

Nama : Ivanda Zevi Amalia
NRP : 05111640000041
Judul Paper : Smartphone based intelligent indoor positioning using fuzzy logic
Pengarang : F. Orujov, R. Maskeliunas , R. Damaševičius, Wei Wei, Ye Li
Penerbit Publikasi dan Tahun : Future Generation Computer Systems (2018)

1 Buatlah Summary dari Paper tersebut dalam bentuk abstrak penelitian (versi saudara)

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

2 Latar Belakang (Review Paper) (2 Lembar (Min)) / Background (2 pages minimum)

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. PBB melaporkan bahwa sekitar 15% dari populasi global memiliki beberapa bentuk kecacatan. 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 *indoor location* tradisional yang dirancang khusus memungkinkan untuk mendapatkan akurasi lokasi yang tinggi, akan tetapi juga membutuhkan biaya yang tinggi. Tantangan utama dalam penggunaan Wi-Fi untuk melakukan *indoor positioning* adalah adanya perubahan posisi titik akses (AP), perangkat lain yang bekerja pada pita sinyal yang

sama, variasi lalu lintas internet, ketersediaan sinyal dan efek propagasi, variabilitas dan *noise* dari kekuatan sinyal yang diterima. Solusi yang melibatkan RGB-D dari platform kinect yang dikombinasikan dengan *Wi-Fi-based Positioning Systems* (WPSs) dapat melacak seseorang di dalam ruangan, akan tetapi membutuhkan perangkat lunak dalam jumlah besar untuk menghindari oklusi. Solusi lain seperti berbasis pada sensor ultrasonik memiliki presisi rendah karena gangguan *noise*. *Smartphone* dengan tambahan sensor internal dan eksternal (*Beacon*) sering berjalan pada protokol *Bluetooth Low Energy*, atau Wi-Fi akan memungkinkan untuk melakukan hal ini dengan biaya terjangkau dan dengan tingkat kesalahan yang dapat diterima. Teknologi BLE ini muncul sebagai salah satu pilihan utama di lapangan, karena dapat melakukan penempatan yang baik, memungkinkan untuk menyediakan layanan tambahan, memastikan konsumsi daya yang rendah dan biaya yang wajar.

Pemanfaatan sensor internal ponsel memungkinkan untuk mendapatkan lokalisasi dalam ruangan yang efektif, memoderasi drift dalam estimasi data dengan menggunakan filter partikel, sebagai tambahan untuk *Kalman filter*, *extended Kalman filter* dan *Least Square-Support Vector Machines* (LS-SVM) untuk mendeteksi keadaan gerakan dalam ruang. Penggabungan pengukuran sensor *smartphone* dengan sinyal nirkabel dapat memberikan keandalan dan ketahanan untuk berbagai skenario penentuan posisi.

Karena lokalisasi dalam ruangan harus berurusan dengan sinyal Wi-Fi atau bluetooth yang memiliki banyak *noise* dan tidak pasti, pendekatan berbasis logika fuzzy sering digunakan untuk mengatasi ketidakpastian pengukuran posisi. Metode seperti *formal concept analysis*, *symbolic signatures*, *vector quantization*, atau *c-means clustering* dapat digunakan untuk mengatasi ketidakpastian, data yang tidak tepat, atau informasi yang tidak lengkap.

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.
 - Apa efek dari jarak antara perangkat seluler dengan *beacon* pada kekuatan sinyal?
 - 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.

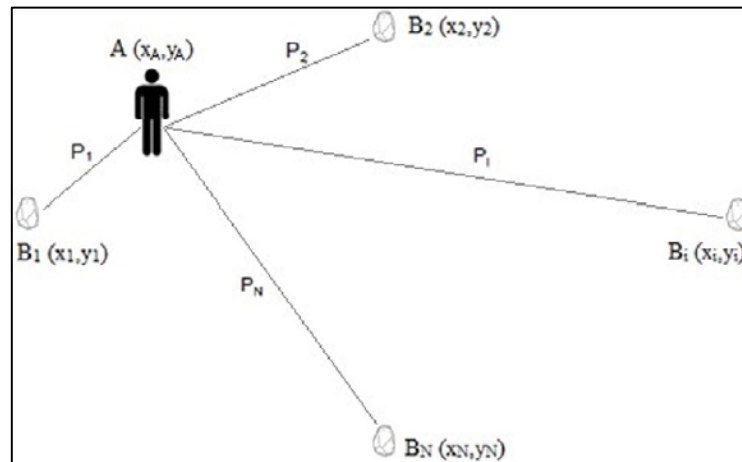
Penelitian sebelumnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

R. Ma, Q. Guo, C. Hu, J. Xue, An improved wifi indoor positioning algorithm by weighted fusion, <i>Sensors</i> 15 (2015) 21824–21843.	[31] Ma et al, menggunakan jarak Euclidian yang ditingkatkan dan probabilitas gabungan untuk menghitung hasil tengah dari beberapa sidik jari, dan kemudian menerapkan <i>weighted fusion</i> untuk menghitung nilai akhir dengan menggunakan pembobotan dari jarak Euclidean dengan variannya.
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, <i>Sensors</i> 15 (1) (2015) 715–732. http://dx.doi.org/10.3390/s150100715 .	[32] Chen et al, mengusulkan metode lokalisasi berbasis <i>smartphone</i> berdasarkan masalah fusi sensor, akan tetapi memilih menggunakan <i>Kalman filter</i> dibandingkan dengan <i>particle filter</i> .
K. Liu, Guoguo: Enabling fine-grained indoor localization via smartphone, in: <i>MobiSys '13 Proceeding of the 11th annual international conference on Mobile systems, applications, and service</i> , 2013, pp. 235–248.	[33] Liu, menawarkan metode serupa pada <i>fine graining of features</i> .
W. Kang, Smartpdr: Smartphone-based pedestrian dead reckoning or indoor localization, <i>IEEE Sens. J.</i> 15 (5) (2015) 2906–2916.	[34] Implementasi praktis biasanya memiliki kesalahan lokalisasi bawaan yang dimiliki oleh sensor berbiaya rendah dan kompleksitas gerakan manusia dalam dunia nyata.
M.O. Gani, C. OBrien, S.I. Ahamed, R.O. Smith, Rssi based indoor localization for smartphone using fixed and mobile wireless node, in: <i>2013 IEEE 37th Annual Computer Software and Applications Conference, COMPSAC</i> , 2013, pp. 110–117.	[35] Akan tetapi, dengan menggunakan model estimasi lokasi, kesalahan tersebut dapat dikurangi menjadi sekitar 2 m.
M. Werner, M. Kessel, C. Marouane, Indoor positioning using smartphone camera, in: <i>International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, IPIN</i> , 2011, pp. 1–6.	[36] Kamera dan pengolahan gambar dapat juga digunakan dengan melakukan kombinasi antara sistem pengenalan gambar dengan algoritma estimasi jarak
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: <i>37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC</i> , 2015, pp. 4970–4973, http://dx.doi.org/10.1109/embc.2015.7319507 .	[37] Lin et al, menggunakan <i>proximity localization</i> terlebih dahulu untuk membagi ruangan menjadi beberapa area. Metode yang diusulkan menggunakan penyaringan <i>Receiver Signal Strength Indication</i> (RSSI) berbasis waktu untuk menemukan <i>beacon</i> terdekat.
M.E. Rida, F. Liu, Y. Jadi, A.A. Algawhari, A. Askourih, Indoor location position based on bluetooth signal strength, in: <i>2nd International Conference on Information Science and Control Engineering</i> , 2015, http://dx.doi.org/10.1109/icisce.2015.177 .	[38] Er Rida et al, menggunakan <i>trilateration localization</i> untuk menentukan lokasi. Mereka menyarankan untuk memasang <i>beacon</i> pada langit-langit sebagai sebuah <i>grid</i> .
W. Zhu, S. Kim, J. Hong, C. Kim, Analysis of indoor positioning based on BLE, in: <i>ACIIDS</i>	[39] Zhu et al, menggunakan metode fusi trilateration dan centroid. Mereka

2017, <i>Studies in Computational Intelligence</i> , vol. 710, 2017, pp. 421–430.	menyarankan untuk membangun <i>beacon</i> sebagai segitiga sama sisi.
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 .	[40] Bai et al, menggunakan lokalisasi sidik jari untuk menentukan lokasi dalam ruangan, menyarankan untuk digunakan dengan data RSSI dari Wi-Fi dan Bluetooth.
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 .	[41] Ma et al, menawarkan metode sidik jari berbasis peringkat RSSI yang menggunakan <i>Kendall Tau Correlation Coefficient</i> (KTCC) untuk mengkorelasikan posisi sinyal batu dengan peringkat kekuatan sinyal beberapa perangkat <i>iBeacon</i> .
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, <i>Sensors</i> 16 (268) (2016).	[42] Zou et al, mengusulkan skema <i>BlueDetect</i> berbasis teknologi <i>iBeacon</i> untuk mendeteksi lokasi <i>indoor-outdoor</i> dan penyediaan layanan <i>location based services</i> (LBS) tanpa batas yang berjalan pada perangkat seluler Android. Skema ini didukung oleh Wi-Fi dan teknologi <i>Global Positioning System</i> (GPS) di lingkungan semi indoor.
I.H. Alshami, N.A. Ahmad, S. Sahibuddin, F. Firdaus, Adaptive indoor positioning model based on wlan-fingerprinting for dynamic and multi-floor environments, <i>Sensors</i> 17 (2017) 1789.	[43] Alshami et al, sidik jari WLAN yang diusulkan ditingkatkan dengan kepastian RSS, dan menggunakan klasifikasi <i>K-Nearest Neighbor</i> (KNN) dan <i>Artificial Neural Network</i> (ANN) untuk lingkungan dinamis dan multi-lantai yang memperhitungkan kehadiran orang.
L. Pei, M. Zhang, D. Zou, R. Chen, Y. Chen, A survey of crowd sensing opportunistic signals for indoor localization, <i>Mob. Inf. Syst.</i> 2016 (2016) 16. http://dx.doi.org/10.1155/2016/4041291	[44] Pei et al, mengusulkan pelatihan basis data sidik jari untuk pelokalan dalam ruangan reluler melalui <i>crowd sensing</i> .
H. Xu, Y. Ding, P. Liv R. Wang, Y. Li, An RFID Indoor Positioning algorithm based on Bayesian probability and K-nearest neighbor, <i>Sensors</i> 17 (2017) 1806.	[45] Xu et al, mengusulkan algoritma <i>Bayesian inference based KNN</i> (BKNN) untuk meningkatkan lokalisasi yang kuat untuk menandakan <i>signal multipath propagation</i> dan gangguan lingkungan.

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 keterbaruan metode yang cukup signifikan dalam hal *indoor positioning*.

3 Bagaimana Metodologi Penelitian Dilakukan (3 Lembar (min)) / Research methodology



Gambar 1. Model dari 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*.

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

1. *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 P_1 telah diterima dari B_1 , maka agen tersebut akan diberi koordinat *beacon* B_1 . 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.
2. *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:

$$\begin{cases} X_A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \\ Y_A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i \end{cases} \quad (1)$$

Pada formula (1), X_A, Y_A merupakan koordinat Cartesian agen. Sedangkan X_i, Y_i merupakan koordinat Cartesian *beacon* ke- i , dan N merupakan 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*.

3. *Weighted Centroid Algorithm*, merupakan pengembangan dari *Centroid Algorithm*. Koordinat agen dihitung sebagai kombinasi linear dari koordinat *beacons* berdasarkan daya sinyal sebagai *weight factor*.

$$\begin{cases} X_A = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot x_i}{\sum_{j=1}^N w_j} \\ Y_A = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot y_i}{\sum_{j=1}^N w_j} \end{cases} \quad w_i = \frac{1}{d_i^g} \quad (2)$$

Pada formula (2), X_A, Y_A merupakan koordinat Cartesian agen, X_i, Y_i merupakan koordinat Cartesian *beacon* ke- i , w_i merupakan karakteristik pembobotan (*weight*), d_i merupakan jarak antara agen dan *beacon* ke- i dan g ke tingkat yang menentukan kontribusi *beacon*. Dan N merupakan jumlah dari *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.

4. *Weighted-Compensated Weighted Centroid Localization* berdasarkan perhitungan RSSI (WCWCL-RSSI). 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:

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^N w_j} = \frac{\sqrt{\left(10^{\frac{p_i}{10}}\right)^g}}{\sum_{j=1}^N \sqrt{\left(10^{\frac{p_j}{10}}\right)^g}} \quad (3)$$

Pada formula (3), X_A, Y_A merupakan koordinat Cartesian agen, X_i, Y_i merupakan koordinat Cartesian *beacon* ke- i , w_i merupakan karakteristik pembobotan (*weight*), P_i merupakan RSS dari *beacon* ke- i , g merupakan derajat yang mendefinisikan kontribusi *beacon*, dan N merupakan jumlah *beacons*.

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

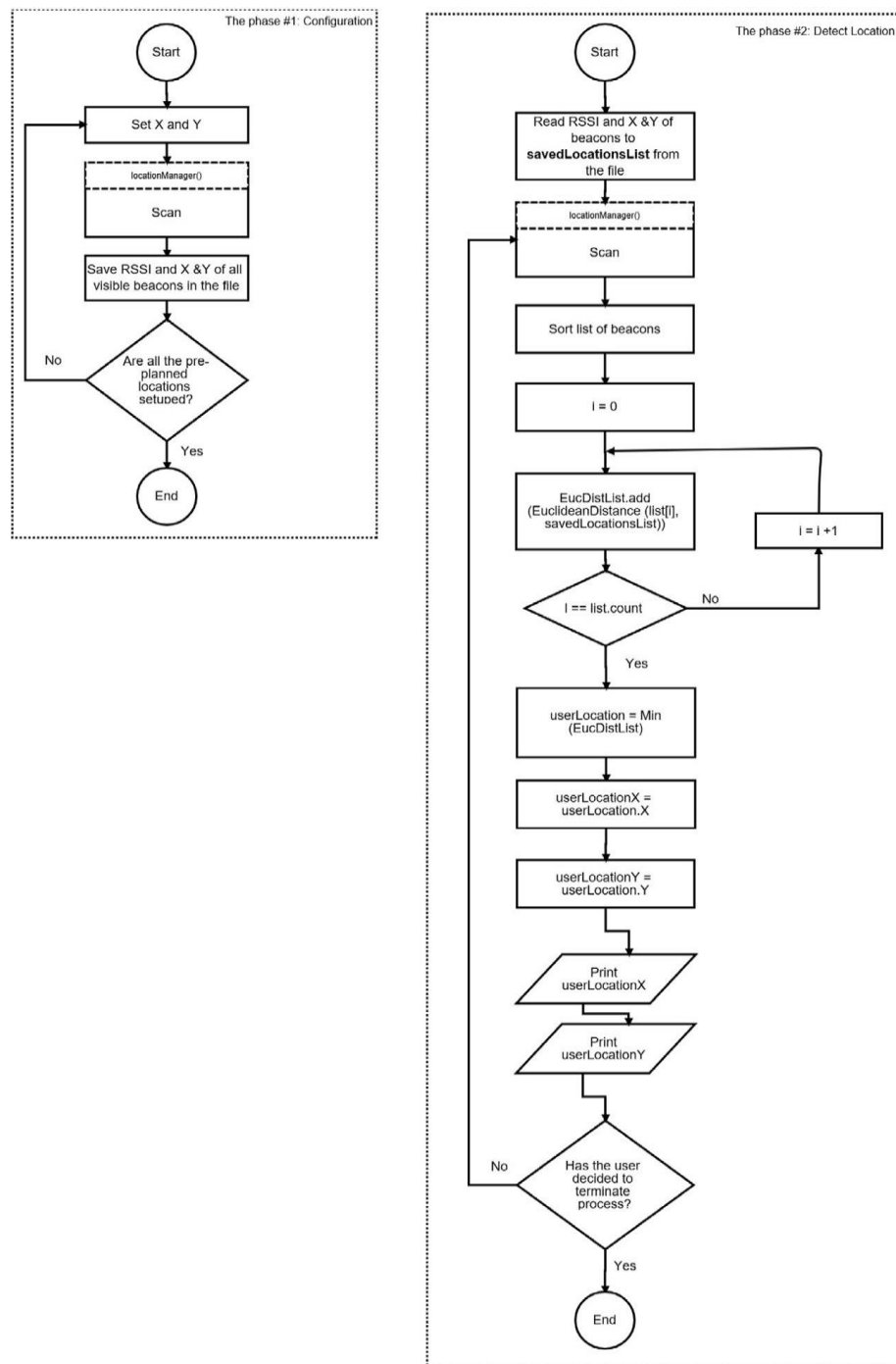
$$w'_i = w_i \cdot N^{2 \cdot w_i} \quad (4)$$

Pada formula (4), w_i merupakan karakteristik pembobotan (*weight*), P_i merupakan RSS dari *beacon* ke- i , dan g merupakan derajat yang mendefinisikan kontribusi *beacon*. Untuk penentuan posisi agen akan dihitung menggunakan formula:

$$\begin{cases} X_A = \sum_{i=1}^N W_i X_i \\ Y_A = \sum_{i=1}^N W_i Y_i \end{cases} \quad (5)$$

5. *The Trilateration Algoritim*, didasarkan pada perbandingan jarak dari tiga (3) *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.
6. *The Fingerprinting Algorithm* bisa dilihat pada Gambar 2, 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.



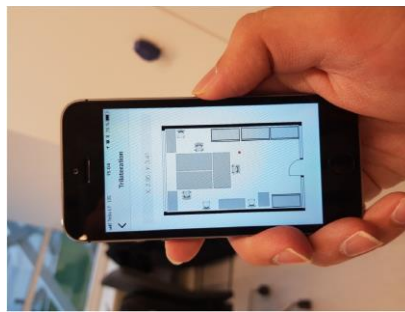
Gambar 2 Fingerprinting Algorithm

4 Bagaimana Ujicoba Dilakukan (3 Lembar (min)) / How the experiments are conducted

Pada penelitian ini dilakukan 3 eksperimen, antara lain:

1. 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. Apple iPhone 5 digunakan dalam pengembangan dan pengujian perangkat lunak dan dalam pelaksanaan percobaan seperti yang ada pada Gambar 3.



Gambar 3 Smartphone yang digunakan dalam eksperimen

Untuk transmisi sinyal, digunakan *Estimote beacon*. setidaknya terdapat empat *beacons* yang harus digunakan dalam percobaan. *Apple smartphones* dan tablet harus diperbarui ke iOS 7 atau versi yang lebih baru, karena teknologi iBeacon tersedia dari versi ke-7 dari sistem operasi. Konfigurasi *beacon* disimpan dalam RAM dan file sistem perangkat. Data disimpan dalam file sistem dalam bentuk teks dan menggunakan format *comma-separated values (CSV)*.

Untuk pengaturan eksperimental, pengujian dilakukan di berbagai area seperti ruang kantor (Gambar 4) 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.



Gambar 4 Foto salah satu ruangan untuk eksperimen

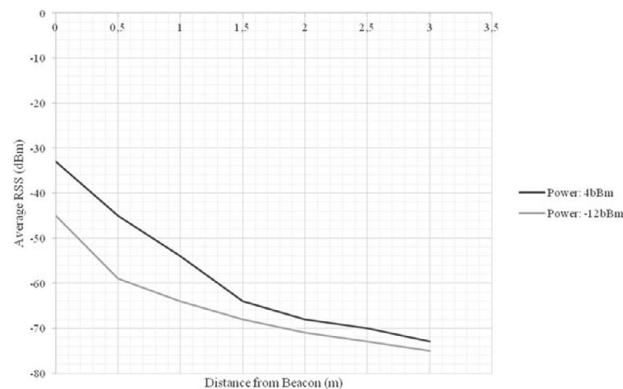
Sedangkan pada kalibrasi taksiran (*calibration of the estimates*), kekuatan sinyal yang ditransmisikan dari *Estimote beacon* diukur secara eksperimental menggunakan *Estimote beacon* dan pita pengukur non-logam dipasang pada permukaan plastik (Gambar 5). Dalam percobaan, digunakan *Proximity Location 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.



Gambar 5 Percobaan mengukur kekuatan sinyal Bluetooth beacon

Setelah menyelesaikan percobaan ini, diperoleh hasil sebagai berikut. Gambar 6 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)*

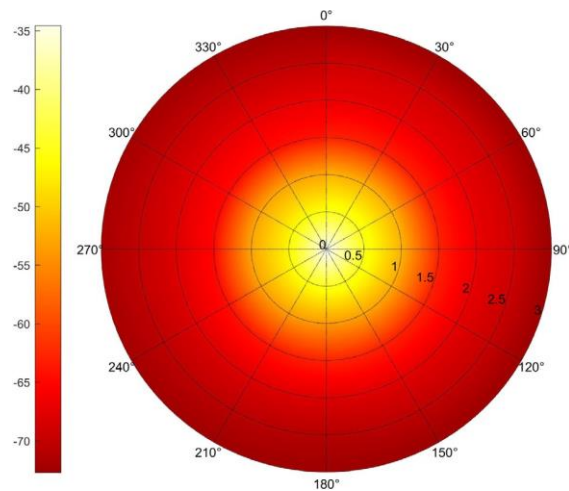


Gambar 6 Hubungan antara jarak dan kekuatan dari sinyal

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

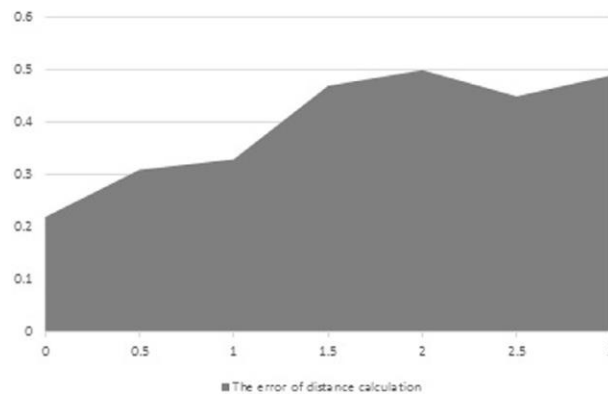
data akan hilang dan data menjadi tidak berguna. Pabrik memastikan bahwa *beacon* dapat menyiarkan sinyal dalam jarak 50 m dari pengaturan tertinggi mereka. Namun, percobaan telah membuktikan bahwa dalam kondisi nyata *beacon* hanya dapat menyiarkan sinyal dalam jarak 10 m.

Dalam percobaan rotasi, telah ditetapkan bahwa rotasi smartphone tidak mempengaruhi RSS yang ditunjukkan pada Gambar 7. Percobaan dilakukan dalam mode potrait dengan nilai tetap sumbu X dan Z, dan smartphone diputar pada 90°, 180° dan 270°. Pengukuran sinyal yang diambil dalam jarak hingga 3 m membuktikan bahwa rotasi smartphone tidak memiliki pengaruh yang nyata pada kekuatan sinyal.



Gambar 7 Rata-rata ketergantungan sinyal dari rotasi smartphone

Gambar 8 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).



Gambar 8 Hubungan antara jarak dan kekuatan sinyal

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. 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 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 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 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

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

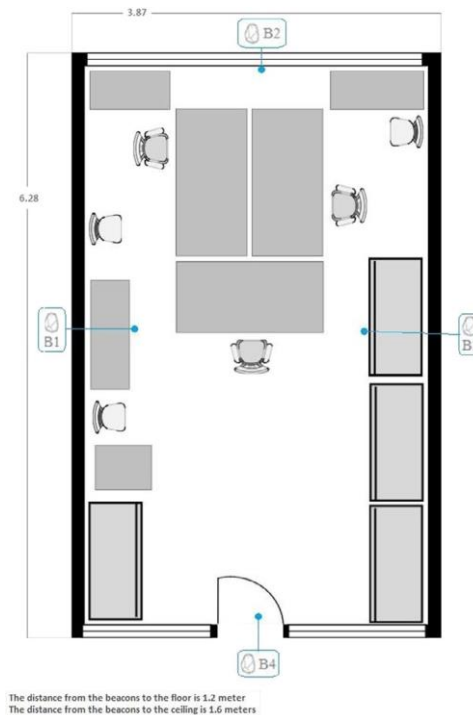
2. Pengukuran posisi dalam ruangan

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?

- c. 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 9. 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.



Gambar 9 Representasi skematis ruangan untuk menguji algoritma

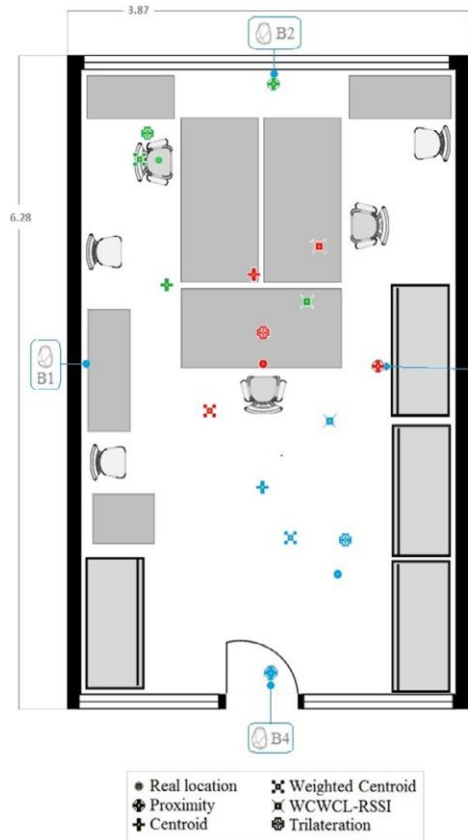
Dengan menggunakan perangkat lunak yang disediakan oleh pabrik, dapat ditetapkan daya maksimum dan sinyal frekuensi *beacon* berdasarkan hasil eksperimen sebelumnya. Parameter konfigurasi BLE *beacon* adalah sebagai berikut: *Transmit power* (T_x) = 4 dBm, dan *Advertising Interval* = 200 ms. *Beacon* dipasang sesuai dengan Gambar 9 dan mengatur koordinat yang sesuai dalam sistem koordinat Cartesian (Tabel 6). Poin-poin ini dibagi ke tiga kelompok seperti pada Tabel 7. Gambar 10 menunjukkan hasil dari algoritma *indoor localization*. Sedangkan Gambar 11 menunjukkan kesalahan perhitungan untuk setiap algoritma dalam meter untuk tiga *beacon*.

Tabel 6 Koordinat dari beacons

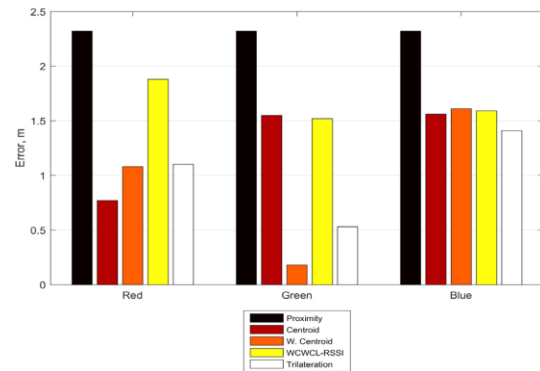
Beacons	Coordinates (in meters)
B1	(0.00, 3.14)
B2	(1.93, 6.28)
B3	(3.87, 3.14)
B4	(1.93, 0.00)

Tabel 7 Koordinat dari beacons groups

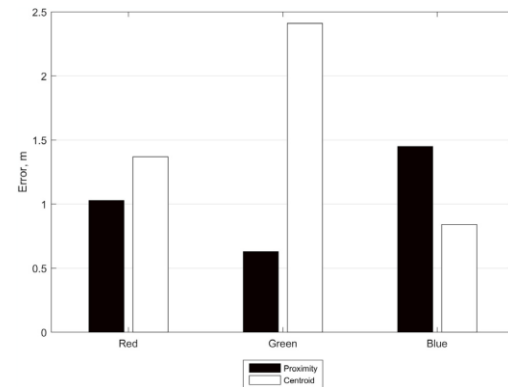
Name of beacon groups	Real location coordinates (in meters)
Red	(1.93,3.14)
Green	(0.88, 5.20)
Blue	(0.88, 5.20)



Gambar 10 Hasil dari algoritma



Gambar 11 Kesalahan perhitungan lokasi untuk tiga beacon

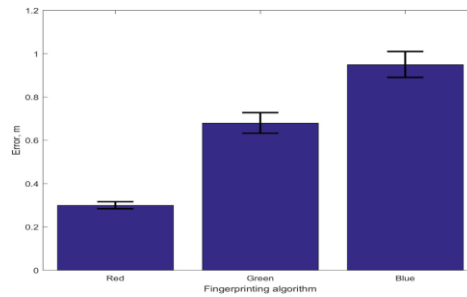


Gambar 12 Kesalahan perhitungan lokasi untuk 4 beacon

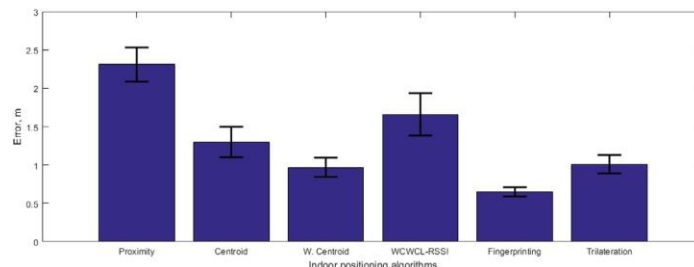
Tiga dari empat *beacon* terdekat telah digunakan dalam percobaan untuk *Weighted Centroid* dan *WCWCL-RSSI*. *Proximity Localization* menunjukkan nilai kesalahan tertinggi, yaitu 2,32 m. *Trilateration Localization* menunjukkan nilai kesalahan terkecil dengan nilai rata-rata 1 m. Gambar 12 menunjukkan kesalahan perhitungan dalam meter menggunakan empat *beacon*. Gambar 13 menunjukkan kesalahan perhitungan dalam meter untuk *fingerprinting algorithm*.

Setelah menyelesaikan eksperimen ini, hasilnya dijelaskan pada Gambar 14. Durasi pengujian yang dilakukan adalah 5 menit untuk setiap algoritma dan nilai rata-rata kesalahan untuk setiap algoritma telah dicatat. *Fingerprinting algorithm* menunjukkan akurasi tertinggi dalam menentukan lokasi indoor, dengan nilai kesalahan 0,65 m. Sedangkan *Proximity algorithm* menunjukkan hasil terburuk dengan nilai kesalahan 2,5 m. Hasil dari algoritma ini dapat ditingkatkan dengan mengurangi parameter *k* (jumlah tetangga) dalam algoritma *k-NN*, kesalahan meningkat karena fakta bahwa jarak dari

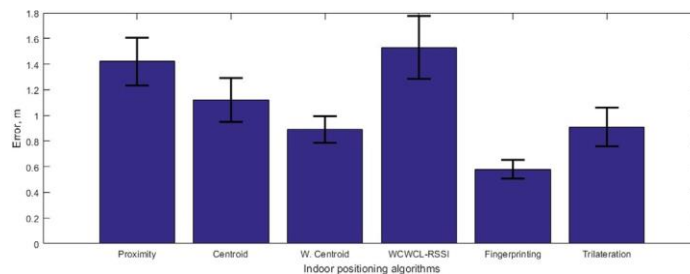
beacon yang memiliki kekuatan sinyal terbesar tidak diperhitungkan. Algoritma ini juga telah menunjukkan hasil yang baik tidak hanya di ruangan, tetapi juga di koridor gedung kantor. Mempertimbangkan spesifikasi, algoritma tidak boleh mengurangi jumlah *beacon* yang diperlukan. Jika tidak, hal tersebut 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 15 menyajikan hasil percobaan yang dilakukan di koridor gedung.



Gambar 13 Kesalahan perhitungan untuk algoritma sidik jari



Gambar 14 Perbandingan kesalahan algoritma indoor positioning



Gambar 15 Perbandingan kesalahan algoritma indoor positioning (di koridor).

Algoritma *Proximity Localization* dan *Centroid Localization* menunjukkan hasil terburuk dengan sejumlah *beacon*. selain itu, tidak ada algoritma yang menunjukkan hasil yang diharapkan di tempat yang panjang dan sempit seperti koridor gedung kantor.

Beacon telah dipasang secara vertikal di dinding setinggi 1,5 m dari lantai. Mengingat kekhususan dari algoritma ini, pemasangan *beacon* di langit-langit adalah langkah yang tidak masuk akal.

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. Algoritma lain telah

mengembalikan koordinat di luar ruangan ketika agen telah bergerak. Untuk menghindari kesalahan jenis ini, diusulkan agar dibuat peta ruangan dan menggunakan batas ruangan dalam komputasi. Namun, *Fingerprinting algorithm* juga memiliki keterbatasannya sendiri, yaitu algoritma ini membutuhkan pengumpulan data manual untuk menyiapkan basis data sebelum penentuan posisi dapat dilakukan yang juga telah dicatat oleh Wang et al.

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.

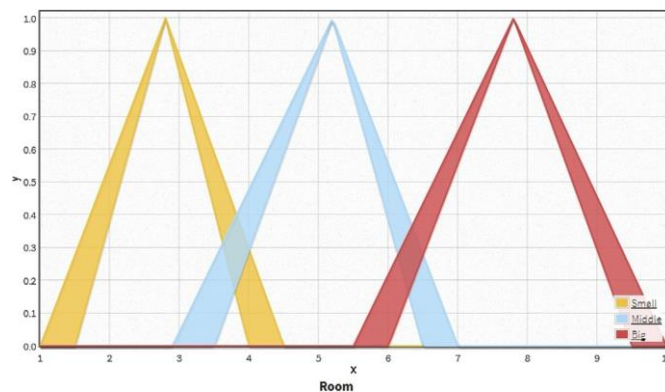
3. Pengukuran posisi dalam ruangan menggunakan seleksi fuzzy

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

Dengan demikian, telah digunakan 3 parameter input. Fuzzifier ditetapkan sebagai fungsi keanggotaan segitiga untuk “ukuran ruangan”. Aturan memiliki variabel linguistik berikut untuk “ukuran ruangan”:

- Kecil (ukuran ruangan $\leq 5 \text{ m}^2$)
- Tengah (ukuran ruangan $\leq 15 \text{ m}^2$)
- Besar (ukuran ruangan $\geq 15 \text{ m}^2$)

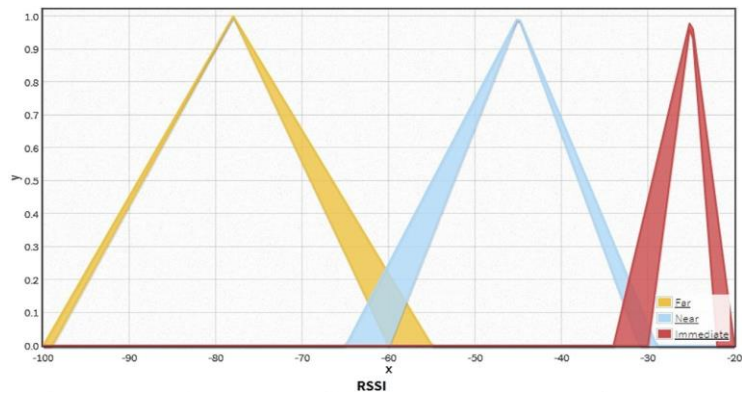


Gambar 16 Variabel fuzzy untuk ukuran ruangan

Nilai awal untuk fungsi *Upper Membership Function* (UMF) dan *Lower Membership Function* (LMF) pada fuzzy ditentukan secara eksperimental. Nilai fuzzy untuk ukuran ruangan (kecil, menengah, besar) dapat dilihat pada Tabel 8 dan Gambar

16. Untuk kekuatan sinyal RSSI (jauh, dekat, langsung) dapat dilihat pada Gambar 17. Sedangkan untuk jumlah *beacon* yang tersedia (tidak cukup, cukup) dapat dilihat pada Gambar 18. Fuzzifier memiliki fungsi keanggotaan segitiga untuk RSSI dengan parameter berikut (Tabel 9):

- Jauh (kekuatan sinyal kurang dari -60 dBm)
- Dekat (kekuatan sinyal -30 hingga -60 dBm)
- Segeraa (kekuatan sinyal -30 dBm atau lebih)



Gambar 17 Variabel fuzzy untuk RSSI

Tabel 8 Nilai fungsi keanggotaan variabel fuzzy untuk ukuran ruangan

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

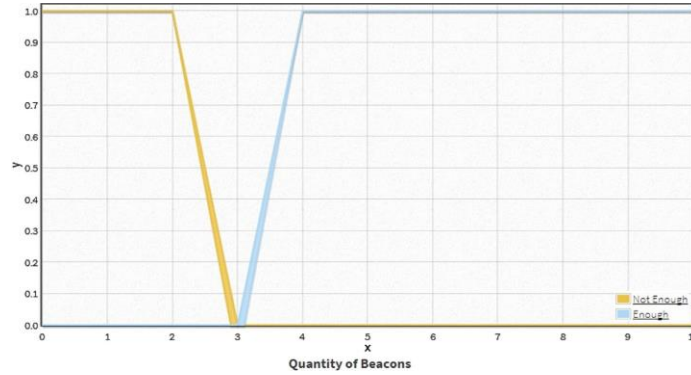
Tabel 9 Nilai fungsi keanggotaan variabel fuzzy untuk RSSI

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

Fuzzifier memiliki fungsi keanggotaan Trapesium untuk Jumlah Beacon dengan parameter berikut (Tabel 10):

- Tidak cukup(kurang dari 3 *beacon*, karena 3 tidak cukup untuk melakukan *localization* dengan handal)

- b. Cukup (lebih dari 3 *beacon* dianggap cukup untuk tugas localization).



Gambar 18 Variabel fuzzy untuk jumlah beacon

Tabel 10 Nilai fungsi keanggotaan variabel fuzzy untuk jumlah beacon

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

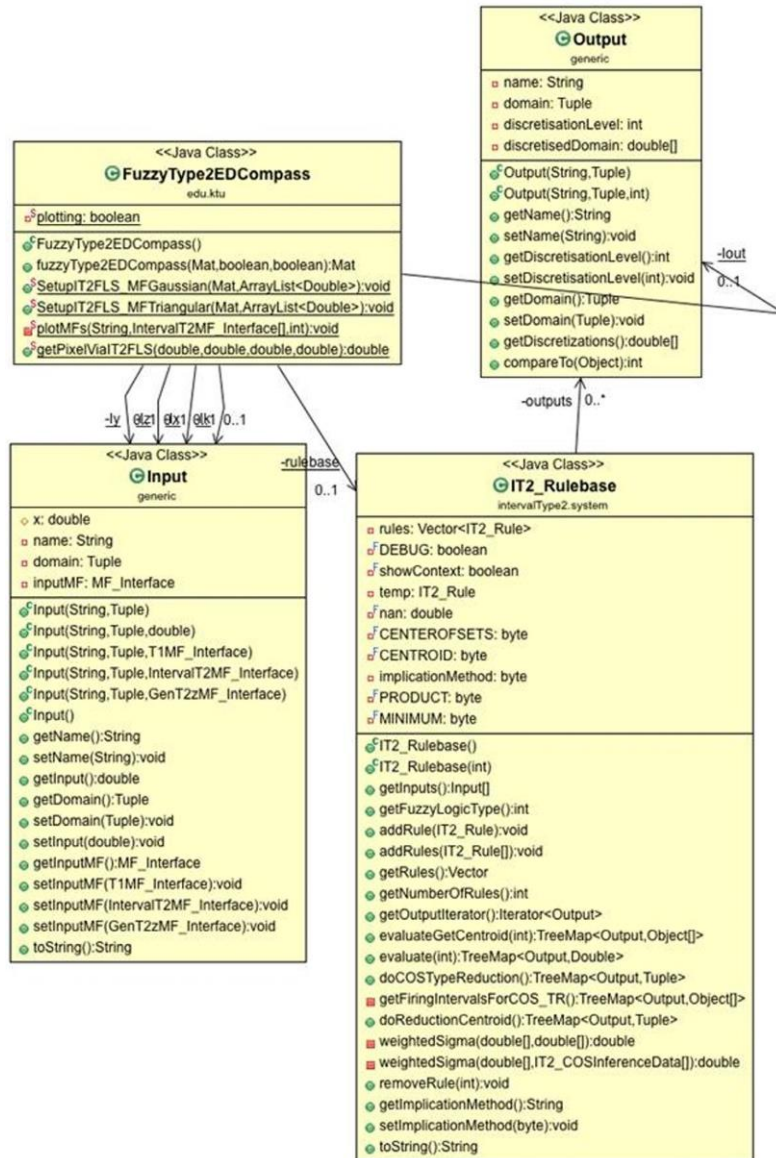
Fuzzifier memiliki fungsi keanggotaan Gaussian untuk output berikut dengan parameter:

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

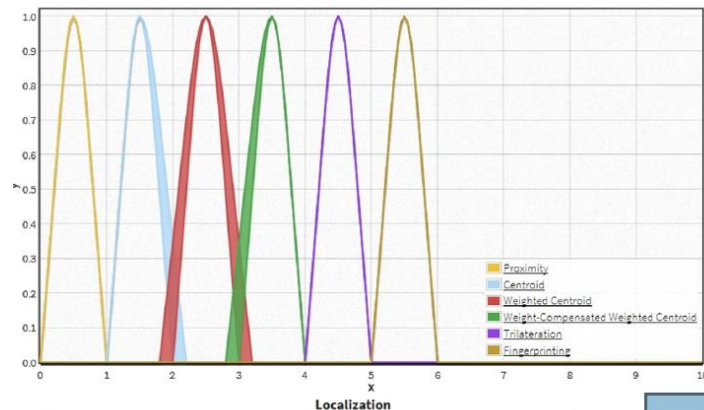
Untuk memilih algoritma yang paling cocok untuk *indoor localization* maka serangkaian aturan fuzzy berikut diterapkan (Gambar 19). Implementasi fuzzy disajikan menggunakan model *Unified Modeling Language* (UML) pada Gambar 20. Kelas utama adalah *fuzzyType2EDCompass*. Untuk mengatur fuzzy, akan digunakan 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. Hasil dari algoritma fuzzy adalah variabel untuk pemilihan algoritma *indoor positioning* (Gambar 21).

✂️ 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

Gambar 19 Aturan fuzzy untuk memilih algoritma



Gambar 20 Model UML untuk implementasi fuzzy



Gambar 21 Pemilihan algoritma fuzzy

5 Usulan Pengembangan Penelitian

Pada penelitian ini didapatkan hasil jika Algoritma *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*.