

POSITIONING DENGAN TEKNOLOGI BLUETOOTH MENGUNAKAN NAÏVE BAYES ALGORITMA

Yusuf Eko Rohmadi¹, Taman Ginting², Didik Warasto³,

^{1,2}Teknik Komputer, ³Manajemen Informatika, Politeknik Pratama Mulia Surakarta
email: masyer@gmail.com¹ ; didik_warasto@yahoo.com² ; ginting79@gmail.com³

ABSTRACT

Bluetooth has emerged as a viable choice of technology in indoor positioning systems due to the increase in the number of Bluetooth-enabled devices over the last decade. Bluetooth was initially developed as a cable replacement technology but properties such as low cost and high availability has led to the development of several indoor positioning systems relying on Bluetooth signals.

The characteristics of the Bluetooth device's RSSI (Received Signal Strength Indication) value were analyzed in preliminary experiments. According to the results of these experiments, the proposed method combines processing using RSSI value threshold and handling of instantaneous variation of RSSI value. Fingerprint data retrieval is done with each grid size 1m x 1m and 2m x 2m. RSSI measurements performed at room Politeknik Pratama Mulia Surakarta. Determination of the estimated location of the object is determined using Naïve Bayes algorithm

From the research known influence on the measurements include a fingerprint grid sizes, algorithms and extensive amount of data from the fingerprint data measurement locations. The best results of testing of algorithms to generate distance 1m greatest accuracy. From the results with 1 meter got the result of 1.6 meters and 2 meters with 2:04 to scenario 2 results will be the first got the result 1.85m m2 and 2 m2 with the results of 2.06 The test results of unknown size on the grid one meter better than 2-meter grid.

Keywords : positioning, bluetooth, naive-bayes algoritma

PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan teknologi membawa dampak pada kehidupan setiap orang. Contohnya, beberapa waktu yang lalu sekitar tahun 2000 handphone adalah sebuah perangkat yang hampir tidak mungkin dimiliki oleh setiap orang kalangan menengah ke bawah, hal ini dikarenakan mahalnya perangkat tersebut untuk bisa dibeli. Akan tetapi tidak lama kemudian benda yang semula merupakan kebutuhan tersier sekarang menjadi kebutuhan pokok. Bahkan di kalangan anak-anak pun perangkat tersebut bukan menjadi barang yang asing lagi.

Manfaat dari perkembangan teknologi telah banyak dirasakan, seperti manfaat dalam bidang militer, kesehatan, pendidikan, perbankan dan

pelayanan umum lainnya. Didukung dengan kemudahan akses internet yang juga termasuk bagian dari perkembangan teknologi maka semakin mempermudah kita untuk memperoleh manfaat-manfaat tersebut.

Contoh yang merupakan pemanfaatan teknologi adalah pelacakan keberadaan suatu objek atau disebut dengan positioning atau localization. Misalnya, saat ini dengan mudah pihak kepolisian bisa mengetahui keberadaan seseorang dengan memanfaatkan teknologi internet dan seluler. Dengan kata lain, privasi seseorang dapat dengan mudah diketahui karena adanya teknologi. GPS atau *global positioning system* adalah salah satu teknologi seluler yang digunakan untuk mencari posisi atau lokasi

seseorang atau suatu tempat. GPS adalah salah satu contoh bidang teknologi berbasis *context-aware*. Sedangkan *context-aware* itu sendiri adalah satu bidang ilmu yang masih luas dan banyak macamnya, salah satunya adalah *positioning* atau *localization*.

Context-aware adalah sebuah system (komputerisasi) yang menyediakan layanan dan informasi yang relevan kepada pengguna sesuai dengan kondisi mereka [1]. *Positioning* atau *localization* adalah teknik menentukan posisi objek di mana dia berada dengan menggunakan beberapa cara seperti GPS, Wifi, Bluetooth, RFID, Zigbee atau dengan cara – cara yang lain [2]. Dalam penelitian ini akan digunakan teknologi Bluetooth dalam menentukan posisi suatu objek.

Istilah “Hotspot area” bagi sebagian besar orang bukan suatu hal yang asing dan akan banyak ditemui di lokasi pelayanan umum seperti Kampus. Istilah tersebut menandakan bahwa pada area tersebut disediakan fasilitas untuk bisa akses internet secara wireless. Akan tetapi bagaimana dengan istilah “Bluetooth area”? Apakah akan sama dengan hotspot area? Tentu saja berbeda, perbedaan tersebut pastinya akan terlihat dari segi fungsi dan manfaatnya, walaupun dari keduanya bisa dimanfaatkan dalam satu fungsi yang sama, misalnya *positioning*.

Bluetooth adalah sebuah teknologi komunikasi wireless dengan jangkauan yang terbatas yaitu dengan rentang hingga 100 meter [3]. Nama “Bluetooth” diambil dari nama seorang raja kedua Denmark, Harald Bluetooth [4].

Bagi sebagian orang, bluetooth mungkin hanya sebagai media komunikasi atau alat transfer data yang terdapat pada telepon seluler (handphone) dan laptop, atau sebuah perangkat usb portable yang bekerja secara plug and play pada perangkat komputer yang sering disebut dengan bluetooth dongle. Selain sebagai media transfer data, bluetooth juga digunakan pada

perangkat komputer lainnya seperti mouse, keyboard dan printer. Ketika sistem pengkabelan perangkat input-output komputer mengalami kerusakan, maka teknologi bluetooth menjadi salah satu solusi untuk permasalahan tersebut.

Perangkat bluetooth hampir dimiliki oleh setiap orang, ini terbukti bahwa sebagian besar orang mempunyai pesawat seluler atau handphone yang di dalamnya terdapat fitur bluetooth. Walaupun ada juga sebagian orang mempunyai handphone tetapi tidak ada fitur bluetooth di dalamnya.

Di samping fungsi bluetooth yang secara umum telah diketahui dan digunakan oleh sebagian orang, ternyata bluetooth dapat dimanfaatkan pada fungsi yang lebih. Misalnya bluetooth digunakan dalam penentuan posisi sebuah objek dalam ruang tertutup. Telah banyak penelitian dalam hal ini, akan tetapi dari banyak penelitian tersebut masing-masing menggunakan metode yang berbeda-beda.

Maka dengan dasar keadaan tersebut, akan dilakukan penelitian bagaimana menentukan posisi sebuah objek menggunakan teknologi bluetooth. Penelitian ini akan melibatkan beberapa device bluetooth yang terdapat di dalam pesawat seluler, laptop atau device bluetooth lain, serta software yang digunakan untuk mengukur sinyal bluetooth yang berjalan pada sistem operasi Android. Selain itu, karena sifat jangkauan bluetooth yang pendek, maka penelitian penentuan lokasi objek dibatasi pada ruangan tertutup (*indoor*).

Cara Kerja Sistem

Penelitian dilakukan untuk menentukan lokasi objek pengguna bluetooth di dalam gedung, dengan metode fingerprint dengan klasifikasi dari algoritma naïve bayes. Penelitian dimulai dari perancangan peta lokasi penelitian yaitu gedung POLITAMA dan menentukan titik koordinat x, y dari lokasi yang diteliti. Pada bagian ini akan dijelaskan metode penelitian yang terkait dengan kajian-kajian yang dilakukan

di dalam penelitian ini. Namun yang diperlukan untuk mendapatkan dan membaca nilai RSSI, bluetooth yang tersedia. Oleh karena itu sistem dapat diimplementasikan dalam perangkat off-the-shelf. Selanjutnya tidak memerlukan sinkronisasi antara pemancar dan penerima. Keuntungan ini merupakan faktor utama penggunaan nilai RSS untuk lokalisasi dalam gedung. Namun kelemahannya adalah bahwa pembacaan nilai RSS dapat menunjukkan nilai yang bervariasi karena pengaruh interferensi dan multipath terhadap saluran radio [7]

Propagasi sinyal di dalam gedung bukan merupakan hal yang mudah, karena dipengaruhi faktor multipath, kurangnya Line-of-Sight (LOS) kondisi lingkungan, pergerakan objek dan pengaruh bidang pantul di dalam gedung [8]. Kelemahan utama dari metode berbasis propagasi adalah harus selalu memperhitungkan setiap kondisi yang mempengaruhi propagasi sinyal untuk mendapatkan lokalisasi yang akurat.

Teori yang melandasi teknik estimasi lokasi suatu objek dalam gedung berbasis bluetooth yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi teori-teori IEEE 802.11, RSSI, fingerprinting dan Naïve Baye.

Positioning

Bluetooth adalah sebuah teknologi komunikasi wireless dengan jangkauan yang terbatas yaitu dengan rentang hingga 100 meter, menggunakan teknologi spektrum berlisensi 2,4 GHz [8][3]. Bluetooth berupa *chip* kecil yang di dalamnya bisa terdiri dari bermacam – macam sumber daya seperti processor. Dalam hubungannya dengan perangkat bluetooth yang lain, bentuk komunikasi yang terjadi pada perangkat bluetooth dinamakan dengan jaringan *ad-hoc* [8], yaitu suatu jaringan yang terbentuk ketika dibutuhkan, atau jaringan *ad-hoc* adalah jaringan tanpa infrastruktur.

Kaitannya bluetooth digunakan dalam penentuan posisi suatu objek, ada beberapa pendekatan yang bisa dilakukan untuk

melakukan pengukuran tersebut. Metode *fingerprint* adalah salah satu metode yang akurat dan sangat cocok digunakan sebagai metode pelacakan objek pada lingkungan tertutup (*indoor*), akan tetapi salah satu tahap pada metode *fingerprint* mempunyai kelemahan yaitu membutuhkan waktu yang lama ketika mengukur kuat sinyal [7][9]. Kekurangan lain dari metode ini adalah dibutuhkannya sebuah uji data yang telah disurvei secara mendalam dan sangat dipengaruhi oleh struktur bangunan, artinya pada setiap pengukuran dengan tempat yang berbeda akan menghasilkan keakurasian yang berbeda pula [10]. Misalnya pada jarak yang sama dengan posisi ruang/tempat yang berbeda akan menghasilkan pengukuran yang berbeda pula.

Beberapa pendekatan yang bisa digunakan dalam menentukan posisi suatu objek antara lain [7]:

1. Pendekatan Geografis

- a. RSSI (*received signal strength indicator*)
Teknik memperkirakan lokasi objek berdasar pada pengukuran redaman sinyal. Sinyal yang diterima pada antena penerima tergantung pada jarak ukur [10].
- b. Algoritma Trilaterasi
Dalam algoritma ini, jarak yang pertama kali diketahui antara node yang bergerak (*mobile node*) terhadap node yang tetap (*fixed node*) akan dikalkulasikan menggunakan model radio propagasi.
- c. TDOA (*time difference of arrival*)
Teknik ini membutuhkan keakurasian waktu saat sinkronisasi. Perbedaan sinyal yang diterima dan yang dikirim akan dijumlahkan. Sistem pemosisian objek menggunakan TDOA bersifat sensitif, karena jalur sinyal antara pemancar dan penerima harus bersih dari halangan/rintangan [9].
- d. k-NN (*k-nearest neighbor*)

Sebuah metode untuk mengklasifikasi kasus yang mempunyai kemiripan, dengan mempelajari pola dari beberapa kasus [8].

2. Radio Propagasi

Model ini memberikan hubungan antara sinyal yang diterima dengan jarak dari sumber sinyal. Pada model ini akan ditunjukkan bahwa daya yang diterima akan menurun secara logaritmik terhadap jarak.

RSS

Received Signal Strength (RSS) merupakan daya sinyal radio yang diterima oleh *receiver* yang dikirim oleh *transmitter*. Pada umumnya, RSS akan berkurang sebanding dengan jarak antara *receiver* dan *transmitter* [5]. Jika hubungan antara jarak *receiver-transmitter* dan kekuatan sinyal diketahui, baik secara empiris maupun analitis, maka jarak antara dua perangkat dapat diketahui. Menurut referensi [11], secara garis besar, lokalisasi berbasis RSS terdiri dari dua fase yaitu

Training phase, di mana peta nirkabel lingkungan ditentukan menggunakan pengukuran. *Positioning phase*, di mana estimasi posisi ditentukan berdasarkan peta nirkabel. Lokalisasi dalam ruangan berbasis RSS sangat bergantung pada *training phase*, di mana tingkat kepresisian pengukuran pada *training phase* akan sangat mempengaruhi kepresisian hasil dari estimasi lokasi.

Fingerprinting

Location Fingerprinting merupakan metode yang memanfaatkan sekumpulan data RSS pada lokasi yang berbeda-beda untuk melacak keberadaan target [8]. Kelebihan dari LF adalah tidak memerlukan perangkat tambahan. Sedangkan kelemahan utama dari metode LF adalah sangat dipengaruhi oleh kondisi ruang, jika terdapat perubahan infrastruktur ruang maka perlu dilakukan pengukuran RSS yang baru.

Metode fingerprint untuk lokalisasi juga disebut *scene analysis* biasanya digunakan dalam gedung karena dibutuhkan karakteristik stasioner lingkungan contohnya atenuasi dinding. Setiap infrastruktur bluetooth yang ada dapat digunakan untuk positioning system. Sistem penentuan posisi tersebut dipandang sebagai solusi yang paling efektif dan layak untuk lingkungan indoor.

Lokasi *fingerprint* biasanya bekerja dalam dua tahap: *off-line* dan tahap *online*. Dalam tahap *off-line*, kekuatan sinyal dari *Access Point* (AP) dikumpulkan dari lokasi yang berbeda untuk membangun basis data atau disebut juga pemetaan lingkungan. Sedangkan tahap *online*, lokasi dapat dihitung dengan membandingkan pengukuran *Receive Signal Strength* (RSS) dan pengukuran nilai yang disimpan dalam basis data [9].

Nilai RSS pada sebuah titik pada *grid* disebut lokasi titik *fingerprint*. Dalam Fase *online* merupakan fase penghitungan nilai estimasi lokasi menggunakan algoritma posisi berdasarkan nilai RSS secara *real time* terhadap *basis data fingerprint*. *Fingerprinting* sering kali digunakan dalam penentuan posisi objek dalam gedung berdasar RSS, terutama pada saat korelasi analitis antara pengukuran RSS dan jarak sulit untuk ditentukan karena adanya *multipath* dan *interferensi* [7].

Tahap Training

Pada tahap ini melakukan pengambilan data untuk membuat basis data dari tiap-tiap *grid*. yang digunakan sebagai sampel *training* pada tahap *positioning*. Di dalam basis data termasuk pengukuran *Q fingerprinting* dari nilai RSS dituliskan sebagai vektor $\{RSSr_q = [RSSr_1, RSSr_2, \dots, RSSr_P], r = 1, 2, \dots, R, q = 1, 2, \dots, Q\}$. Rata-rata dari semua pengukuran dari masing-masing AP dicatat sebagai data referensi dari posisi dalam basis data.

Fingerprint adalah metode yang banyak digunakan pada penentuan lokasi suatu objek,

baik Wifi, Bluetooth, RFID dan IrDa. Kemudian masing-masing menggunakan pendekatan atau menggunakan algoritma yang berbeda – beda untuk menghitung akurasi posisinya. Seandainya metode dan algoritma yang digunakan adalah sama, hasil akhir akan menunjukkan perbedaan karena perbedaan tempat/ sarana yang digunakan untuk penelitian.

Beberapa penelitian telah dilakukan kaitannya dengan penggunaan teknologi Bluetooth untuk pemosisian suatu objek. Dalam [7], metode yang digunakan adalah fingerprint dan menggunakan pendekatan trilaterasi. Pada [8], pengukuran RSSI dipadukan dengan dua algoritma yaitu Algoritma Pemosisian Vektor dan Algoritma Localization. Pada [9] menggunakan pendekatan Triangulasi berdasar pengukuran RSSI Bluetooth. Sedangkan pada [10] pengukuran sinyal RSSI diestimasi menggunakan pendekatan Least Square.

Dari beberapa kajian pustaka dari penelitian sebelumnya, maka algoritma k-NN belum ada yang menerapkannya untuk teknologi Bluetooth dalam positioning walaupun dalam penelitian ini nantinya akan menggunakan metode yang sebelumnya pernah dilakukan yaitu pengukuran RSSI dengan metode fingerprint.

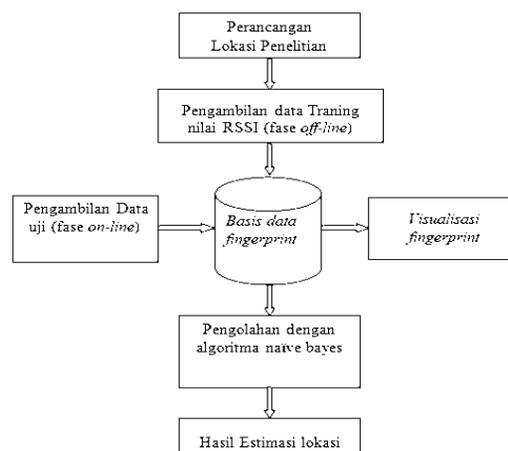
Metode Naïve Bayes (NB)

Naïve Bayes adalah suatu probabilitas simpel yang berdasarkan pada *teorema Bayes* pada umumnya, *inferensi Bayes* khususnya dengan asumsi independensi yang kuat (*naïve*). Dalam melakukan klasifikasi data, *Naïve Bayes* mengasumsikan bahwa ada atau tidak adanya suatu fitur pada suatu kelas tidak berhubungan dengan ada atau tidaknya fitur lain di kelas yang sama. Umumnya kelompok atribut E direpresentasikan dengan sekumpulan nilai $RSSp$. L adalah variabel klasifikasi dalam kasus ini yaitu koordinat dan l adalah nilai dari L .

METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian dilakukan berdasarkan teori dan metode yang berhubungan dengan penelitian. Tahapan tersebut terkait dengan:

1. Perancangan peta lokasi / gedung dan berdasarkan jumlah bluetooth yang digunakan
2. Pengukuran nilai RSSI dari Sejumlah bluetooth berdasarkan *grid*, dan lama waktu pengambilan untuk data *training*.
3. Pengolahan data RSSI dan disimpan dalam *basis data* peta *fingerprint*.
4. Pembuatan visualisasi peta *fingerprint*
5. Perancangan dan pengambilan data uji fase *on-line*
6. Pengolahan data untuk estimasi jarak menggunakan algoritma *Naïve Bayes*.



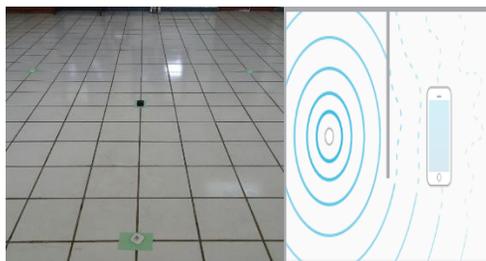
Gambar. 1. Metode Penelitian

Alat dan bahan.

Hardware: HP Android with Bluetooth , Laptop untuk pengukuran. Software, Operation system Windows , Bluetooth RSSI Signal Strength, Rapidminer, MS Excel.

Tempat: Laboratorium Politeknik Pratama Mulia Surakarta

Metode Pengambilan Data



Gambar. 2. Teknik pengambilan data

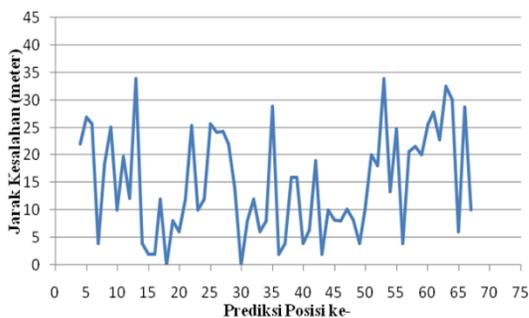
HASIL DAN ANALISA

Jarak Kesalahan Rata-rata Minimum

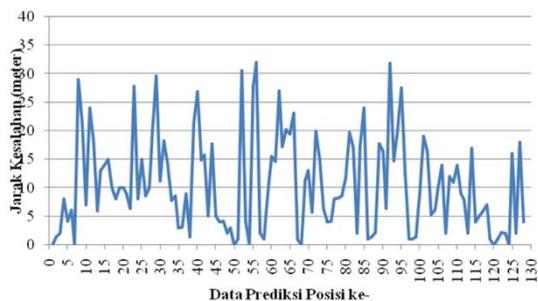
Konfigurasi yang dilakukan pada pengujian pertama ini memperoleh visualisasi dan hasil dari fase *off-line* dan fase *on-line* seperti berikut:

Analisa hasil jarak kesalahan pada skenario 1 dan skenario 2 yaitu dengan melihat adanya pengaruh penetapan luasan dalam penelitian ini yaitu luasan 2 m² yang terdapat titik referensi sejumlah 76 titik dan 1 m² yang terdapat titik referensi sejumlah 295 titik dengan menggunakan 3 RSS.

Jarak Kesalahan dengan Metode *Naïve Bayes* (NB)



Gambar. 3. Hasil jarak kesalahan dengan metode NB untuk luasan 2 m²



Gambar. 4. Hasil jarak kesalahan dengan NB untuk luasan 1 m²

Dari hasil jarak kesalahan yang diperoleh dari setiap titik target yang terlewat pada saat pengujian perbandingan antara metode NN dan NB dari grafik terlihat perbedaan. Untuk NN terdapat banyak titik koordinat (x,y) yang besar diprediksikan berada pada koordinat (x,y) yang kecil sehingga jarak kesalahan menjadi besar. Kekuatan sinyal yang diterima *mobile station* (MS) dipengaruhi oleh beberapa faktor. Di antaranya yaitu dipengaruhi oleh besarnya frekuensi yang bekerja, redaman lintasan dari material bahan yang digunakan, pemilihan antenna *indoor* beserta distribusi penempatannya, serta mobilitas user. Besarnya level sinyal yang diterima MS dipengaruhi oleh nilai frekuensi yang bekerja; makin tinggi frekuensi, makin tinggi RxLevelnya. Distribusi antenna *indoor* (repeater) memberikan pengaruh terhadap kekuatan sinyal; makin jauh jarak *transmitter* dengan *receivernya*, maka makin menurun level sinyalnya. Level sinyal juga mengalami pelemahan karena lintasan propagasinya bersifat *Non-Line of Sight* (NLOS) dan didominasi oleh peristiwa refleksi dan difraksi.

Hasil Jarak Kesalahan Rata-rata Minimum

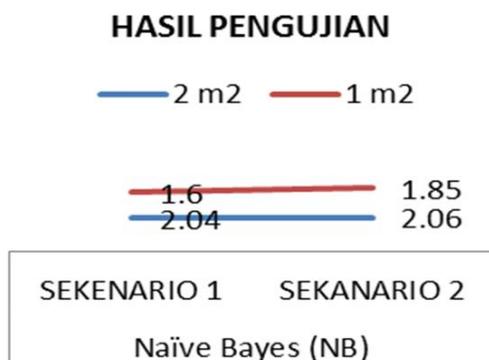
Pada tabel 1. di bawah menunjukkan hasil jarak kesalahan rata-rata minimum dengan adanya perbedaan luasan dengan menggunakan metode NN dan NB.

Tabel 1 Pengaruh perbedaan luasan terhadap jarak kesalahan rata-rata min (meter)

Naïve Bayes (NB)

Luasan	Skenario 1	Skenario 2
2 m ²	2.04	2.06
1 m ²	1.6	1.85

Pada analisa pengaruh perbedaan luasan terhadap jarak kesalahan rata-rata minimum dilakukan dengan menggunakan 3 atribut yaitu RSSIB1, RSSIB2 dan RSSIB3, masing-masing atribut berisi data kekuatan sinyal sebanyak 300 data set untuk masing-masing klasifikasi dalam hal ini klasifikasi menunjukkan koordinat posisi. Hasil jarak kesalahan rata-rata minimum pada kedua luasan dengan menggunakan metode NB ditunjukkan pada gambar di bawah.



Gambar 5 . Hasil pengujian

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dibahas maka dihasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penentuan posisi objek dalam gedung dengan metode *Naïve Bayes* (NB) dengan *teknologi bluetooth* berhasil dilakukan.
2. Dari hasil penelitian memperlihatkan adanya pengaruh penetapan luasan dalam proses pengukuran RSSI *fingerprint* antara 1 m² dan 2 m² metode *naive bayes* dengan *teknologi bluetooth*.
3. Dari hasil penelitian akan diketahui pengaruh terhadap pengukuran antara lain ukuran *grid fingerprint*, algoritma dan

jumlah data dari luas lokasi pengukuran data *fingerprint*. Dari hasil penelitian dengan 1 m² mendapat hasil 1.6 m dan 2 m² dengan hasil 2.04 dengan sekenario 2 akan dengan 1 m² mendapat hasil 1.85 m dan 2 m² dengan hasil 2.06. dari pengujian tersebut diketahui hasil ukuran pada grid 1 meter lebih baik dibanding dengan grid 2 meter.

Saran

Dari penelitian di atas dapat diambil beberapa saran, antara lain: Algoritma *Naïve Bayes* dapat digunakan untuk menghitung prediksi lokasi objek dalam gedung, namun masih banyak algoritma lain yang bisa digunakan.

1. Dalam pengambilan data *training* tidak hanya menggunakan 3 buah bluetooth yang digunakan supaya tingkat akurasi yang dihasilkan semakin baik.
2. Algoritma probabilistik yang kompleks misalnya *partikel filter* dapat digunakan untuk mengarah ke perbaikan akurasi.

DAFTAR PUSTAKA

- H. Chen, T. Finin, and A. Joshi, "An ontology for context-aware pervasive computing environments," *Knowl. Eng. Rev.*, vol. 18, no. 03, pp. 197–207, 2003.
- M. Rodríguez-Damián, X. A. Vila Sobrino, and L. Rodríguez-Liñares, *Indoor Tracking Persons Using Bluetooth: A Real Experiment with Different Fingerprinting-Based Algorithms*, vol. 219. Salamanca, 2013.
- F. Subhan and H. B. Hasbullah, "Minimizing discovery time in bluetooth networks using localization techniques," presented at the Information Technology (ITSim), 2010 International Symposium in, 2010, vol. 2, pp. 648–653.
- "Tech History: How Bluetooth got its name | EE Times," *EE Times*, 22-Oct-2013. [Online]. Available: http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1269737. [Accessed: 22-Oct-2013].

- J. Symonds, *Emerging Pervasive and Ubiquitous Aspects of Information Systems: Cross-Disciplinary Advancements*. Idea Group Inc (IGI), 2011.
- Liang Chen, H. Kuusniemi, Yuwei Chen, Ling Pei, T. Kroger, and Ruizhi Chen, "Information filter with speed detection for indoor Bluetooth positioning," presented at the Localization and GNSS (ICL-GNSS), 2011 International Conference on, 2011, pp. 47–52.
- F. Subhan, H. Hasbullah, A. Rozyyev, and S. T. Bakhsh, "Indoor positioning in Bluetooth networks using fingerprinting and lateration approach," presented at the Information Science and Applications (ICISA), 2011 International Conference on, 2011, pp. 1–9.
- C. Dethe, D. Wakde, and C. Jaybhaye, "Bluetooth Based Sensor Networks Issues and Techniques," presented at the Modelling & Simulation, 2007. AMS '07. First Asia International Conference on, 2007, pp. 145–147.
- J. Yim, S. Jeong, K. Gwon, and J. Joo, "Improvement of Kalman filters for WLAN based indoor tracking," *Expert Syst. Appl.*, vol. 37, no. 1, pp. 426–433, 2010.
- E. C. L. Chan, G. Baciuc, and S. C. Mak, "Using Wi-Fi Signal Strength to Localize in Wireless Sensor Networks," presented at the Communications and Mobile Computing, 2009. CMC '09. WRI International Conference on, 2009, vol. 1, pp. 538–542.