

Smartphone based intelligent indoor positioning using fuzzy logic

Journal : Future Generation Computer Systems

F. Orujov, R. Maskeliunas, R. Damaševičius, Wei Wei, Ye Li


Abstrak

Saat ini smartphone adalah sebuah alat yang sangat diperlukan dalam melakukan rutinitas sehari-hari, termasuk fungsi yang mampu melayani orang-orang dengan kebutuhan khusus dalam menemukan lokasi luar ruangan mereka. Penelitian ini menyajikan sebuah penyelidikan eksperimental dari algoritma indoor positioning berdasarkan kekuatan sinyal yang diterima dari Bluetooth Low Energy (BLE) beacons. Diterapkan beberapa algoritma pemosisian (Proximity Localization, Centroid Localization, Weighted Centroid Localization, Weight-Compensated Weighted Centroid Localization Berbasis RSSI, Fingerprinting dan Trilateration Localization) dan kemudian dibandingkan untuk mendapatkan algoritma dengan akurasi terbaik. Kemudian diusulkan dan diterapkan sebuah skema berbasis logika fuzzy untuk memilih algoritma yang terbaik berdasarkan pada ukuran ruangan, jumlah beacon yang tersedia dan kekuatan sinyal. Dilakukan evaluasi terhadap skema yang diusulkan dalam kondisi dunia nyata (gedung kantor). Hasil percobaan menunjukkan bahwa algoritma fingerprinting localization adalah yang paling cocok. Sehingga diusulkan sebuah sistem logika fuzzy untuk pemilihan algoritma lokalisasi dalam ruangan berdasarkan ukuran ruangan, jumlah beacon yang tersedia, dan kekuatan sinyal RSSI



Latar Belakang

Dalam menentukan posisi seseorang didalam sebuah ruangan secara akurat dan menggunakan solusi berbiaya rendah seperti Wi-Fi dan *Bluetooth Low Energy* (BLE) atau menggunakan solusi berbasis *smartphone* merupakan hal yang tidak mudah. Hal tersebut disebabkan karena kondisi sekitar yang dapat mempengaruhi penyebaran sinyal, sehingga membuat penentuan lokasi rentan terhadap *noise* dan kepadatan dari lingkungan. Permasalahan ini sangat relevan untuk orang-orang yang memiliki kebutuhan khusus seperti orang lanjut usia, atau orang cacat yang mungkin memerlukan perawatan dan perhatian khusus ketika bergerak di dalam gedung-gedung publik yang besar. Oleh karena itu, pengembangan infrastruktur dan teknologi yang mendukung aksesibilitas, kehidupan aktif dan terbantu merupakan hal yang penting, terutama dalam konteks pengembangan Kota Pintar. *Indoor Positioning Systems* (IPS) sebelumnya telah diterapkan di lingkungan yang berbeda seperti transportasi, toko dan supermarket, perpustakaan, museum, tempat parkir mobil, lokasi konstruksi bawah tanah, dan rumah sakit.



- Sistem yang terintegrasi
- Tantangan dalam implementasi
- Posisi dalam ekosistem
- Ketersediaan sumber daya
- Solusi inovatif
- Sistem yang terintegrasi

Bluetooth Low
dengan tingkat
arena dapat
an konsumsi

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan penyelidikan terhadap algoritma-algoritma *indoor positioning systems* menggunakan *Bluetooth Low Energy beacons*. Untuk lebih jelasnya tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Melakukan penyelidikan terhadap jangkauan broadcast dari BLE beacon pada dunia nyata.
 1. Apa efek dari jarak antara perangkat seluler dengan beacon pada kekuatan sinyal?
 2. Bagaimana orientasi perangkat seluler dapat mempengaruhi kekuatan sinyal?
- Melakukan penyelidikan terhadap algoritma indoor positioning dengan menggunakan Bluetooth Smart Beacons dan mencari algoritma mana yang memiliki akurasi tertinggi.
- Mengusulkan skema berbasis logika fuzzy dalam melakukan pemilihan algoritma indoor positioning yang paling sesuai berdasarkan ukuran kamar, jumlah beacon dan faktor kekuatan sinyal.

Penelitian Sebelumnya

Ma et al

Chen et al

Lin et al

Er Rida et al

Menggunakan jarak Euclidian yang ditingkatkan dan probabilitas gabungan untuk menghitung hasil tengah dari beberapa sidik jari, dan kemudian menerapkan *weighted fusion* untuk menghitung nilai akhir dengan menggunakan pembobotan dari jarak Euclidean dengan variannya.

Mengusulkan metode lokalisasi berbasis smartphone berdasarkan masalah fusi sensor, akan tetapi memilih menggunakan Kalman filter dibandingkan dengan particle filter.

Menggunakan proximity localization terlebih dahulu untuk membagi ruangan menjadi beberapa area. Metode yang diusulkan menggunakan penyaringan Receiver Signal Strength Indication (RSSI) berbasis waktu untuk menemukan beacon terdekat.

Menggunakan trilateration localization untuk menentukan lokasi. Mereka menyarankan untuk memasang beacon pada langit-langit sebagai sebuah grid.

R. Ma, Q. Guo, C. Hu, J. Xue, An improved wifi indoor positioning algorithm by weighted fusion, *Sensors* 15 (2015) 21824–21843.

Z. Chen, H. Zou, H. Jiang, Q. Zhu, Y.C. Soh, L. Xie, Fusion of wifi, smartphone sensors and landmarks using the Kalman filter for indoor localization, *Sensors* 15 (1) (2015) 715–732. <http://dx.doi.org/10.3390/s150100715>.

X.Y. Lin, T.W. Ho, C.C. Fang, Z.S. Yen, B.J. Yang, F. Lai, A mobile indoor positioning system based on ibeacon technology, in: 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2015, pp. 4970–4973, <http://dx.doi.org/10.1109/embc.2015.7319507>

M.E. Rida, F. Liu, Y. Jadi, A.A. Algawhari, A. Askourih, Indoor location position based on bluetooth signal strength, in: 2nd International Conference on Information Science and Control Engineering, 2015, <http://dx.doi.org/10.1109/icisce.2015.177>.

Penelitian Sebelumnya

Zhu et al

Menggunakan metode fusi trilateration dan centroid. Mereka menyarankan untuk membangun beacon sebagai segitiga sama sisi

W. Zhu, S. Kim, J. Hong, C. Kim, Analysis of indoor positioning based on BLE, in: ACIIDS 2017, Studies in Computational Intelligence, vol. 710, 2017, pp. 421–430.

Bai et al

Menggunakan lokalisasi sidik jari untuk menentukan lokasi dalam ruangan, menyarankan untuk digunakan dengan data RSSI dari Wi-Fi dan Bluetooth

S.Y. Bai, C.C. Chiu, J.C. Hsu, Campus-wide wireless indoor positioning with hybrid ibeacon and Wi-Fi system, in: 6th International Symposium on Next Generation Electronics, ISNE, 2017, pp. 1–2, <http://dx.doi.org/10.1109/isne.2017.7968740>.

Ma et al

Menawarkan metode sidik jari berbasis peringkat RSSI yang menggunakan Kendall Tau Correlation Coefficient (KTCC) untuk mengkorelasikan posisi sinyal batu dengan peringkat kekuatan sinyal beberapa perangkat iBeacon.

Z. Ma, S. Poslad, J. Bigham, X. Zhang, L. Men, A BLE RSSI ranking based indoor positioning system for generic smartphones, in: 2017 Wireless Telecommunications Symposium, WTS, 2017, pp. 1–8, <http://dx.doi.org/10.1109/wts.2017.7943542>.

Zou et al

Mengusulkan skema BlueDetect berbasis teknologi iBeacon untuk mendeteksi lokasi indoor-outdoor dan penyediaan layanan location based services (LBS) tanpa batas yang berjalan pada perangkat seluler Android. Skema ini didukung oleh Wi-Fi dan teknologi Global Positioning System (GPS) di lingkungan semi indoor.

H. Zou, H. Jiang, Y. Luo, J. Zhu, X. Lu, L. Xie, Bluedetect: An ibeacon-enabled scheme for accurate and energy-efficient indoor-outdoor detection and seamless location-based service, Sensors 16 (268) (2016).

Penelitian Sebelumnya

Alshami et al

Sidik jari WLAN yang diusulkan ditingkatkan dengan kepastian RSS, dan menggunakan klasifikasi K-Nearest Neighbor (KNN) dan Artificial Neural Network (ANN) untuk lingkungan dinamis dan multi-lantai yang memperhitungkan kehadiran orang.

I.H. Alshami, N.A. Ahmad, S. Sahibuddin, F. Firdaus, Adaptive indoor positioning model based on wlan-fingerprinting for dynamic and multi-floor environments, Sensors 17 (2017) 1789.

Pei et al

Mengusulkan pelatihan basis data sidik jari untuk pelokalan dalam ruangan reluler melalui crowd sensing

L. Pei, M. Zhang, D. Zou, R. Chen, Y. Chen, A survey of crowd sensing opportunistic signals for indoor localization, Mob. Inf. Syst. 2016 (2016) 16.
<http://dx.doi.org/10.1155/2016/4041291>

Xu et al

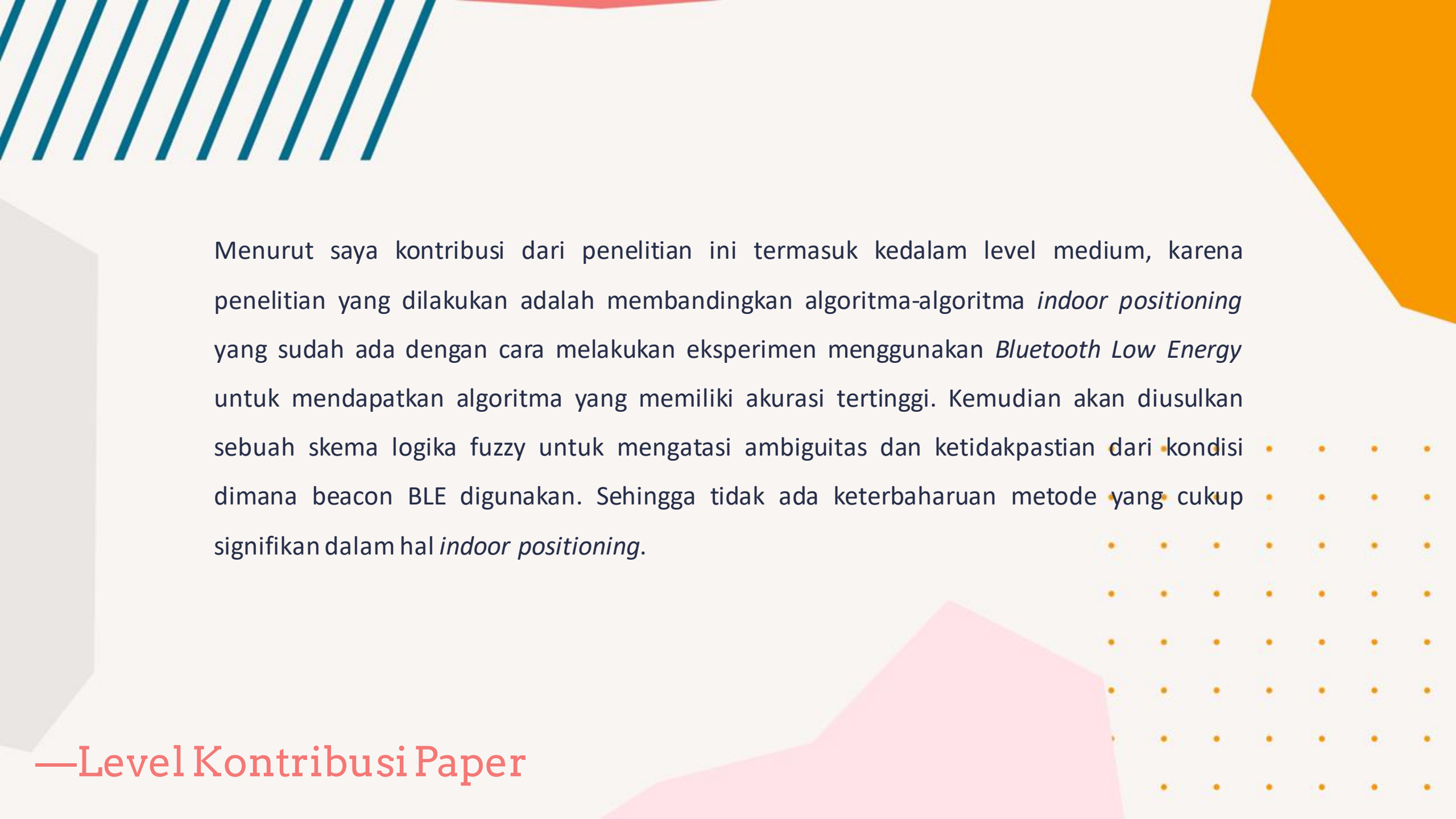
Mengusulkan algoritma Bayesian inference based KNN (BKNN) untuk meningkatkan lokalisasi yang kuat untuk menandakan signal multipath propagation dan gangguan lingkungan.

H. Xu, Y. Ding, P. Li, R. Wang, Y. Li, An RFID Indoor Positioning algorithm based on Bayesian probability and K-nearest neighbor, Sensors 17 (2017) 1806.

Liu

Menawarkan metode serupa pada fine graining of features.

K. Liu, Guoguo: Enabling fine-grained indoor localization via smartphone, in: MobiSys '13 Proceeding of the 11th annual international conference on Mobile systems, applications, and service, 2013, pp. 235–248



Menurut saya kontribusi dari penelitian ini termasuk kedalam level medium, karena penelitian yang dilakukan adalah membandingkan algoritma-algoritma *indoor positioning* yang sudah ada dengan cara melakukan eksperimen menggunakan *Bluetooth Low Energy* untuk mendapatkan algoritma yang memiliki akurasi tertinggi. Kemudian akan diusulkan sebuah skema logika fuzzy untuk mengatasi ambiguitas dan ketidakpastian dari kondisi dimana beacon BLE digunakan. Sehingga tidak ada keterbaharuan metode yang cukup signifikan dalam hal *indoor positioning*.

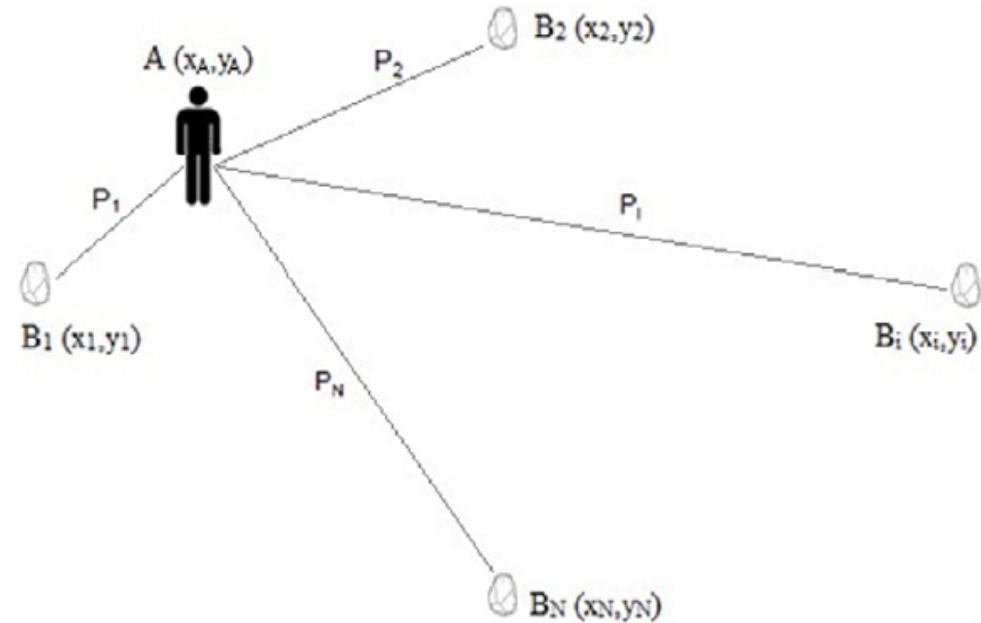
—Level Kontribusi Paper



Metodologi Penelitian

Model Lingkungan Penelitian

Model dari lingkungan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari beberapa *beacons* dan sebuah agen. Agen disini merupakan fasilitas yang diposisikan untuk menerima sinyal BLE. Dalam penelitian ini agen yang dimaksud adalah smartphone. Tanpa kehilangan sifat umum, ruang dianggap sebagai lingkungan datar di mana memungkinkan terdapat gangguan dari dinding, lantai, sinyal beragam, dll. Gambar 1 menggambarkan contoh pengaturan agen dan *beacons* pada bidang datar, di mana B_i merupakan *beacon* ke- i , (X_i, Y_i) merupakan koordinat Cartesian dari *beacon* ke- i , P_i merupakan RSS dari *beacon* ke- i , A merupakan agen, (X_A, Y_A) merupakan koordinat Cartesian dari agen, dan N merupakan jumlah *beacon*



Gambar Model dari Lingkungan Penelitian



Metodologi

Pada penelitian ini akan membandingkan beberapa algoritma untuk mendeteksi lokasi agen menggunakan sinyal daya yang dipancarkan oleh beberapa *beacon*.

Algoritma tersebut antara lain:

01

The Proximity Algorithm

02

The Centroid Algoritihm

03

Weighted Centroid Algorithm

04

Weighted-Compensated Weighted Centroid Localization

05

The Trilateration Algoritihm

06

The Fingerprinting Algorithm



01

The Proximity Algorithm

Agen akan diberi koordinat dari beacon yang memancarkan sinyal dengan kekuatan terbesar. Algoritma ini merupakan algoritma paling sederhana dari sudut pandang komputasi. Sebagai contoh, jika terdapat 4 beacons pada ruangan dan sinyal daya tertinggi P1 telah diterima dari B1, maka agen tersebut akan diberi koordinat beacon B1. Kelebihan algoritma ini adalah mudah untuk di implementasikan karena kompleksitas komputasional yang rendah dan hanya perlu mengetahui lokasi beacon. Sedangkan kekurangan dari algoritma ini adalah akurasi yang sangat rendah. Algoritma ini dapat digunakan sebagai perkiraan awal, yang hasilnya dapat digunakan untuk algoritma yang berbeda.



02 The Centroid Algorithm

Akan dihitung pusat geometrid dari bentuk bidang yang dibentuk oleh beberapa beacons. Dalam kasus ini, koordinat agen dihitung sebagai kombinasi linier dari koordinat beacon. Lokasi agen akan ditentukan oleh formula berikut :

$$X_A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$
$$Y_A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i$$

X_A, Y_A = koordinat Cartesian agen

X_i, Y_i = koordinat Cartesian *beacon* ke- i

N = jumlah *beacons*

Kelebihan dari algoritma ini adalah mudah untuk diimplementasikan, kompleksitas komputasi yang rendah dan hanya perlu mengetahui lokasi *beacon*. Sedangkan kekurangan dari algoritma ini adalah memiliki akurasi rendah. Karena informasi tentang kekuatan sinyal tidak diperhitungkan, sehingga kesalahan dapat mencapai jangkauan dari *signal broadcast* oleh *beacon*.

03 Weighted Centroid Algorithm

Merupakan pengembangan dari Centroid Algorithm. Koordinat agen dihitung sebagai kombinasi linear dari koordinat beacons berdasarkan daya sinyal sebagai weight factor

$$X_A = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot x_i}{\sum_{j=1}^N w_j}$$

$$Y_A = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot y_i}{\sum_{j=1}^N w_j}$$

$$w_i = \frac{1}{d_i^g}$$

X_A, Y_A = koordinat Cartesian agen

X_i, Y_i = koordinat Cartesian *beacon* ke- i

w_i = karakteristik pembobotan (*weight*)

d_i = jarak antara agen dan *beacon* ke- i

g = tingkat yang menentukan kontribusi *beacon*

N = jumlah *beacons*

Kelebihan dari algoritma ini adalah mudah di implementasikan dan hanya perlu mengetahui lokasi beacon. Sedangkan kelemahan dari algoritma ini adalah ketergantungannya pada jumlah beacon yang tersedia secara bersamaan untuk agen. Semakin banyak sinyal beacon yang dikenal yang diterima agen, maka semakin tinggi akurasi perhitungan lokasinya.

04

Weighted-Compensated Weighted Centroid Localization

Metode ini merupakan perbaikan besar dari algoritma Weighted Centroid Localization. Pada metode ini tidak memerlukan perhitungan jarak, yang membuatnya lebih cepat dan lebih akurat. Karakteristik dari pembobotan (weight) memiliki perhitungan sebagai berikut:

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^N w_j} = \frac{\sqrt{(10^{\frac{p_i}{10}})^g}}{\sum_{j=1}^N \sqrt{(10^{\frac{p_j}{10}})^g}}$$

X_A, Y_A = koordinat Cartesian agen

X_i, Y_i = koordinat Cartesian *beacon* ke- i

w_i = karakteristik pembobotan (*weight*)

P_i = RSS dari *beacon* ke- i

g = tingkat yang menentukan kontribusi *beacon*

N = jumlah *beacons*

04

Weighted-Compensated Weighted Centroid Localization

Kemudian penulis menyarankan untuk meningkatkan karakteristik pembobotan (weight) dengan meningkatkan weight dari pemancar terdekat:

$$w'_i = w_i \cdot N^{2 \cdot w_i}$$

Sehingga untuk melakukan penentuan posisi agen akan dihitung menggunakan formula:

$$X_A = \sum_{i=1}^N w_i X_i$$
$$Y_A = \sum_{i=1}^N w_i Y_i$$

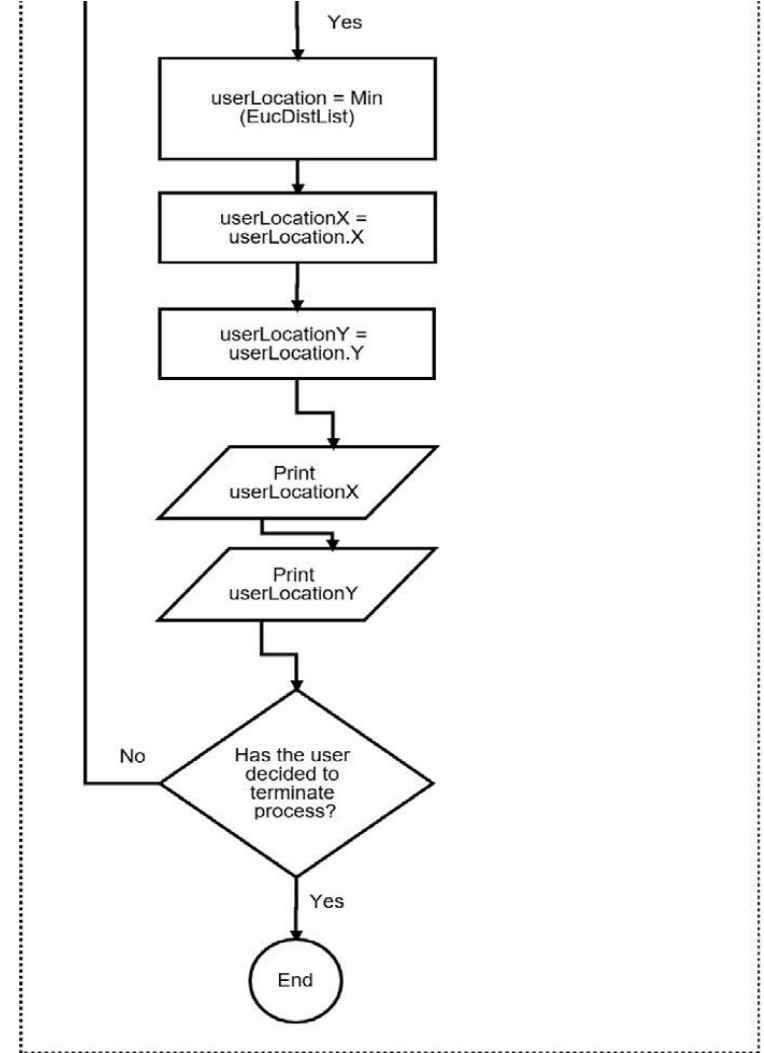
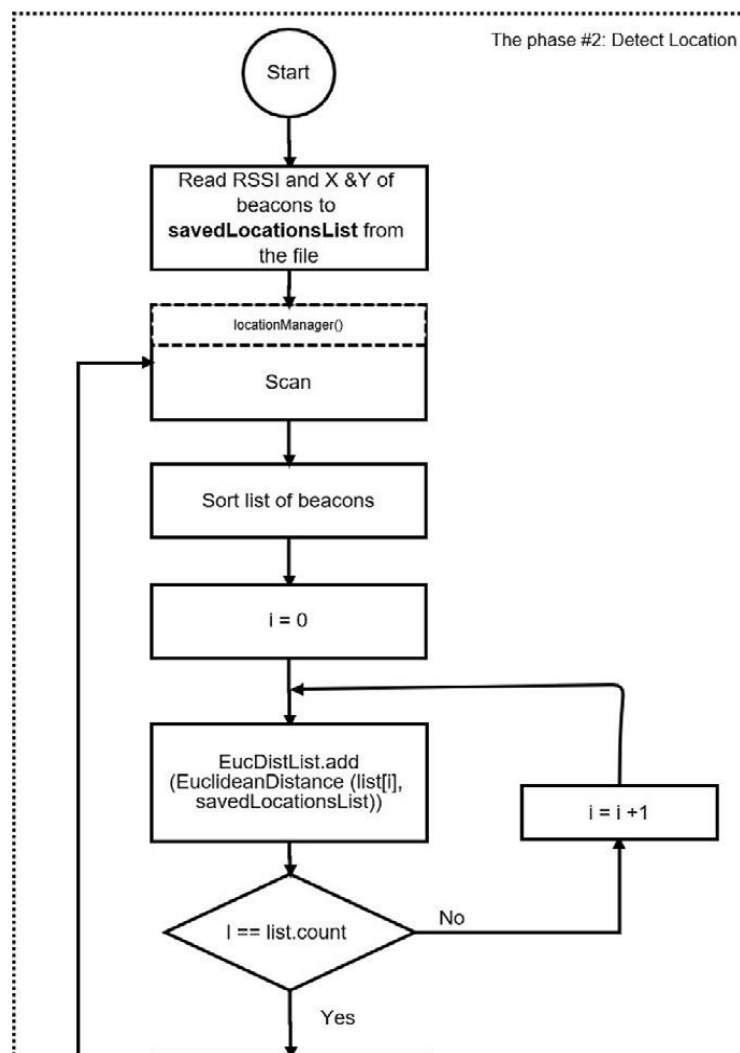
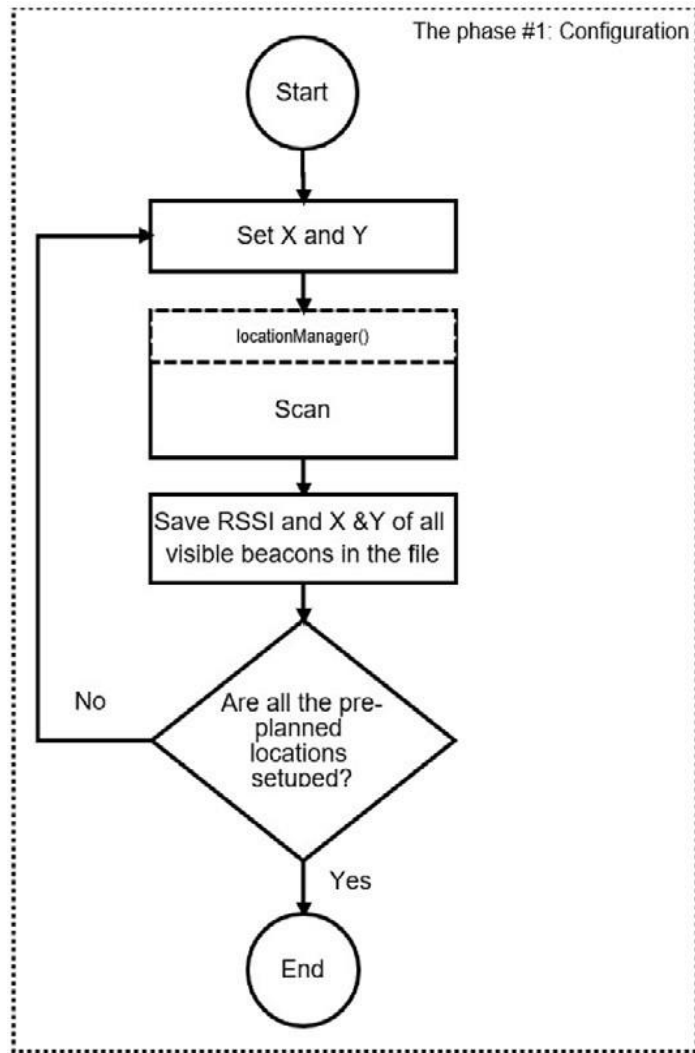
05

The Trilateration Algorithm

Didasarkan pada perbandingan jarak dari tiga beacon untuk menghitung lokasi agen. Kekuatan sinyal beacon berkurang secara eksponensial bergantung pada jarak antara pemancar dan penerima. Dengan demikian, ketergantungan ini dapat dianggap sebagai fungsi jarak. Jarak yang diperkirakan oleh kekuatan sinyal disajikan sebagai lingkaran dengan radius di sekitar beacon. Interseksi / perpotongan dari broadcasting radiuses yang dihasilkan oleh tiga beacon merupakan lokasi dari penerima (receiver). Kelebihan dari algoritma ini adalah kompleksitas komputasi yang rendah dan hanya perlu mengetahui lokasi beacon. Algoritma ini sangat handal dan aplikasinya termasuk GPS dan jaringan seluler.

06 The Fingerprinting Algoritihm

Memiliki 2 tahap yaitu akuisisi data dan penentuan posisi lokasi. Proses akuisisi data memperoleh sinyal, dan membentuk basis data sidik jari. Penentuan posisi diperlukan untuk menemukan titik lokasi terdekat yang direncanakan sebelumnya, yang dicatat dalam database. Untuk tujuan ini, data yang masuk secara real time dari beacon harus dibandingkan dengan data yang disimpan dalam database dengan menghitung metrik jarak. Algoritma Nearest Neighbors (NN) dan k-Nearest Neighbors (KNN) digunakan dalam beberapa penelitian sebelumnya. NN adalah kasus khusus k-NN, ketika $k=1$ di mana k adalah jumlah titik lokasi pra-rencana terdekat. Untuk mencapai akurasi yang baik, diperlukan sejumlah besar titik lokasi yang direncanakan sebelumnya



Gambar Fingerprinting Algorithm



Uji Coba Penelitian

Pengukuran
kekuatan sinyal

The infographic features a central white circle with an orange border. To its left is a dark teal rounded rectangle, to its right is a red rounded rectangle, and below it is an orange rounded rectangle. Each rectangle is connected to the central circle by a dotted line and a colored dot. The background includes a grid of blue dots on the top left, a grid of orange dots on the bottom right, and abstract geometric shapes in orange, grey, red, and pink.

**Pada
penelitian ini
dilakukan 3
eksperimen,
antara lain:**

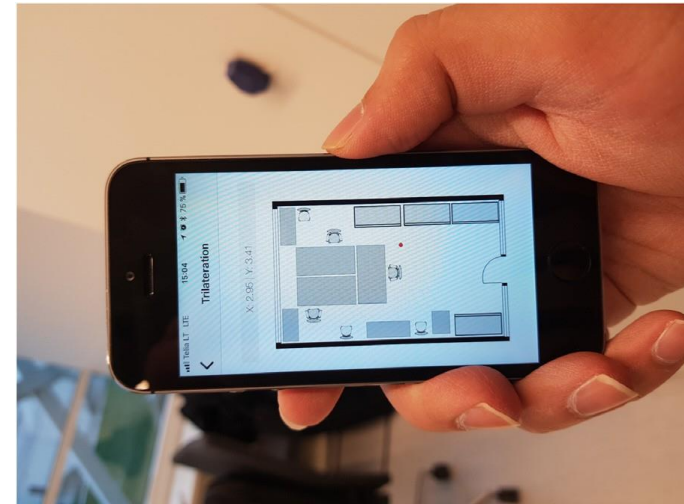
Pengukuran
posisi dalam
ruangan

Pengukuran posisi
dalam ruangan
menggunakan
seleksi fuzzy

Pengukuran Kekuatan Sinyal

Pada eksperimen ini, akan dilakukan perbandingan eksperimental dari algoritma indoor positioning yang sudah dijelaskan sebelumnya dalam kondisi dunia nyata (gedung kantor) dalam hal akurasi. Perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah

- Smartphone yang dimulai dari iPhone 4 (atau yang lebih baru) dan berjalan di sistem operasi iOS 7 (atau yang lebih baru) mendukung teknologi iBeacon
- Untuk transmisi sinyal, digunakan Estimote beacon. setidaknya terdapat empat beacons yang harus digunakan dalam percobaan
- Konfigurasi beacon disimpan dalam RAM dan file sistem perangkat.
- Data disimpan dalam file sistem dalam bentuk teks dan menggunakan format comma-separated values (CSV).



Iphone 5 yang digunakan dalam pengembangan dan pengujian

Pengukuran Kekuatan Sinyal

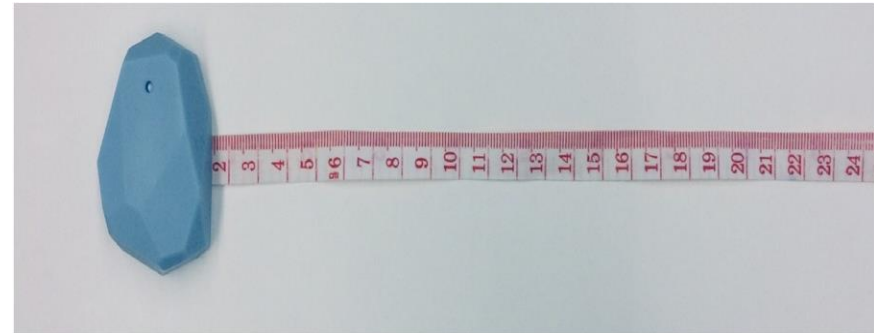


Foto ruangan yang digunakan dalam eksperimen

Untuk pengaturan eksperimental, pengujian dilakukan di berbagai area seperti ruang kantor dan koridor di gedung kantor. Awalnya, semua perangkat Bluetooth yang dapat mempengaruhi hasil tes telah dihilangkan dari ruangan. Tidak ada variasi terukur dalam akurasi posisi yang terdeteksi. Semua pengukuran dilakukan dalam skenario yang realistis tanpa menghilangkan perangkat elektronik yang ada.

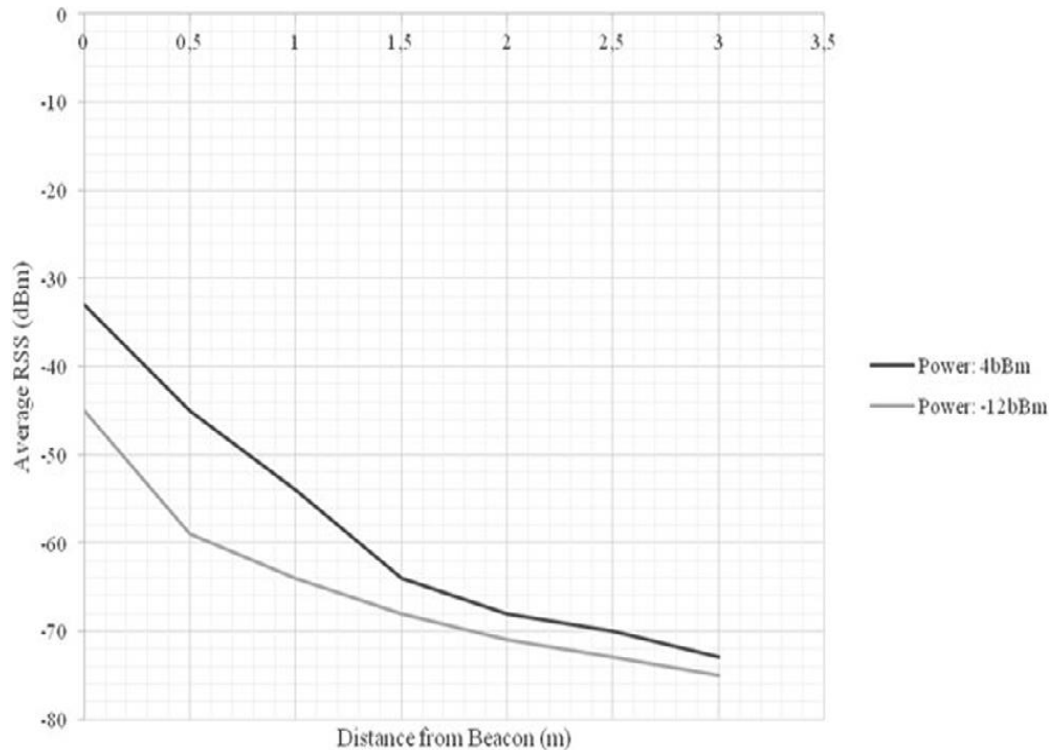
Pengukuran Kekuatan Sinyal

Sedangkan pada kalibrasi taksiran (calibration of the estimates), kekuatan sinyal yang ditransmisikan dari Estimote beacon diukur secara eksperimental menggunakan Estimote beacon dan pita pengukur non-logam dipasang pada permukaan plastik. Dalam percobaan, digunakan Proximity Location Algorithm. Nilai-nilai RSSI dan akurasi dikumpulkan. Jarak awal antara smartphone dan beacon diambil tidak lebih dari beberapa milimeter. Pengukuran lebih lanjut dilakukan dengan meningkatkan jarak dari beacon untuk setiap setengah meter dengan rotasi smartphone pada sumbunya. Pengumpulan data berlangsung tidak lebih dari 2 menit. Untuk hasil yang lebih akurat, percobaan diulangi menggunakan Estimote beacon lain



Percobaan mengukur kekuatan sinyal Bluetooth beacon

Pengukuran Kekuatan Sinyal



Hubungan antara jarak dan kekuatan dari sinyal

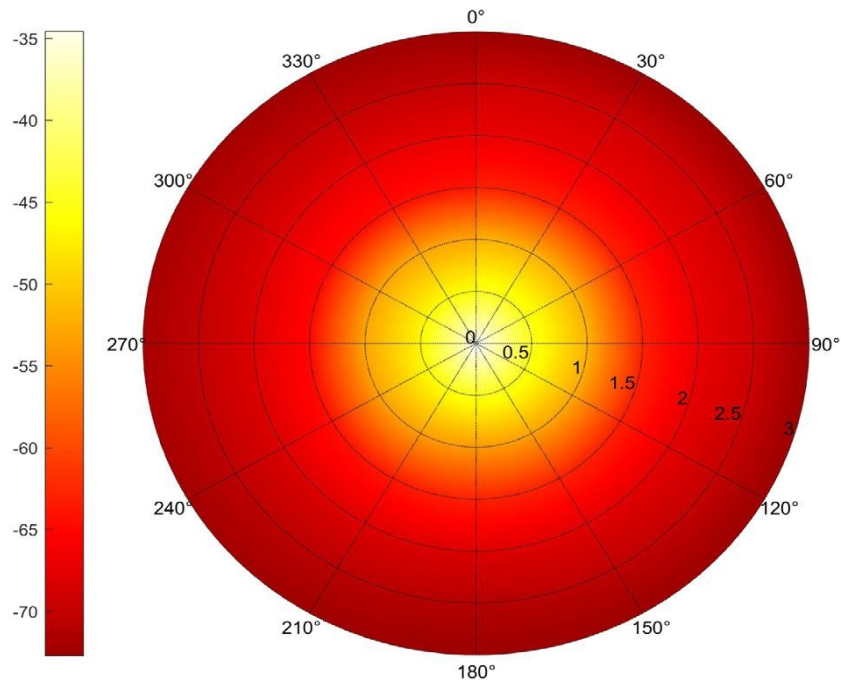
Setelah menyelesaikan percobaan ini, diperoleh hasil sebagai berikut. Gambar berikut menggambarkan hubungan antara jarak dan kekuatan sinyal yang ditransmisikan dari beacon. Data adalah nilai rata-rata dari hasil yang telah diperoleh dari serangkaian percobaan yang dilakukan di ruangan yang berbeda. Grafik menunjukkan ketergantungan kekuatan sinyal pada jarak smartphone dengan pengaturan yang sesuai:

1. Transmit power (Tx) = 4 dBm (Strong)
2. Transmit power (Tx) = -12 dBm (Weak)

Pengukuran Kekuatan Sinyal

Dengan jarak 0-1,5 m, indikasi sinyal pada smartphone, dengan pengaturan transmit power yang berbeda, sangat berbeda, hampir 20 dB. Jika jaraknya melebihi 1,5 m, perbedaan indikasi sinyal mulai menghilang. Dengan jarak lebih dari 3 m, indikasi sinyal cenderung berfluktuasi dari -77 ke -80 dBm. Oleh karena itu, ketika mengarah pada efisiensi kinerja dari algoritma penentuan posisi, data yang diperoleh dari beacon hanya boleh digunakan dalam jarak 3 m karena jika jarak tersebut terlampaui, perbedaan dalam data akan hilang dan data menjadi tidak berguna. Pabrik memastikan bahwa beacon dapat menyiarkan sinyal dalam jarak 50 m dari pengaturan tertinggi mereka. Namun, percobaan telah membuktikan bahwa dalam kondisi nyata beacon hanya dapat menyiarkan sinyal dalam jarak 10 m.

Pengukuran Kekuatan Sinyal

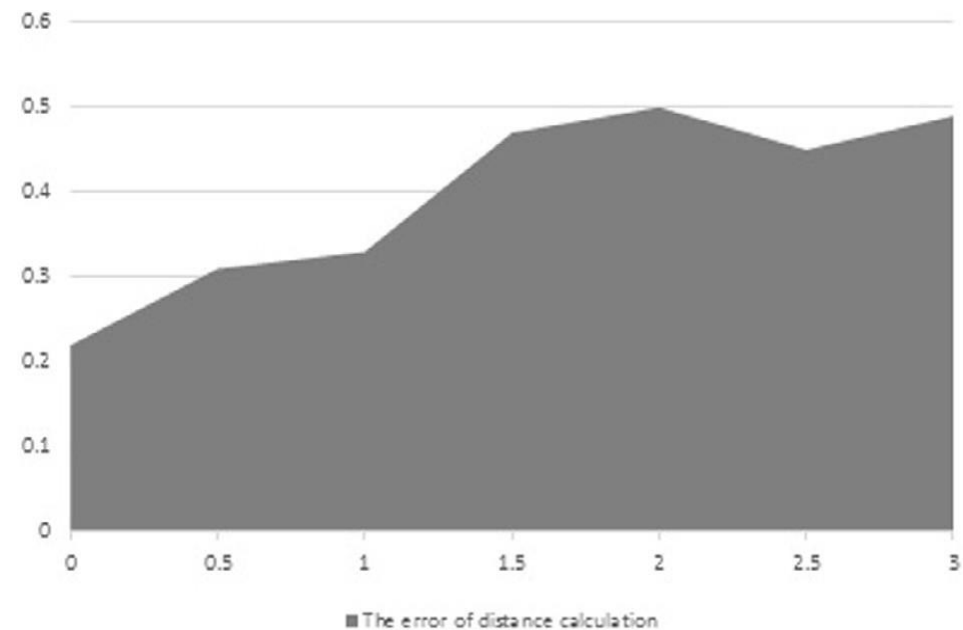


Rata-rata ketergantungan sinyal dari rotasi smartphone

Dalam percobaan rotasi, telah ditetapkan bahwa rotasi smartphone tidak mempengaruhi RSS yang ditunjukkan pada gambar disamping. Percobaan dilakukan dalam mode potrait dengan nilai tetap sumbu X dan Z, dan smartphone diputar pada 90o, 180o dan 270o. Pengukuran sinyal yang diambil dalam jarak hingga 3 m membuktikan bahwa rotasi smartphone tidak memiliki pengaruh yang nyata pada kekuatan sinyal

Pengukuran Kekuatan Sinyal

Gambar disamping menunjukkan kesalahan rata-rata dalam menghitung jarak antara smartphone dan Estimote beacon. Perhitungan jarak dilakukan oleh sistem operasi iOS. Namun, rumus untuk menghitung jarak tidak diketahui (pengaturan pabrik). Dalam jarak 0-1 m, kesalahan perhitungan jarak dibatasi hingga maksimum 0,3 m. Namun, dalam jarak 1-2,5 m, kesalahan maksimum adalah 0,5 m. Perlu dicatat bahwa indikator saat ini berfluktuasi dari waktu ke waktu. Secara umum, kesalahan dalam perhitungan kecil. Namun, jika ada hambatan antara smartphone dan beacon, nilai kesalahan dapat tumbuh secara signifikan.



Hubungan antara jarak dan kekuatan sinyal

Pengukuran Kekuatan Sinyal

Hasil pengukuran dalam kondisi yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 1-5

Tabel 1 Hasil eksperimen dengan beacon yang tidak tertutup (signal strength, dB)

	0 m	0.5 m	1 m	1.5 m	2 m	2.5 m	3 m
0°	-34	-45	-52	-63	-67	-69	-73
90°	-33	-45	-54	-63	-68	-71	-73
180°	-35	-47	-53	-65	-68	-70	-72
270°	-34	-46	-53	-64	-67	-70	-73

Tabel 3 Hasil eksperimen dengan beacon yang sebagian ditutup dengan tudung keramik (di dalam ruang jenis vas) (kekuatan sinyal, dB).

	0 m	0.5 m	1 m	1.5 m	2 m	2.5 m	3 m
0°	-51	-62	-70	-74	-83	-87	-90
90°	-48	-61	-71	-75	-82	-86	-91
180°	-50	-63	-71	-74	-81	-87	-88
270°	-49	-62	-70	-75	-82	-88	-89

Tabel 5 Hasil eksperimen dengan tubuh manusia sebagai penghalang antara beacon dan smartphone (kekuatan sinyal, dB).

	0 m	0.5 m	1 m	1.5 m	2 m	2.5 m	3 m
0°	-	-73	-76	-82	-91	-93	-96
90°	-	-74	-75	-81	-90	-92	-97
180°	-	-71	-75	-81	-90	-93	-96
270°	-	-72	-74	-82	-91	-94	-95

Tabel 2 Hasil eksperimen dengan beacon yang sepenuhnya tertutup dengan piring keramik (signal strength, dB)

	0 m	0.5 m	1 m	1.5 m	2 m	2.5 m	3 m
0°	-45	-63	-71	-75	-81	-84	-87
90°	-44	-63	-70	-76	-80	-83	-86
180°	-45	-62	-72	-74	-82	-84	-88
270°	-44	-64	-69	-75	-81	-82	-87

Tabel 4 Hasil eksperimen dengan beacon sebagian ditutup dengan pelat logam (kandang nonfaraday, ditutup dari satu sisi) (kekuatan sinyal, dB).

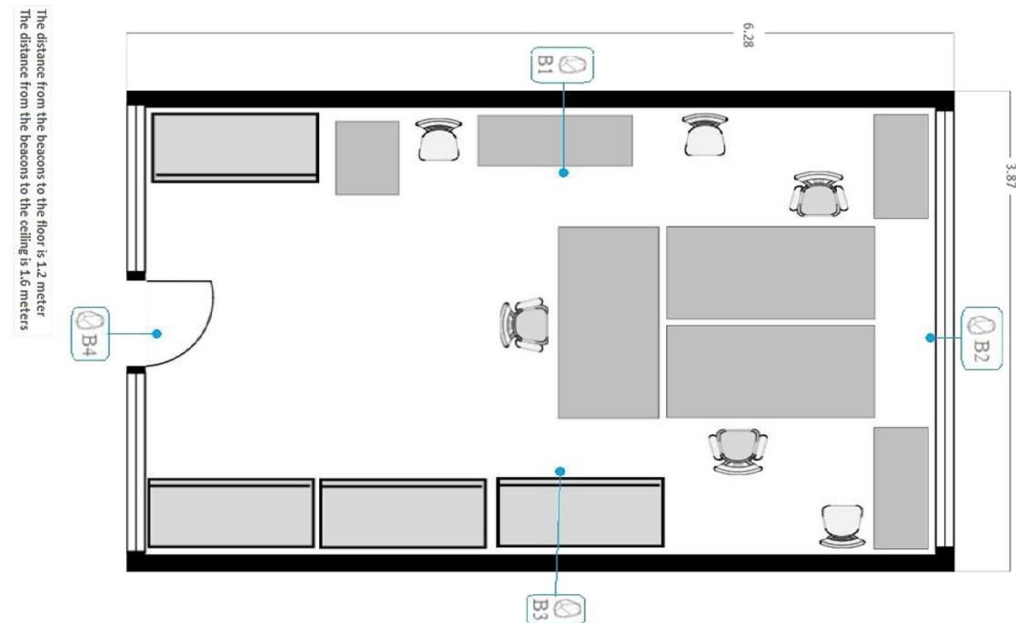
	0 m	0.5 m	1 m	1.5 m	2 m	2.5 m	3 m
0°	-	-71	-76	-81	-88	-94	-96
90°	-	-73	-75	-80	-90	-93	-96
180°	-	-71	-78	-82	-89	-92	-97
270°	-	-70	-77	-82	-91	-93	-96

Pengukuran Posisi dalam Ruangan

Tujuan utama dari eksperimen ini adalah untuk mengukur kekuatan sinyal dari *Bluetooth beacon* dan efek perubahannya. Selain itu eksperimen ini bertujuan untuk mengklarifikasi beberapa pertanyaan berikut:

- Jenis algoritma *indoor positioning* apa yang cocok untuk jenis kamar yang seperti apa?
- Berapa jumlah minimum BLE *beacon* yang harus digunakan berdasarkan jenis algoritma?
- Tempat optimal yang seperti apa untuk melakukan pemasangan *beacon* agar dapat meminimalkan dampak hambatan?

Pada eksperimen ini, percobaan dilakukan di berbagai area dalam ruangan. Salah satu gambar dari kamar yang diuji dapat dilihat pada gambar dibawah. Digunakan empat *beacon* untuk menguji algoritma. Ada kemungkinan untuk memasang empat *beacon* atau lebih. *Beacon* dipasang di masing-masing dinding dan pada tingkat horisontal yang sama. Smartphone diposisikan di bidang yang sama dengan *beacon* dalam percobaan



Representasi skematis ruangan untuk menguji algoritma

Pengukuran Posisi dalam Ruangan

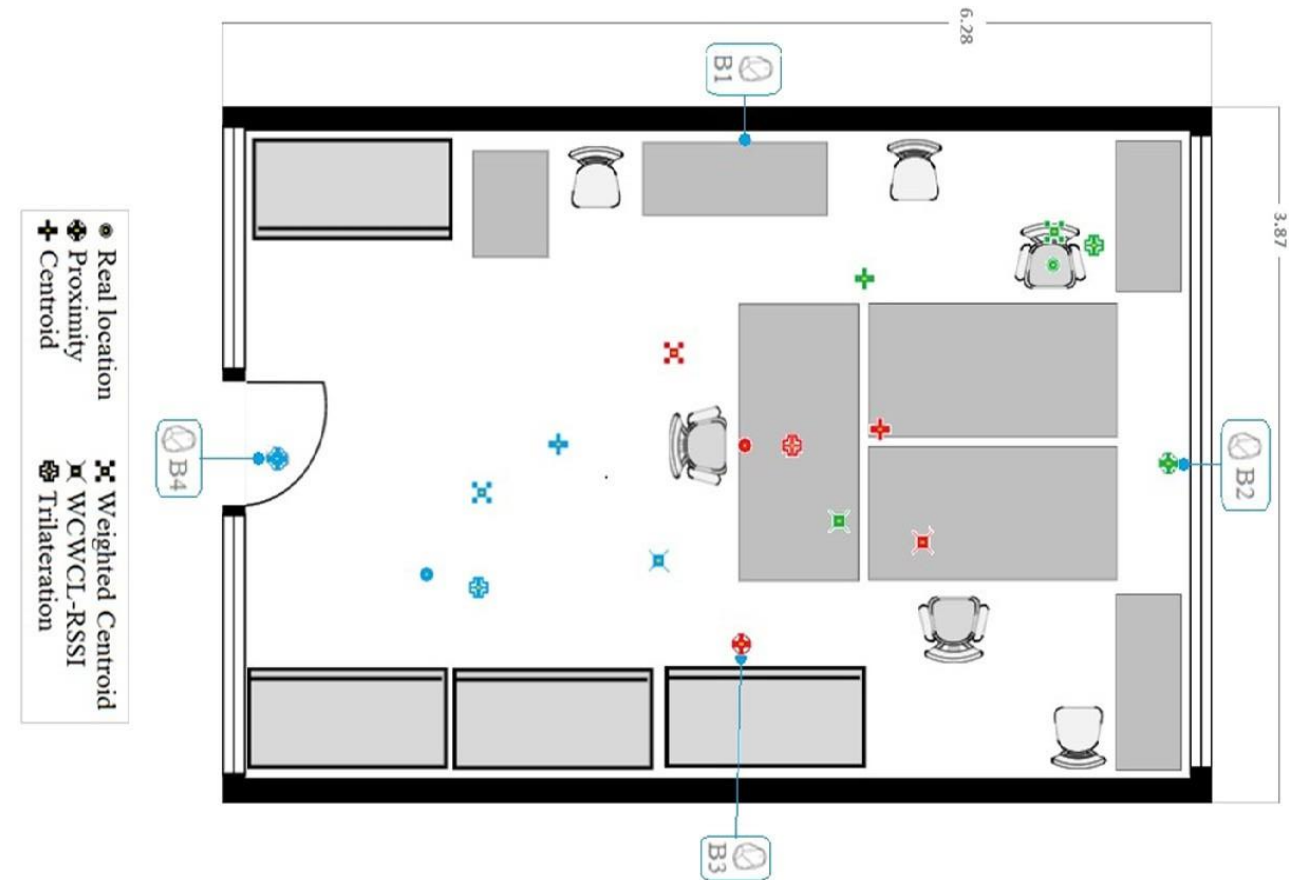
Parameter konfigurasi BLE beacon adalah sebagai berikut: Transmit power (Tx) = 4 dBm, dan Advertising Interval = 200 ms. Beacon dipasang sesuai dengan gambar diatas. Kemudian mengatur koordinat yang sesuai dalam sistem koordinat Cartesian dibawah

Beacons	Coordinates (in meters)
B1	(0.00, 3.14)
B2	(1.93, 6.28)
B3	(3.87, 3.14)
B4	(1.93, 0.00)

Poin-poin ini tersebut akan dibagi ke tiga kelompok seperti pada tabel dibawah

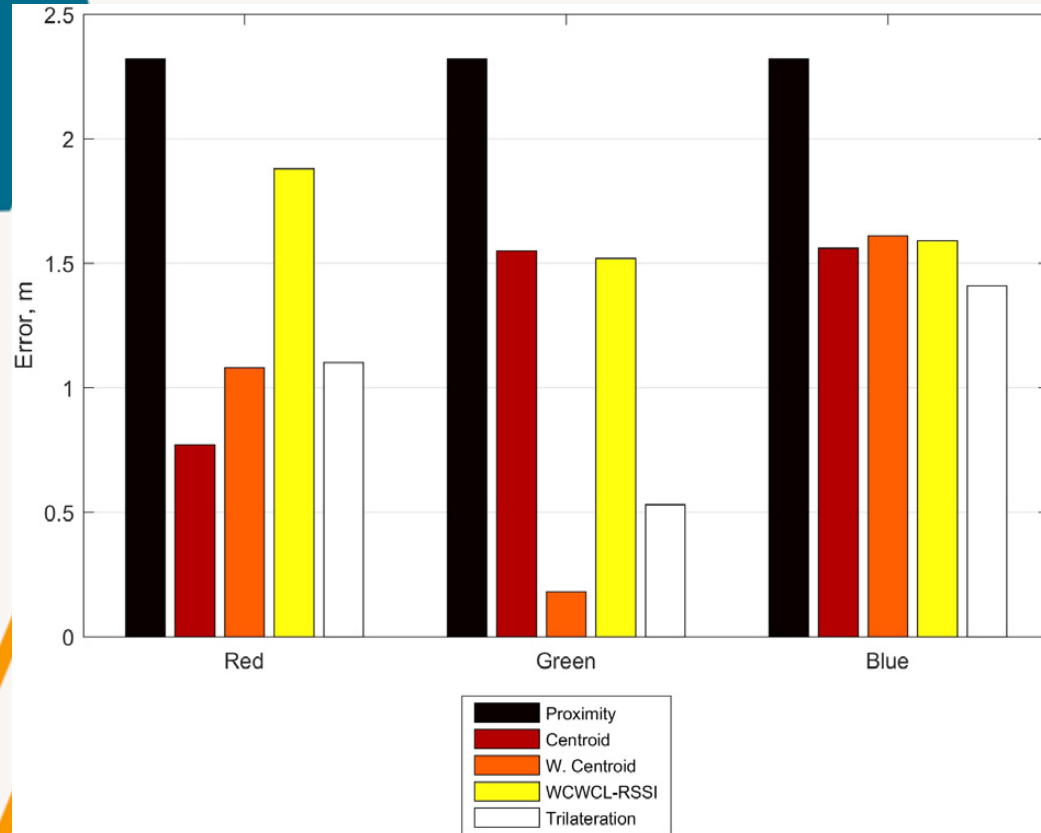
Name of beacon groups	Real location coordinates (in meters)
Red	(1.93,3.14)
Green	(0.88, 5.20)
Blue	(0.88, 5.20)

Hasil dari algoritma *indoor localization* dapat dilihat pada gambar berikut:

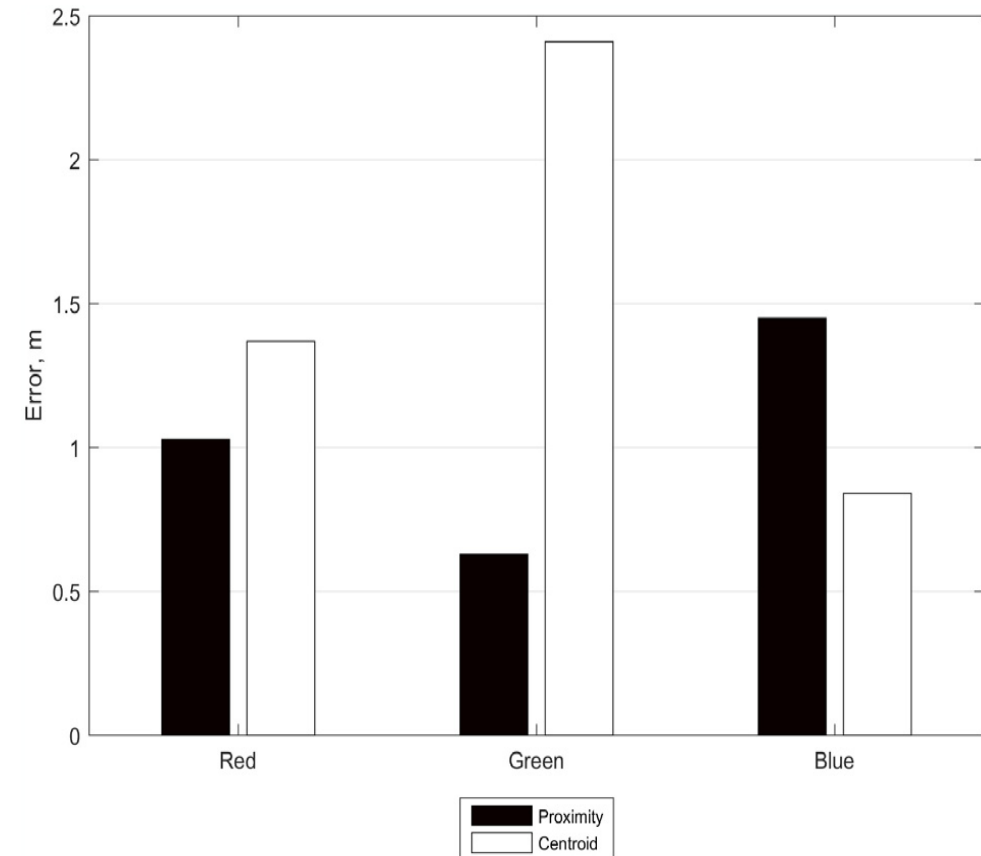


Pengukuran Posisi dalam Ruangan

Sedangkan gambar dibawah menunjukkan kesalahan perhitungan untuk setiap algoritma dalam meter untuk tiga beacon

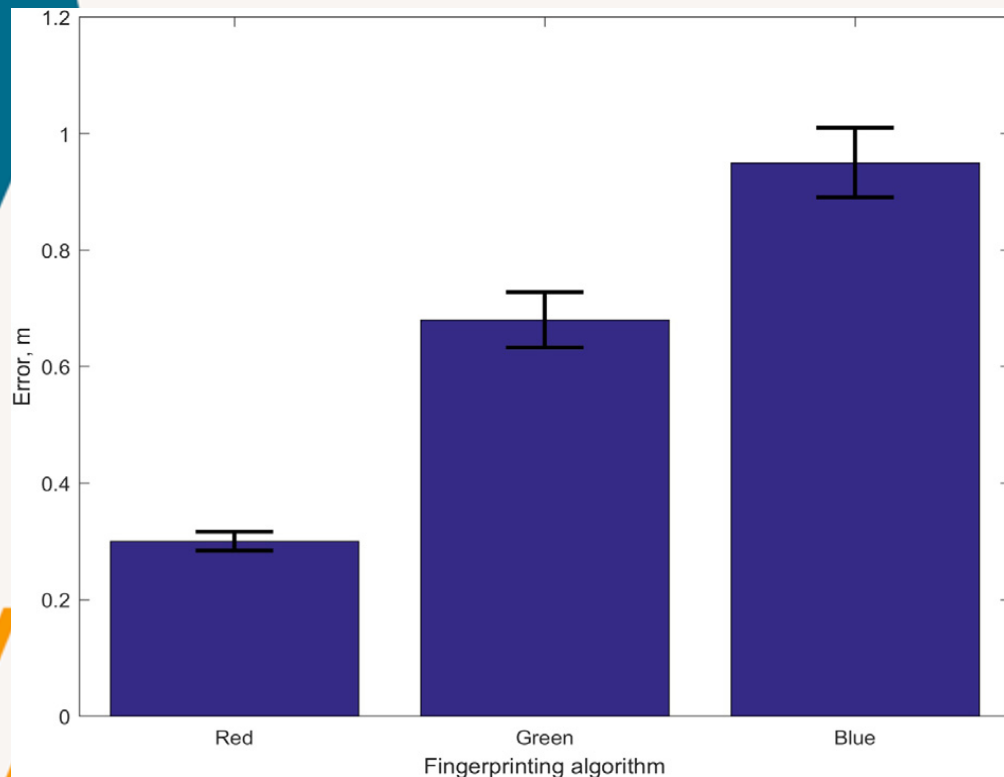


Gambar dibawah menunjukkan kesalahan perhitungan dalam meter menggunakan empat beacon

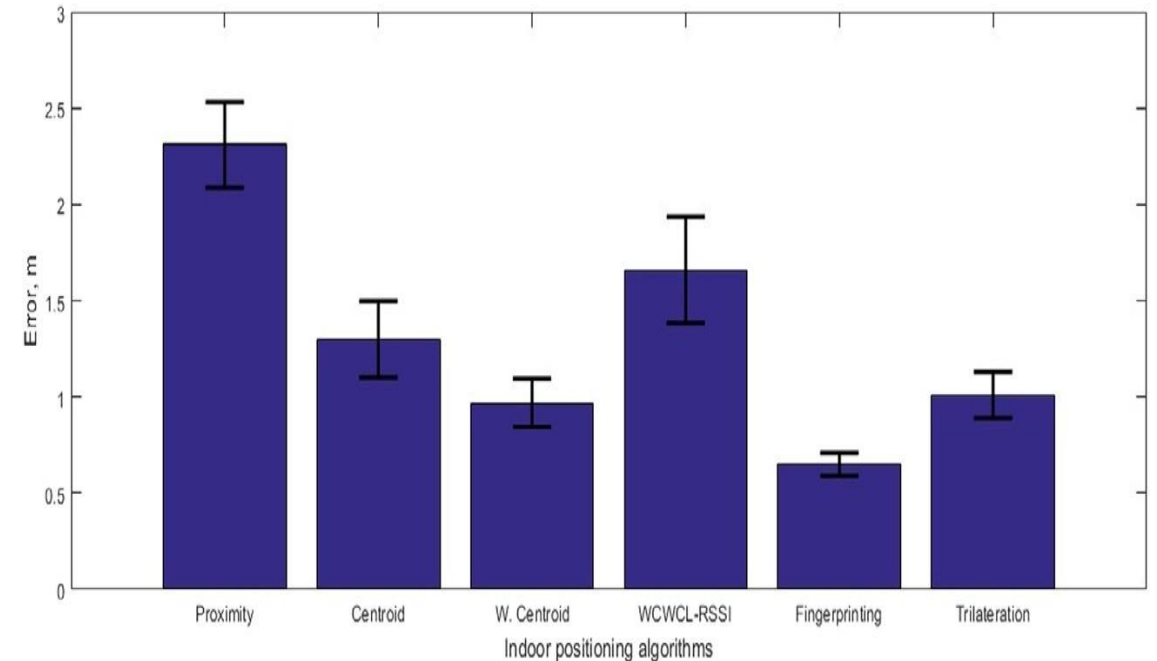


Pengukuran Posisi dalam Ruangan

Gambar dibawah menunjukkan kesalahan perhitungan dalam meter untuk fingerprinting algoritim.



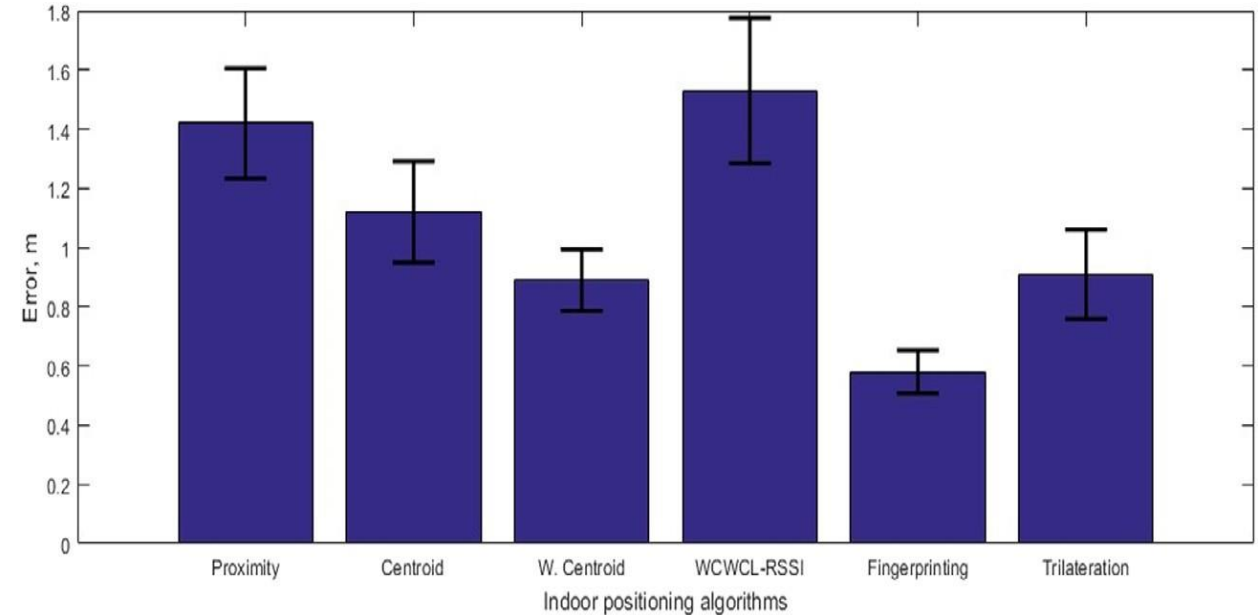
Sedangkan hasil dari eksperimen dapat dilihat pada gambar dibawah.



Durasi pengujian yang dilakukan adalah 5 menit untuk setiap algoritma dan nilai rata-rata kesalahan untuk setiap algoritma telah dicatat. *Fingerprinting algoritim* menunjukkan akurasi tertinggi dalam menentukan lokasi indoor, dnegan nilai kesalahan 0,65 m. Sedangkan *Proximity algorithm* menunjukkan hasil terburuk dengan nilai kesalahan 2,5 m

Pengukuran Posisi dalam Ruangan

Hasil dari algoritma ini dapat ditingkatkan dengan mengurangi parameter k (jumlah tetangga) dalam algoritma k -NN, kesalahan meningkat karena fakta bawa jarak dari beacon yang memiliki kekuatan sinyal terbesar tidak diperhitungkan. Algoritma ini juga telah menunjukkan hasil yang baik tidak hanya di ruangan, tetapi juga di koridor gedung kantor. Mempertimbangkan spesifikasi, algoritma tidak boleh mengurangi jumlah beacon yang diperlukan. Jika tidak, hal tersebut dapat menyebabkan kesalahan dalam perkiraan. Selama percobaan, beacon dipasang di dinding maupun di langit-langit. Hasil dalam kedua kasus memuaskan, karena kesalahannya kurang dari 1 m. Gambar berikut menyajikan hasil percobaan yang dilakukan di koridor gedung. Eksperimen yang dilakukan di koridor juga menunjukkan hasil terbaik saat menggunakan fingerprinting algorithm. Meskipun algoritma Weighted Centroid dan Trilateration juga telah menunjukkan hasil yang baik



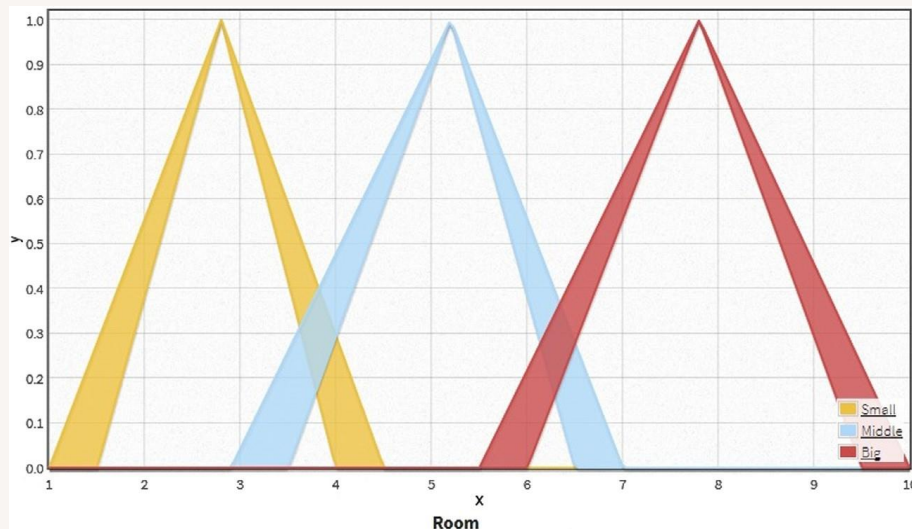
Peningkatan jumlah beacon tidak mempengaruhi keakuratan penentuan posisi di ruang eksperimen, berbeda dengan koridor. Mungkin alasannya adalah bahwa sinyal dari beacon belum sepenuhnya menutupi ruangan. Oleh karena itu peningkatan jumlah beacon akan membuat sedikit peningkatan keakuratan penentuan posisi.

Pengukuran posisi dalam ruangan menggunakan seleksi fuzzy

Sistem logika fuzzy dapat diadopsi untuk mengatasi permasalahan ambiguitas dan ketidakpastian kondisi ketika *BLE beacon* digunakan. Logika fuzzy akan digunakan sebagai mekanisme untuk memilih salah satu algoritma *indoor positioning* berdasarkan karakteristik berikut:

- Ukuran ruangan
- Kekuatan sinyal dari *beacons* (RSSI)
- Jumlah *beacon* yang tersedia

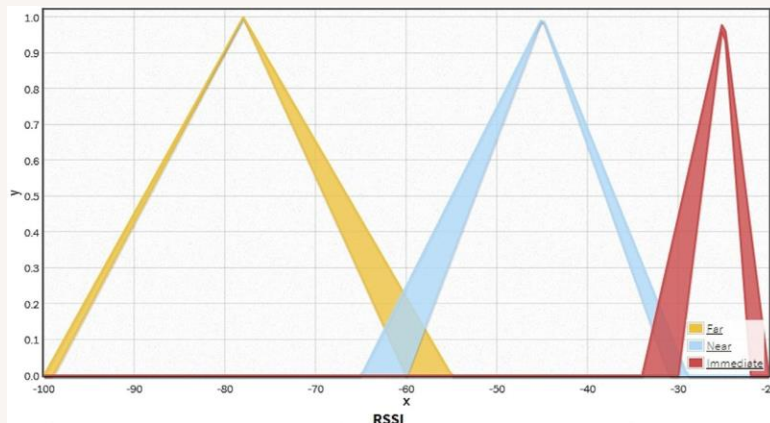
Nilai fuzzy untuk ukuran ruangan (kecil, menengah, besar) dapat dilihat pada tabel dan gambar dibawah



Room size	UMF	LMF
Small	4.0 – 18.0	6.0 – 16.0
Middle	12.0 – 28.0	14.0 – 26.0
Big	22.0 – 40.0	24.0 – 38.0

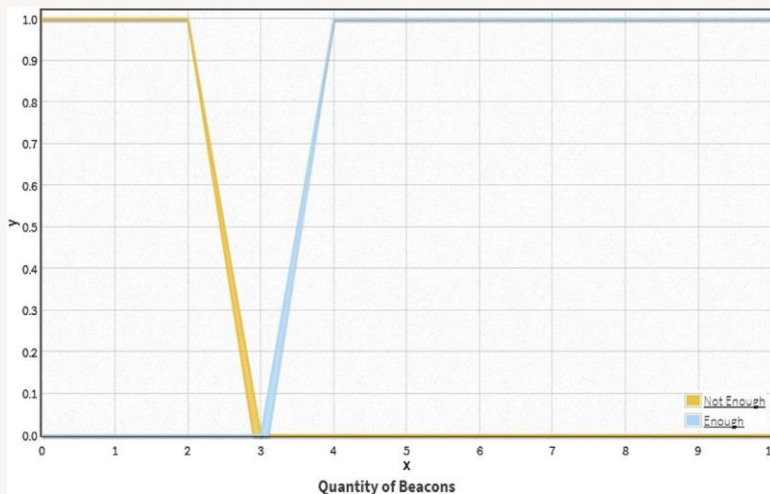
Pengukuran posisi dalam ruangan menggunakan seleksi fuzzy

Untuk kekuatan sinyal RSSI (jauh, dekat, langsung) dapat dilihat pada tabel dan gambar dibawah



RSSI value	UMF	LMF
Far	-100 to -55	-98 to -60
Near	-65 to -28	-60 to -30
Immediate	-35 to -20	-30 to -22

Sedangkan untuk jumlah *beacon* yang tersedia (tidak cukup, cukup) dapat dilihat pada tabel dan gambar dibawah



Number of beacons	UMF	LMF
Enough	0-0-2-3	0-0-2-3
Not enough	3-4-10-10	3-4-10-10

Pengukuran posisi dalam ruangan menggunakan seleksi fuzzy

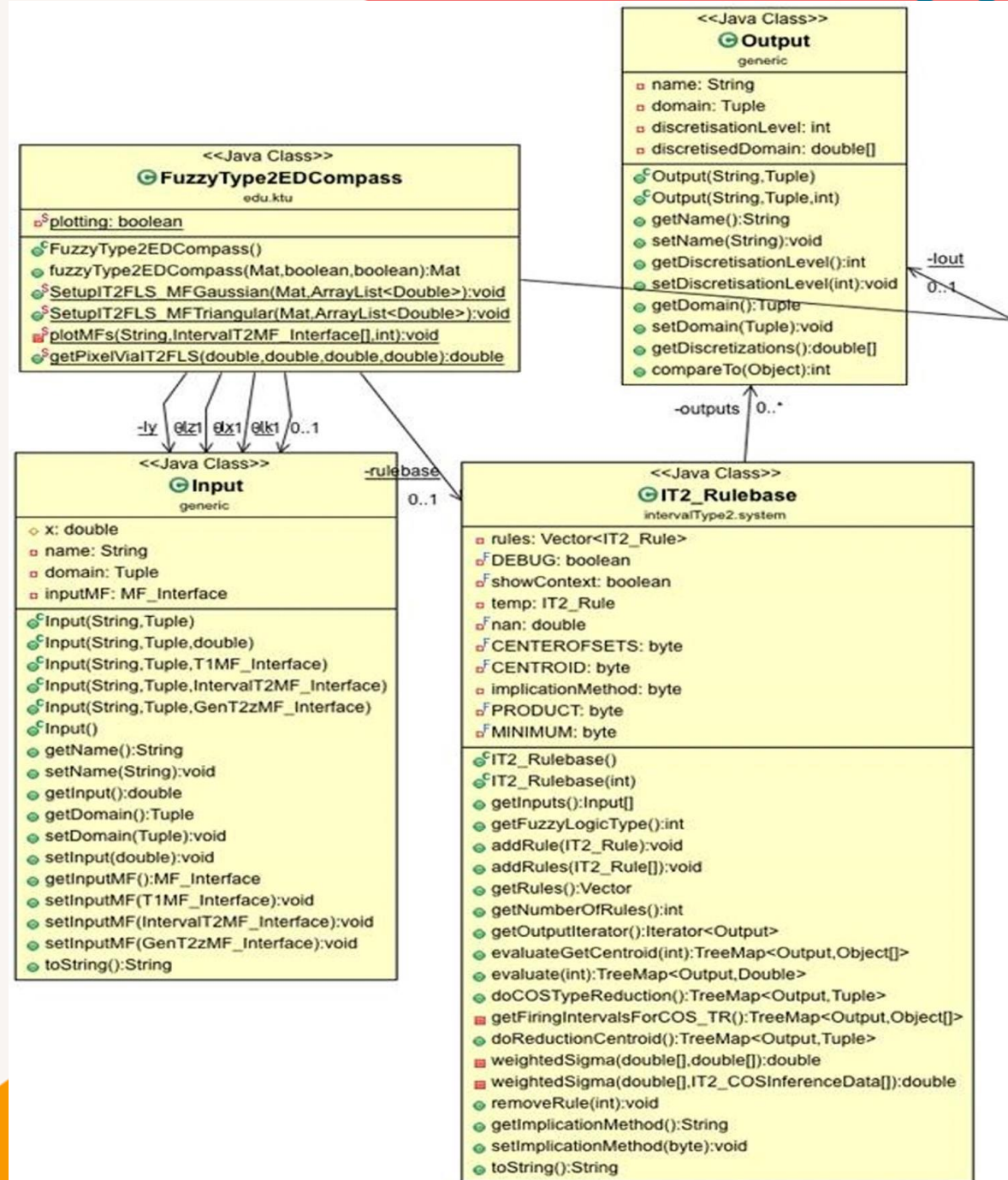
Fuzzifier memiliki fungsi keanggotaan Gaussian untuk output berikut dengan parameter:

- Kedekatan (proximity)
- Lokalisasi Centroid (Centroid Localization)
- Weighted Centroid
- Weight-Compensated Weighted Centroid
- Trilateration
- Fingerprinting

Untuk memilih algoritma yang paling cocok untuk indoor localization maka serangkaian aturan fuzzy berikut diterapkan

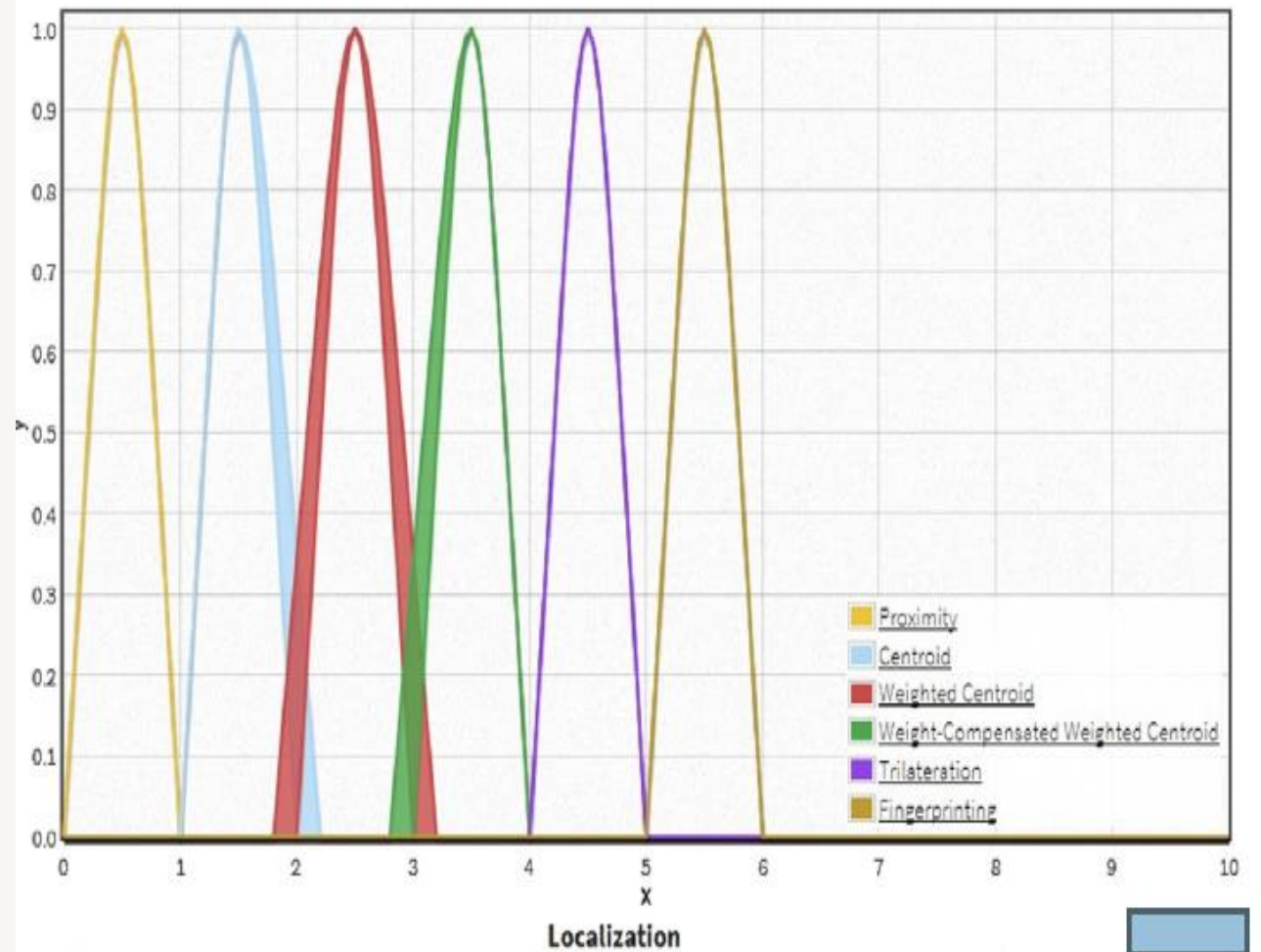
✂ 1. If Room is Small and Quantity of Beacons is Not Enough and RSSI is Far then Localization is Proximity
✂ 2. If Room is Small and Quantity of Beacons is Not Enough and RSSI is Near then Localization is Proximity
✂ 3. If Room is Small and Quantity of Beacons is Not Enough and RSSI is Immediate then Localization is Proximity
✂ 4. If Room is Middle and Quantity of Beacons is Not Enough and RSSI is Far then Localization is Proximity
✂ 5. If Room is Middle and Quantity of Beacons is Not Enough and RSSI is Near then Localization is Proximity
✂ 6. If Room is Middle and Quantity of Beacons is Not Enough and RSSI is Immediate then Localization is Proximity
✂ 7. If Room is Big and Quantity of Beacons is Not Enough and RSSI is Far then Localization is Proximity
✂ 8. If Room is Big and Quantity of Beacons is Not Enough and RSSI is Near then Localization is Proximity
✂ 9. If Room is Big and Quantity of Beacons is Not Enough and RSSI is Immediate then Localization is Proximity
✂ 10. If Room is Small and Quantity of Beacons is Enough and RSSI is Far then Localization is Centroid
✂ 11. If Room is Small and Quantity of Beacons is Enough and RSSI is Near then Localization is Weighted Centroid
✂ 12. If Room is Small and Quantity of Beacons is Enough and RSSI is Immediate then Localization is Weighted Centroid
✂ 13. If Room is Middle and Quantity of Beacons is Enough and RSSI is Far then Localization is Centroid
✂ 14. If Room is Middle and Quantity of Beacons is Enough and RSSI is Near then Localization is Trilateration
✂ 15. If Room is Middle and Quantity of Beacons is Enough and RSSI is Immediate then Localization is Weight-Compensated Weighted Centroid
✂ 16. If Room is Big and Quantity of Beacons is Enough and RSSI is Far then Localization is Fingerprinting
✂ 17. If Room is Big and Quantity of Beacons is Enough and RSSI is Near then Localization is Trilateration
✂ 18. If Room is Big and Quantity of Beacons is Enough and RSSI is Immediate then Localization is Trilateration

Implementasi fuzzy disajikan menggunakan model Unified Modeling Language (UML) pada gambar berikut. Kelas utama adalah fuzzyType2EDCompass. Untuk mengatur fuzzy, akan digunakan fungsi SetupIT2FLS_MFGaussian dan SetupIT2FLS_MFTriangular. Dalam fungsi-fungsi ini, kelas Input dipanggil untuk membuat parameter input. Ada dua fungsi aksesori (UMF dan LMF), masing-masing Gaussian, dan triangular, untuk masing-masing metode ini. Selanjutnya, kelas IT2_Antecedent dan IT2_Consequent diinisiasi untuk komunikasi antara parameter input dan fungsi akses. Kemudian memulai kelas IT2_Rulebase dan membuat aturan fuzzy. Fungsi plotMF mendefinisikan dan menghasilkan hasilnya, yang kemudian diteruskan untuk memilih algoritma indoor positioning yang paling tepat.



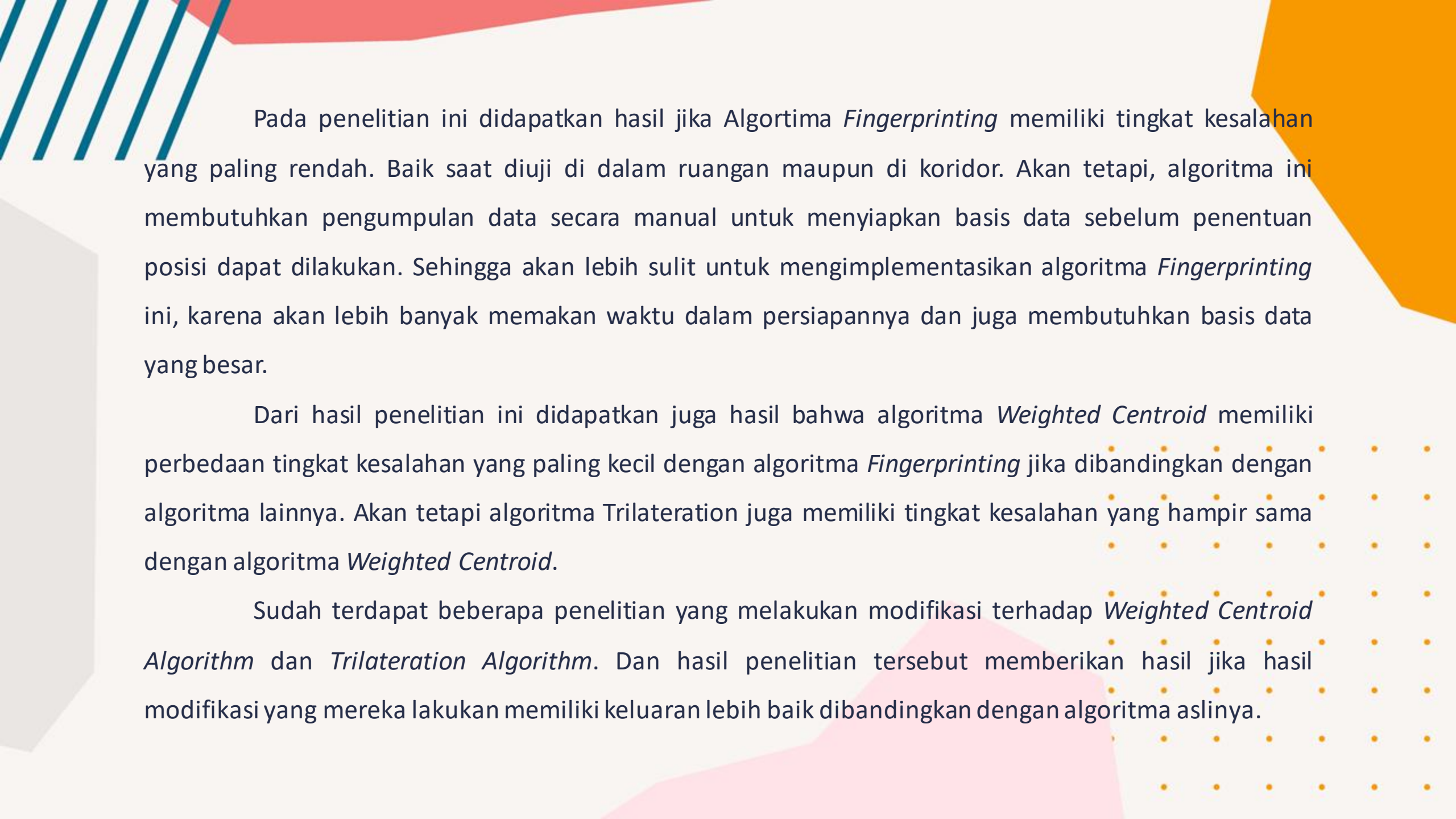
Pengukuran posisi dalam ruangan menggunakan seleksi fuzzy

- Hasil dari algoritma fuzzy adalah variabel
- untuk pemilihan algoritma indoor positioning





Usulan Penelitian



Pada penelitian ini didapatkan hasil jika *Algortima Fingerprinting* memiliki tingkat kesalahan yang paling rendah. Baik saat diuji di dalam ruangan maupun di koridor. Akan tetapi, algoritma ini membutuhkan pengumpulan data secara manual untuk menyiapkan basis data sebelum penentuan posisi dapat dilakukan. Sehingga akan lebih sulit untuk mengimplementasikan algoritma *Fingerprinting* ini, karena akan lebih banyak memakan waktu dalam persiapannya dan juga membutuhkan basis data yang besar.

Dari hasil penelitian ini didapatkan juga hasil bahwa algoritma *Weighted Centroid* memiliki perbedaan tingkat kesalahan yang paling kecil dengan algoritma *Fingerprinting* jika dibandingkan dengan algoritma lainnya. Akan tetapi algoritma Trilateration juga memiliki tingkat kesalahan yang hampir sama dengan algoritma *Weighted Centroid*.

Sudah terdapat beberapa penelitian yang melakukan modifikasi terhadap *Weighted Centroid Algorithm* dan *Trilateration Algorithm*. Dan hasil penelitian tersebut memberikan hasil jika hasil modifikasi yang mereka lakukan memiliki keluaran lebih baik dibandingkan dengan algoritma aslinya.

Sehingga usulan pengembangan penelitian yang mungkin dilakukan adalah :

1. Melakukan modifikasi sendiri terhadap algoritma *Weighted Centroid* yang memiliki perbedaan tingkat error paling sedikit dengan algoritma *Fingerprinting*. Yang mungkin dilakukan untuk melakukan modifikasi pada algoritma ini adalah memperbaiki sistem pembobotannya agar dapat mengurangi ketergantungannya terhadap jumlah *beacon* yang tersedia secara bersamaan untuk agen.
2. Mengimplementasikan hasil modifikasi algoritma *Weighted Centroid* dan/atau algoritma *Trilateration*, kemudian dibandingkan kembali dengan hasil penelitian ini.

Jika hasil akhir yang didapatkan adalah hasil modifikasi algoritma *Weighted Centroid* atau algoritma *Trilateration* memiliki tingkat kesalahan lebih rendah dibandingkan algoritma *Fingerprinting* maka akan didapatkan beberapa keuntungan, yaitu mudah untuk diimplementasikan, kompleksitas komputasi yang rendah dan hanya perlu mengetahui lokasi *beacon*.

