap *update* yang sebelumnya. Kemudian mengkalkulasi P_t , yaitu hasil kovarian error nilai estimasi yang juga didapat dari tahap *update* yang sebelumnya ditambah dengan variabel Q , yaitu kovarian *noise* proses, yang ditetapkan dari awal dan didapat lewat eksperimen sesuai dengan Persamaan 4.

Tahap *Update*:

$$K_t = \frac{P_t^-}{(P_t^- + R)}$$

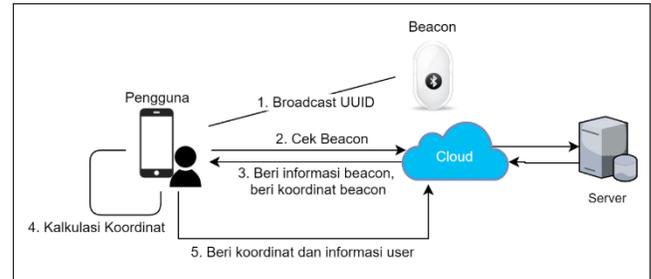
$$\hat{x}_t = \hat{x}_t^- + K_t(z_t - \hat{x}_t^-)$$

$$P_t = (1 - K_t)P_t^- \quad (4)$$

Pada tahap *update*, dilakukan pencarian K_t , yaitu *kalman gain* yaitu bobot relatif *state* yang berlangsung, bersifat sebagai koefisien pengali hasil estimasi setelahnya, terdapat variabel R yaitu kovarian *noise* observasi, sama dengan Q , nilai dari variabel R ditetapkan dari awal dan didapat lewat eksperimen. Kemudian mengupdate estimasi nilai selanjutnya berdasarkan oleh Z_t , yaitu nilai yang baru masuk. Setelah *update* estimasi, dilakukan *update* untuk kovarian error dari nilai estimasi yang baru. Nilai X_t dan P_t yang baru akan digunakan untuk tahap prediksi pada t yang baru.

3. DESAIN SISTEM

3.1 Desain Sistem

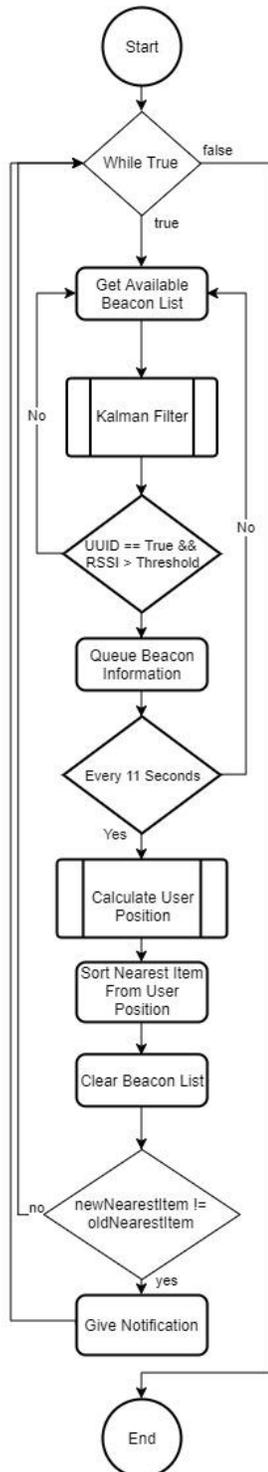


Gambar 3. Desain Sistem

Konsep kerja sistem secara umum yang digunakan sesuai dengan Gambar 3 memiliki 5 operasi, yaitu:

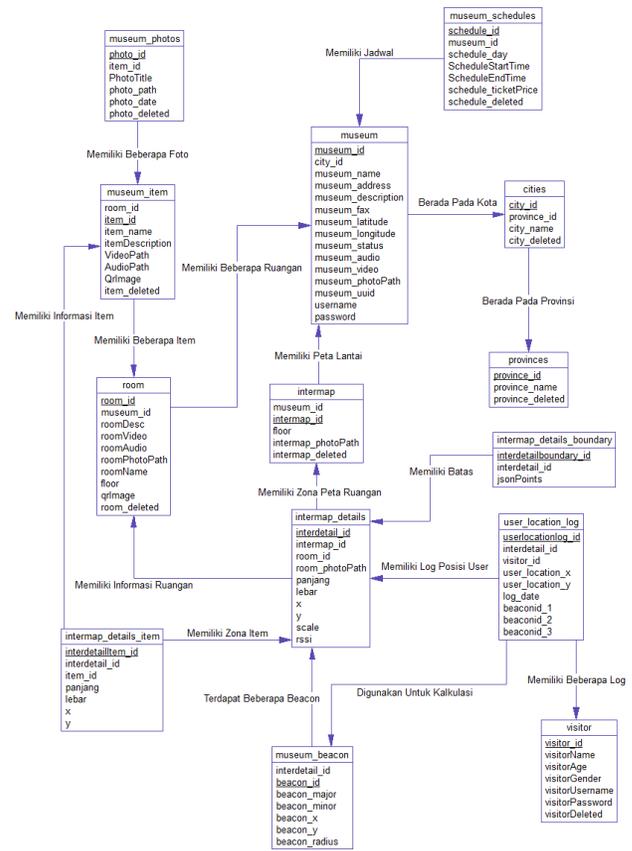
1. Beacon melakukan *broadcast UUID* tiap 5 detik. Operasi dijalankan ketika pengguna menangkap sinyal yang di *broadcast beacon*. Sinyal dari *beacon* akan di filter menggunakan metode *kalman filter* terlebih dahulu agar mengurangi *noise*.
2. Dari *smartphone* pengguna akan dilakukan pengecekan ke *server* apakah UUID yang diterima terdaftar pada sistem atau tidak. Jika tidak maka server menganggap *beacon* bukan milik museum.
3. Jika UUID *beacon* terdaftar pada server maka beacon merupakan milik museum. *Server* akan mengirim informasi beacon tersebut, baik itu informasi barang atau ruangan museum. Informasi ini juga termasuk koordinat *beacon* tersebut pada peta. Nantiya koordinat ini akan digunakan untuk kalkulasi koordinat pengguna.
4. Setelah menerima informasi koordinat *beacon* dari *server* dilakukan kalkulasi pengguna. Sebelum dilakukan kalkulasi pada *smartphone* pengguna telah tersimpan jarak dari *beacon* dengan menggunakan kekuatan sinyal atau RSSI sebagai parameter.
5. Setelah kalkulasi koordinat, user akan mengirimkan kembali informasi koordinat user ke *server* sekaligus informasi user yang didapat saat user *login* menggunakan akunnya.

Desain flowchart kalkulasi IPS sesuai dengan Gambar 4, proses kalman filter merupakan perhitungan kalman filter, sedangkan “Calculate User Position” merupakan proses untuk trilateration.



Gambar 4. Flowchart Kalkulasi IPS

Terdapat pula *physical* ERD sistem sesuai dengan Gambar 5.



Gambar 5. Physical Entity Relationship Diagram

4. IMPLEMENTASI SISTEM

Implementasi sistem akan dibagi menjadi 3 bagian, yaitu implementasi sistem pada BLE *beacon*, implementasi sistem pada aplikasi web, implementasi sistem pada aplikasi *smartphone*.

Untuk dapat menggunakan *beacon* terlebih dahulu perlu dilakukan *setting* pada *beacon* dengan menggunakan Arduino IDE. Pada Arduino IDE perlu diatur terlebih dahulu *library board* yang digunakan, *library* ini didapat dari github resmi *board* yang digunakan, contohnya ESP32. Selain *board* juga perlu mengatur COM port tempat *beacon* terhubung ke komputer. Pada bagian ini dapat diatur berapa lama frekuensi *beacon* mengirimkan sinyal, dan UUID serta nilai *major* dan *minor* dari *beacon*.

Aplikasi web berjalan secara *native* dengan menggunakan DBMS (*Database Management System*) MySQL. Untuk dapat mengakses aplikasi web perlu dijalankan *service* untuk http dan https pada port 80 dan 443, serta *service* untuk MySQL pada port 3306. Bahasa pemrograman pada aplikasi web yang digunakan adalah HTML5, PHP, dan JavaScript.

Aplikasi *smartphone* merupakan aplikasi dimana pengguna menerima sinyal dari *beacon* dan melakukan kalkulasi. Aplikasi *smartphone* dibuat menggunakan Android Studio dengan bahasa Java. Untuk menjalankan aplikasi perlu dilakukan pengaturan AndroidManifest.xml yang merupakan file yang berisi informasi-informasi utama aplikasi seperti *package*, *activity*, *permission*, *sdk version*, dll. Selain itu terdapat pula file *build gradle* untuk melakukan *build*, pada *build.gradle* ini terdapat *dependency* berupa *library* yang dapat dimasukkan secara otomatis ketika melakukan sinkronisasi. Fungsi koneksi ke database dilakukan

secara *asynchronous* dengan membuat kelas yang *extends AsyncTask*, kelas ini akan meminta data dari link file php dalam server yang akan melakukan *query* ke *database* dan mengembalikan json yang *ter-encode*. Link ke server dinyatakan secara *hardcoded*.

5. ANALISA DAN PENGUJIAN

5.1 Tempat dan Spesifikasi Pengujian

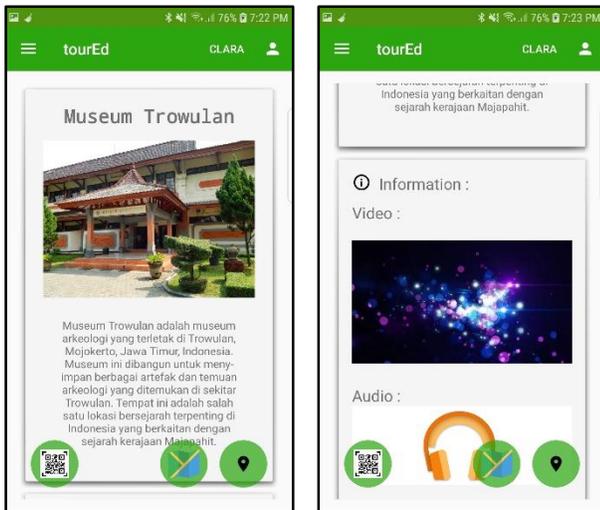
Pengujian sistem dilakukan pada 3 lokasi yang terletak di dalam Museum Trowulan. Dimana 2 ruangan tertutup (dikelilingi tembok), dan 1 ruangan terbuka (beratap namun tidak dikelilingi tembok). Berikut informasi lokasi pengujian:

Ruangan Terakota:

1. Dimensi: 16.75 x 11.75 meter.
2. Ruang: Tertutup
3. Jumlah barang: 37
4. Jumlah *beacon* yang digunakan: 10

5.2 Pengujian Hasil Aplikasi *Mobile*

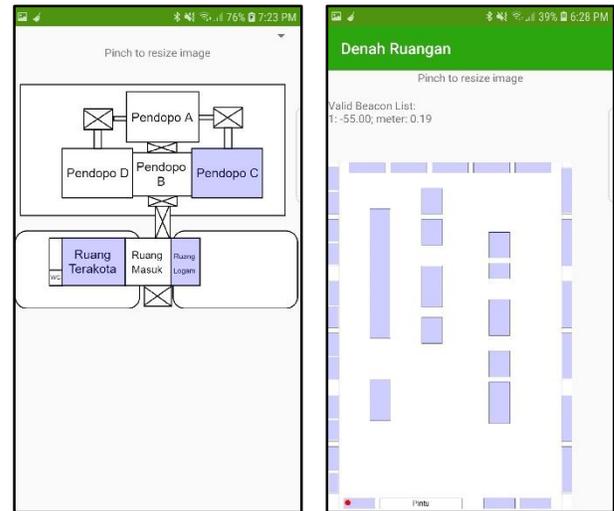
Setelah masuk halaman informasi museum, akan muncul informasi museum berupa gambar museum, deskripsi museum, video dan audio museum, jam buka, nomor telpon, alamat, dan kota museum sesuai dengan Gambar 6. Selain itu terdapat pula 3 tombol yang dari kiri ke kanan adalah tombol *scan barcode item*, *floor map*, dan *museum location* yang ditampilkan lewat google maps API. Sesuai dengan



Gambar 6. Halaman Informasi Museum

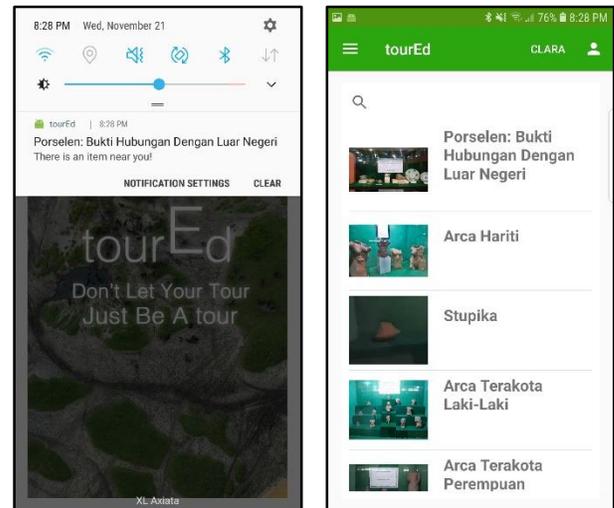
Pada halaman informasi museum terdapat 3 tombol pada bagian bawah layar. Tombol pada posisi tengah dapat menunjukkan peta lantai museum. Pada peta lantai ini ketika zona berwarna biru ditekan maka akan muncul peta ruangan yang diinginkan.

Ketika zona peta ruangan pada peta lantai ditekan akan muncul gambar dari peta ruangan yang dimaksud, pada peta lantai terdapat zona-zona untuk informasi item dan titik merah yang menunjukkan lokasi pengguna sesuai dengan Gambar 7. Terdapat 2 tipe zona pada peta ruangan, ketika peta ruangan diakses dari halaman informasi *item*, peta ruangan akan secara otomatis memberi tanda lokasi *item* tersebut dengan warna merah, dan *item* lain akan diberi warna biru. Jika halaman peta ruangan diakses dari peta lantai, semua zona akan berwarna biru.



Gambar 7. Halaman Peta Lantai dan Ruangan

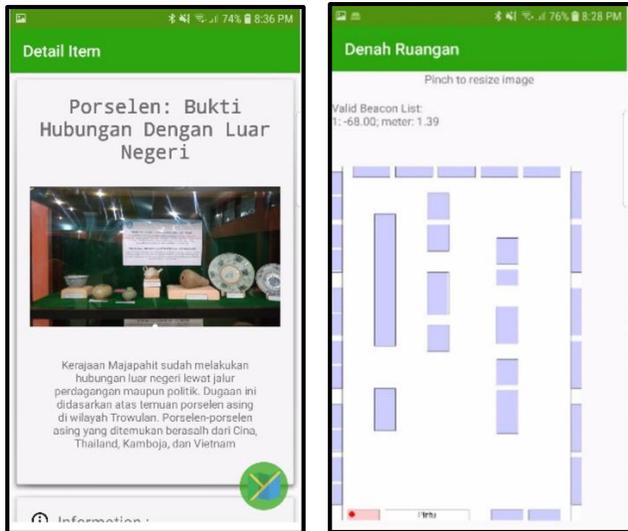
Saat posisi pengguna telah dikalkulasi, pengguna akan mendapatkan notifikasi salah satu *item* terdekat dari pengguna. Pada Gambar 8 dimana sisi kiri adalah gambar notifikasi dan gambar kanan adalah gambar daftar *item* terdekat dari pengguna untuk membuktikan bahwa notifikasi memang benar menunjukkan *item* terdekat.



Gambar 8. Pengujian Notifikasi dan Daftar Item Terdekat

Jika notifikasi ditekan, maka yang muncul adalah informasi dari notifikasi seperti pada Gambar 9. Gambar kiri adalah informasi *item* notifikasi. Pada informasi *item* akan terdapat informasi berupa teks, gambar, video, dan audio. Sedangkan gambar kanan adalah peta yang menandakan informasi notifikasi ketika ditekan, dimana warna merah menandakan lokasi *item* yang dimaksud.

Dengan fitur ini akan terbentuk pengalaman berkunjung yang interaktif karena *beacon* akan memberi informasi ke pengguna, sehingga komunikasi tidak hanya di inisiasi oleh pengguna. Namun juga oleh pihak museum. Fitur ini juga mendukung *tour guide* dengan melakukan promosi barang.



Gambar 9. Lokasi Item Pada Notifikasi

5.3 Pengujian Hasil Kalkulasi

Sebelum melakukan kalkulasi perlu ditentukan berapa lama waktu untuk melakukan *kalman filter*. Waktu diambil berdasarkan rata-rata waktu yang diperlukan untuk menstabilkan sinyal sebelum nantinya siap diproses, waktu tidak boleh terlalu lama karena semakin lama perubahan sinyal akan semakin landai dan mengurangi akurasi kalkulasi, namun juga tidak boleh terlalu cepat karena akan mengakibatkan sinyal yang masih belum cukup stabil. Berdasarkan hasil pengambilan RSSI (kekuatan sinyal) selama 20 detik. Berdasarkan hasil yang didapat, ditemukan beberapa 3 titik stabil untuk diuji jarak antar titik yang bergerak, yaitu tiap 8, 13, dan 18 detik.

Berdasarkan hasil pengambilan RSSI (kekuatan sinyal) dapat diuji jarak antar titik per 8 detik. Berdasarkan Tabel 1, didapatkan rata-rata jarak antar titik adalah 33.76 cm.

Tabel 1. Jarak Antar Titik Per 8 Detik

Data	Xt-1	Yt-1	Xt	Yt	Jarak Titik (cm)
1	541	746	557	759	20.62
2	557	759	565	770	13.60
3	565	770	528	707	73.06
4	528	707	535	750	43.57
5	535	750	529	741	10.82
6	529	741	544	763	26.63
7	544	763	496	801	61.22
8	496	801	517	761	45.18
9	517	761	543	767	26.68
10	543	767	531	756	16.28
Rata-rata					33.76

Berdasarkan Tabel 2 diambil jarak antar titik per 13 detik. Dari data yang didapat rata-rata jarak antar titik adalah 58.02 cm.

Tabel 2. Jarak Antar Titik Per 13 Detik

Data	Xt-1	Yt-1	Xt	Yt	Jarak Titik (cm)
1	615	341	592	264	80.36
2	592	264	533	303	70.72
3	533	303	568	303	35.00
4	568	303	574	299	7.21
5	574	299	570	282	17.46
6	570	282	597	428	148.48
7	597	428	572	398	39.05
8	572	398	622	352	67.94
9	622	352	573	289	79.81
10	573	289	561	257	34.18
Rata-rata					58.02

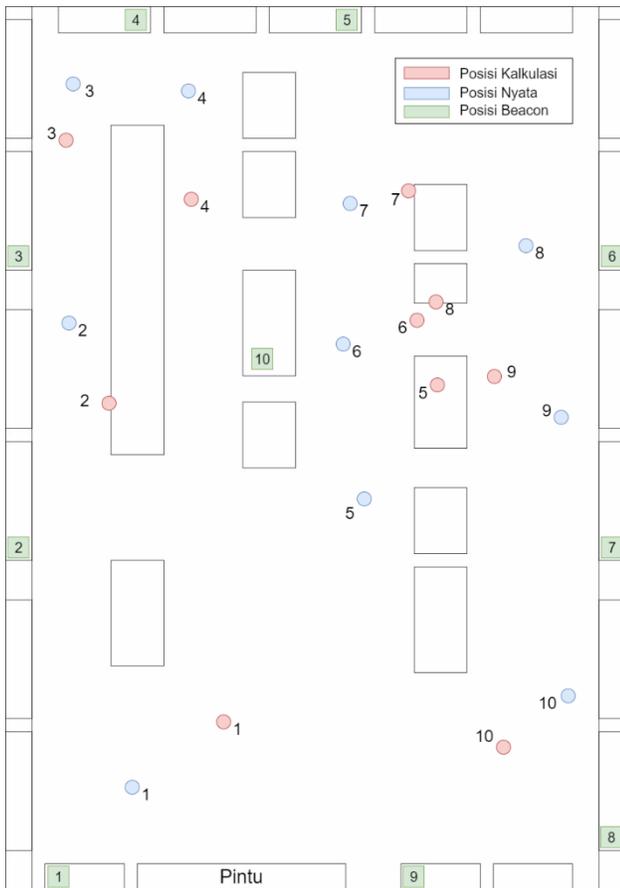
Berdasarkan Tabel 3 diambil jarak antar titik per 18 detik. Dari data yang didapat rata-rata jarak antar titik adalah 82.38 cm.

Tabel 3. Jarak Antar Titik Per 18 detik

Data	Xt-1	Yt-1	Xt	Yt	Jarak Titik (cm)
1	480	684	396	613	109.99
2	396	613	404	623	12.81
3	404	623	389	681	59.91
4	389	681	424	663	39.36
5	424	663	397	614	55.95
6	397	614	482	687	112.04
7	482	687	325	641	163.60
8	325	641	396	614	75.96
9	396	614	480	482	156.46
10	480	482	500	450	37.74
Rata-rata					82.38

Berdasarkan data pengambilan jarak antar titik, pengambilan data tiap 8 detik lebih baik untuk jarak antar titik. Hal ini karena semakin sedikit jarak antar waktu data yang didapat akan lebih rapat, sehingga pergerakan antar titik akan semakin mulus. Selain pengambilan data per 3 detik, pengambilan data per 13 detik juga masih dapat digunakan karena rata-rata jarak antar titik masih sekitar 58 cm. Namun pada 18 detik jarak rata-rata antar titik sudah terlalu jauh untuk digunakan selain itu terlalu lama.

Dari hasil kalkulasi pengguna dapat ditemukan lokasi pengguna untuk tiap ruangan. Untuk pengujian diambil beberapa sampel titik dari tiap ruangan. Pada Gambar 10 terdapat hasil dari pengujian kalkulasi untuk "Ruang Terakota". Pada Tabel 4 terdapat hasil kalkulasi dari Gambar 10 beserta dengan pengukuran RSSI atau kekuatan 3 beacon terkuat. Pada kolom terakhir terdapat hasil jarak error dari tiap titik dalam satuan cm, dan pada baris terakhir terdapat hasil rata-rata jarak error.



Gambar 10. Pengujian Kalkulasi Posisi Pengunjung

Tabel 4. Pengujian Kalkulasi Posisi Pengunjung

N o.	Posisi Nyata		RSSI Beacon			Posisi Kalkulasi		Jarak Error (cm)
	X	Y	1	2	3	X	Y	
1	226 .67	146 6.67	- 95.8 7	- 100. 00	- 100. 48	400 .00	134 2.67	213.12
2	106 .67	586. 67	- 84.2 3	- 84.5 3	- 91.5 9	182 .67	738. 67	169.94
3	114 .67	133. 33	- 84.0 0	- 89.0 7	- 89.0 9	101 .33	242. 67	110.14
4	333 .33	146. 67	- 69.0 7	- 82.2 3	- 92.0 0	338 .67	352. 00	205.40
5	666 .67	920. 00	- 100. 31	- 103. 88	- 106. 40	805 .33	704. 00	256.68
Rata-rata								191.05

Pada ruangan yang tertutup dan cukup luas dengan dimensi 16.75 x 11.75 meter, hasil rata-rata jarak error adalah 191.05 cm.

6. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui peletakan posisi *beacon* diperlukan survei lapangan untuk bentuk dan besar ruangan. Ketika *beacon* berada pada jarak pandang pengguna (tidak terhalang tembok atau benda) dan tinggi 2 m *beacon* dapat memberikan sinyal dengan optimal.
2. Pada ruang tertutup, besar dan bentuk ruangan mempengaruhi kuat sinyal *beacon*. Semakin cepat sinyal *beacon* memantul pada tembok maka sinyal akan semakin kuat, oleh karena itu ruangan yang lebih kecil akan memberi sinyal yang lebih kuat ketimbang ruang yang lebih besar.
3. Pada kalkulasi posisi pengguna hasil kalkulasi cenderung tertarik pada titik tengah seluruh *beacon* yang digunakan. Hal ini dikarenakan sinyal dari *beacon* yang diterima cenderung terlalu kuat atau sama kuat antar *beacon*, oleh karena itu untuk meningkatkan akurasi digunakan jumlah *beacon* minimal yaitu 3 untuk membuat zona-zona kecil sehingga jarak error yang dihasilkan dapat seminimal mungkin.
4. Penggunaan *kalman filter* tidak boleh digunakan terlalu lama karena semakin landai perubahan sinyal pengguna dapat membuat posisi pengguna justru makin tidak akurat karena perubahan kalkulasi sinyal yang lebih lambat dari kecepatan gerak pengguna. Penggunaan *kalman filter* cukup dilakukan hingga sinyal cukup stabil untuk diproses yaitu sekitar 8-13 detik.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdul Wahid, J. C. 2015. Mobile Indoor Localization based on RSSI using Kalman Filter and Trilateration Technique. *International Conference on Machine Vision*. Spain: ICMV.
- [2] Burcu TURAN, H. K. 2014. Museum Guide Mobile App: The Case Of The Near East University Classical Car. *3rd World Conference on Educational Technology Researches* (pp. 278 – 285). New York: Elsevier.
- [3] Chan, S. H.-H. 2016. Wi-Fi Fingerprint-Based Indoor Positioning: Recent Advances and Comparisons. *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, 466-490.
- [4] Faheem Zafari, A. G. 2018. [1709.01015] A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies. Retrieved from arXiv: <https://arxiv.org/abs/1709.01015v2>
- [5] Jenny Röbesaat, P. Z. 2017. An Improved BLE Indoor Localization with Kalman-Based Fusion: An Experimental Study. *Sensors*, 17(5), 951.
- [6] Manuel Castillo-Cara, E. H.-J.-R. 2016. Ray: Smart indoor/outdoor routes for the blind using Bluetooth 4.0. *The 7th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies* (pp. 690-694). New York: Elsevier.