Peningkatan Akurasi Indoor Positioning System Berbasis Trilateration Dengan Kalman Filter

Agng Dwi Wicaksono, Waskitho Wibisono, dan Ary Mazharuddin Shiddiqi  
Departemen Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
*e-mail*: agung.dwi16@mhs.if.its.ac.id (1) , waswib@if.its.ac.id(2) , ary.shiddiqi@if.its.ac.id (3)

***Abstrak*—*Indoor Positioning System* (IPS) adalah sistem untuk menentukan posisi seseorang atau suatu benda pada ruangan. Berbda dengan Global Positioning System (GPS), yang menggunakan satelit untuk menentukan posisi, IPS menggunakan benda yang ada dalam ruangan seperti bluetooth atau WiFi.**

**Dari kekuatan sinyal WiFi dapat ditentukan jarak antara penerima dan pengirim sinyal dengan signal propagation model. Dibutuhkan tiga jarak dari tiga poin yang diketahui koordinatnya untuk mendapatkan posisi obyek dengan trilateration.**

**Namun, penentuan jarak dari sinyal ini cenderung tidak stabil karena flunktuasi sinyal sehingga menghasilkan koordinat yang tidak akurat. Dalam buku ini digunakan metode Kalman filtering untuk mengurangi ketidak stabilan flunktuasi sinyal untuk mendapatkan jarak yang lebih akurat yang pada hasilnya akan memberikan koordinat yang lebih akurat.**

**Kalman filter sendiri menggunakan data yang telah diobservasi atau dihitung sebelumnya untuk mengestimasi kondisi saat ini. Hal ini membuat estimasi yang dibuat cenderung lebih akurat daripada estimasi yang dibuat dalam sekali penghitungan.**

*Kata Kunci*—: *Indoor Positioning System, Trilateration, Kalman filter*

# PENDAHULUAN

*Indoor Positioning System* adalah sistem untuk memprediksi posisi saat ini seseorang atau obyek pada ruangan. Ada banyak cara untuk menentukan posisi, salah satunya adalah dengan trilateration dimana posisi suatu titik ditentukan oleh jarak titik tersebut kepada tiga titik lain yang diketahui koordinatnya.

Untuk mendapatkan jarak suatu perangkat dengan akses poin wifi dibutuhkan kekuatan sinyal dan frekuensi dari wifi itu sendiri yang terkadang tidak stabil yang akhirnya mempengaruhi akurasi dari posisi yang didapat. Terlebih lagi dengan reilateration yang menggunakan tiga jarak untuk mengestimasi posisi dimana kesalahan pada satu jarak dapat menghasilkan kesalahan estimasi yang signifikan.

Pada Tugas Akhir ini digunakan *kalman filter* untuk mengurangi ketidak stabilan sinyal tersebut untuk menghasilkan estimasi posisi yang lebih akurat.

# Tinjauan Pustaka

## Indoor Positioning System

*Wireless Sensor Network* (WSN) adalah jaringan nirkabel yang tersebar secara terdistribusi yang digunakan dalam jumlah besar untuk memonitor suatu kondisi lingkungan atau sistem oleh pengukuran parameter fisik seperti suhu, tekanan, atau kelembapan. Dimana sensor-sensor node secara tersebar dalam mengumpulkan data-data yang dapat dikirimkan ataupun diolah untuk memonitor suatu lingkungan fisik[1].

Dalam implementasinya telah banyak dilakukan menggunakan jaringan sensor nirkabel dalam komunikasi antar node sensor seperti melalui *bluetooth*, Zigbee, frekuensi gelombang ataupun langsung melalui jaringan internet. Penulis akan mengimplementasikan sebuah jaringan sensor nirkabel melalui frekuensi gelombang radio.

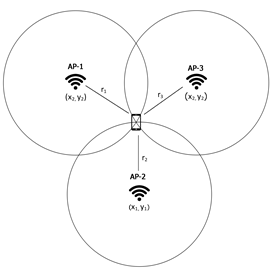
## Signal Propagation Model (estimasi jarak)

Gelombang radio sebagian besar dipengaruhi oleh dua fenomena yaitu kekuatan sinyal yang melalui atmosfir dan perpanjangan dari fenomena ini ke setiap obyek yang dilalui oleh sinyal [2].

Fenomena pertama adalah berkurangnya kekuatan sinyal berdasarkan jarak dari transmitter sedangkan fenomena kedua adalah berkurangnya atau bertambahnya sinyal karena refleksi, rerfaksi dan atenuasi. Dalam tugas akhir ini digunakan *signal propagation model* yang telah di modelkan untuk situasi dalam ruangan [2].

## Trilateration (estimasi posisi)

Trilateration adalah metode yang digunakan untuk mendapatkan posisi obyek berdasarkan jarak dari beberapa titik yang diketahui posisinya. [1]

**

**Gambar 2.1** Ilustrasi *trilateration*

Dari gambar 2.1 setiap lingkaran mempresentasikan semua kemungkinan perangkat android berada berdasarkan jarak antara masing-masing akses poin dan perangkat android. Tujuan trilateration adalah untuk mengestimasikan posisi perangkat android berdasarkan jaraknya dari tiga akses poin yang telah diketahui koordinatnya. [3]

## Kalman filter

Kalman filtering atau juga dikenal dengan nama Linear Quadratic Estimation (LQE) adalah algoritma yang menggunakan hasil pengamatan atau pengukuran dalam jangka waktu tertentu yang di dalamnya mengandung noise dan menghasilkan estimasi dari pengamatan yang cenderung lebih akurat dari pengukuran satu waktu.

Kalman filter telah lama digunakan untuk menggabungkan estimasi saat ini dengan pengukuran baru untuk mendapatkan hasil estimasi baru yang lebih akurat dengan cara meminimalkan varians kesalahan estimasi. Oleh karena itu kalman filter adalah metode kandidat yang bagus untuk penentuan posisi [4].

Pada tugas akhir ini kalman filter digunakan untuk menstabilkan kekuatan sinyal yang diterima oleh perangkat android.

## Software tools

1. Android

Android adalah sistem operasi terbuka (open-source) berbasis Linux yang dirancang untuk perangkat bergerak dengan layar sentuh, seperti telepon pintar dan komputer Tabelt. Antarmuka pengguna Android umumnya adalah layar sentuh di mana pengguna menggunakan gerakan sentuh untuk menggunakannya, serta papan ketik virtual untuk menulis teks [5].

Android awalnya dikembangkan oleh Android, Inc., dengan dukungan finansial dari Google. Google kemudian membelinya pada tahun 2005. Google merilis kode sistem operasi ini di bawah Lisensi Apache. Kode dengan sumber terbuka ini memungkinkan perangkat lunak untuk dimodifikasi secara bebas dan didistribusikan oleh para pembuat perangkat, operator nirkabel, dan pengembang aplikasi. Selain itu, Android memiliki sejumlah besar komunitas pengembang aplikasi yang memperluas fungsionalitas perangkat, yang umumnya ditulis dalam bahasa pemrograman Java [5].

Dalam tugas akhir ini, Android digunakan sebagai basis sistem operasi smartphone. Aplikasi yang akan dibangun akan dijalankan pada sistem operasi Android.

1. Java

Java adalah bahasa pemrograman yang dapat dijalankan di berbagai komputer termasuk telepon genggam. Bahasa ini awalnya dibuat oleh James Gosling saat masih bergabung di Sun Microsystems (saat ini merupakan bagian dari Oracle) dan dirilis tahun 1995. Bahasa ini banyak mengadopsi sintaks yang terdapat pada C dan C++ namun dengan sintaks model objek yang lebih sederhana serta dukungan rutin-rutin yang minimal. Aplikasi-aplikasi berbasis Java umumnya dikompilasi ke dalam p-code (bytecode) dan dapat dijalankan pada berbagai Mesin Virtual Java (JVM) [6].

Java merupakan bahasa pemrograman yang bersifat umum (general purpose), dan secara khusus didesain untuk menggunakan ketergantungan implementasi seminimal mungkin. Karena fungsionalitasnya yang memungkinkan aplikasi Java mampu berjalan di beberapa platform sistem operasi yang berbeda, Java dikenal dengan slogannya, "Tulis sekali, jalankan di mana pun". Saat ini Java merupakan bahasa pemrograman yang paling populer digunakan dan secara luas dimanfaatkan dalam pengembangan berbagai jenis perangkat lunak aplikasi ataupun aplikasi [6].

Dalam Tugas Akhir ini, aplikasi untuk pengambilan data RSSI akan dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman Java

1. Android Studio

Android Studio adalah Integrated Development Enviroment (IDE) untuk sistem operasi Android, yang dibangun diatas perangkat lunak JetBrains IntelliJ IDEA dan didesain khusus untuk pengembangan Android. IDE ini merupakan pengganti dari Eclipse Android Development Tools (ADT) yang sebelumnya merupakan IDE utama untuk pengembangan aplikasi Android[7]..

Android Studio sendiri pertama kali diumumkan di konferensi Google I/O pada tanggal 16 Mei 2013. Ini merupakan tahap preview dari versi 0.1 pada Mei 2013, dan memasuki tahap uji coba (beta) sejak versi 0.8 dan mulai diliris pada Juni 2014. [7]

Versi rilis stabil yang pertama diliris pada December 2014, dimulai sejak versi 1.0. Sedangkan versi stabil yang sekarang adalah versi 3.6.3 yang diliris pada Februari 2020. [7]

Dalam Tugas Akhir ini, Android Studio digunakan untuk membuat aplikasi visualisasi yang dapat dijalankan pada smartphone dengan sistem operasi Android.

1. Python

Python adalah bahasa pemrograman interpretatif multiguna dengan filosofi perancangan yang berfokus pada tingkat keterbacaan kode. Python diklaim sebagai bahasa yang menggabungkan kapabilitas, kemampuan, dengan sintaksis kode yang sangat jelas, dan dilengkapi dengan fungsionalitas pustaka standar yang besar serta komprehensif. Python juga didukung oleh komunitas yang besar. [8]

Python mendukung multi paradigma pemrograman, utamanya; namun tidak dibatasi; pada pemrograman berorientasi objek, pemrograman imperatif, dan pemrograman fungsional. Salah satu fitur yang tersedia pada python adalah sebagai bahasa pemrograman dinamis yang dilengkapi dengan manajemen memori otomatis. Seperti halnya pada bahasa pemrograman dinamis lainnya, python umumnya digunakan sebagai bahasa skrip meski pada praktiknya penggunaan bahasa ini lebih luas mencakup konteks pemanfaatan yang umumnya tidak dilakukan dengan menggunakan bahasa skrip. Python dapat digunakan untuk berbagai keperluan pengembangan perangkat lunak dan dapat berjalan di berbagai platform sistem operas. [8]

Pada tugas akhir ini python akan digunakan untuk analisis data dan pengukuran akurasi indoor positioning system.

1. Spyder (IDE)

Spyder adalah adalah Integrated Development Enviroment (IDE) open source cross-platform untuk bahasa pemrograman Python. Spyder terintegrasi dengan berbagai paket terkemuka untuk Python seperti NumPy, SciPy, Matplotlib, pandas, IPython, SymPy, dan Cython dan berbagai perangkat lunak open source lainnya. [9]

Awalnya dibuat dan dikembangkan oleh Pierre Raybaut pada 2009, sejak 2012 Spyder telah dipertahankan dan terus ditingkatkan oleh tim pengembang Python ilmiah dan komunitas. [9]

Pada tugas akhir ini spyder akan digunakan untuk analisis data dan pengukuran akurasi indoor positioning system.

# PERANCANGAN

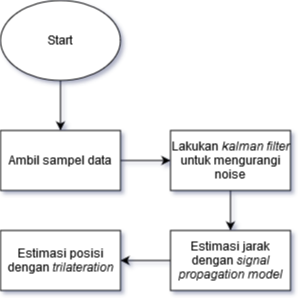
## Perancangan Arsitektur Umum SIstem

Pada tugas akhir ini akan dibuat sebuah implementasi indoor positioning system menggunakan kekuatan sinyal wifi yang didapat dari 3 akses poin.

Dari setiap akses poin tersebut akan dicatat kekuatan sinyal (RSSI dalam dBm) yang diterima perangkat android. Kekuatan sinyal ini relatif tidak stabil dan memiliki noise. Noise ini membuat estimasi jarak yang dilakukan akan memiliki akurasi yang kurang bagus.

Untuk menghilangkan noise tersebut digunakan kalman filter dimana kalman filter ini digunakan untuk mencari nilai RSSI yang stabil dari n jumlah sampel yang diambil.

Setelah didapatkan kekuatan sinyal yang stabil diestimasi jaraknya kepada masing masing akses poin (transmitter) dengan signal propagation model. Dari jarak – jarak yang telah diestimasi akan dicari koordinat dari receiver dengan mengestimasi koordinat posisi perangkat android berdasarkan koordinat posisi akses poin dengan algoritma trilateration.



**Gambar 3.1** Arsitektur Umum Sistem

## Kalman filter

Kekuatan sinyal akses poin (RSSI) memiliki banyak noise, tidak seperti idealnya dimana RSSI ini hanya dipengaruhi oleh jarak antara receiver dan akses poin. Noise ini terjadi karena banyak hal seperti multi-path reflection dimana sinyal radio yang diterima oleh receiver bisa saja datang dari hasil refleksi sinyal itu terhadap benda pada ruangan seperti tembok kursi dan lain sebagainya [10].

Untuk menghilangi noise ini digunakan kalman filter. Kalman filter adalah estimator yang menggunakan perhitungan - perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya (histori perhitungan) untuk mengestimasi perhitungan saat ini untuk mengurangi noise dari perhitungan saat ini.

Model umum kalman filter:

(1)

Pada persamaan diatas (1) X\_k didefinisikan sebagai kombinasi pengukuran sebelumnya, yang merupakan pengukuran saat ini. State dari pengukuran sebelumnya ditulis sebagai X\_(k-1) dengan matriks transformasi A untuk mengubah domain matriks dari state pengukuran sebelumnya menjadi domain pengukuran sekarang, kontrol input u sebagai variabel kontrol tambahan pada pengukuran (contohnya kecepatan untuk input tambahan pada pengukuran) dan w\_(k-1) process noise yang merupakan noise dari sistem kalman filter itu sendiri.

Untuk filtering RSSI pada tugas akhir ini diasumsikan perangkat android tidak bergerak pada saat pengukuran RSSI dan waktu pengukuran statis. Dengan kata lain dalam filtering ini hanya dicari data RSSI yang stabil. Untuk itu nilai u dan nilai A tidak dianggap.

(2)

Step berikutnya adalah bagaimana mendefinisikan state *X* mempengaruhi pengukuran *z (prediction step)*.

(3)

Untuk memprediksi state berikutnya dilakukan prediksi. Model prediksi untuk *kalman filter* ini cukup simpel dimana:

(4)

(5)

Pada persamaan (4), didefinisikan sebagai prediksi pengukuran yang dibuat oleh sistem, berbeda dengan *X* yang merupakan pengukuran dari sistem. Bar diatas dan menunjukkan bahwa variabel tersebut merupakan variabel prediksi yang belum ditambah dengan nilai pengukuran dari RSSI sekarang.

Pada persamaan (5) didefinisikan sebagai kepastian dari prediksi sistem. diukur dari kepastian prediksi pada state sebelumnya ditambah dengan *R* yang merupakan noise yang ditimbulkan dari sistem *kalman filter* sendiri. Hal ini berarti apabila prediksi pada state sebelumnya tidak pasti maka prediksi pada state saat ini juga tidak pasti. Pada *filtering* RSSI digunakan nilai *R* yang kecil, hal ini dilakukan dengan asumsi sebagian besar *noise* didapat dari kesalahan pengukuran RSSI.

Dari estimasi prediksi dihitung kalman gain untuk mengkorporasi prediksi yang telah dibuat dengan pengukuran riil *(update step)*, kalman gain ditulis sebagai berikut

.

(6)

Kalman Gain merupakan fungsi bobot untuk menentukan seberapa pasti pengukuran yang dilakukan. Q didefinisikan sebagai noise dari pengukuran nyata, atau seberapa besar noise yang diharapkan pada pengukuran RSSI sesungguhnya.

Apabila kepastian dari prediksi ( tinggi) maka pengukuran harus diutamakan. Dari bobot ini dibuat prediksi pengukuran dan kepastian sistem dengan persamaan sebagai berikut:

(7)

(8)

Pada step ini dibuat prediksi akhir dengan mengkorporasi pengukuran riil (*z)* kepada prediksi yang telah dibuat pada step sebelumnya. Pada step ini semakin besar kalman gain yang didapatkan berarti semakin besar pengaruh dari pengukuran kepada prediksi yang dibuat.

## Estimasi jarak

Dari kekuatan sinyal yang sudah distabilkan dengan kalman filter dicari jarak antara perangkat android dan akses poin yang memancarkan sinyalnya menggunakan *signal propagation model* sebagai berikut:

(9)

(10)

Dimana :

* RSSI adalah kekuatan sinyal yang diterima oleh perangkat android
* n adalah *signal propagation constant*
* d adalah jarak antara akses poin dan perangkat android
* A adalah RSSI yang diambil pada jarak 1 meter antar perangkat android dan akses poin

*Signal propagation model* sendiri memiliki konstanta (*n*) pada ekuasinya (9) yang membutuhkan penghitungan experiment lapangan untuk menentukannya. Konstanta tersebut adalah konstanta propagasi sinyal yang didapat dari ekuasi (10) dan konstanta kekuatan sinyal yang diambil pada jarak satu meter dari *transmitter,* konstanta *A*.

## Estimasi posisi

Pada tahapan estimasi posisi akan dilakukan *trilateration* untuk mendapatkan estimasi posisi dari *receiver*. Dalam *trilateration* koordinat x dan y dari receiver akan didapatkan dari persamaan jarak berikut [3].

(11)

(12)

(13)

Dari persamaan jarak tersebut masing masing dijabarkan.

(14)

(15)

(16)

Persamaan (5) dikurangi persamaan (4) dan pengurangan persamaan (6) dikurangi persamaan (5).

(17)

(18)

Sutitusi dengan variabel A, B, C untuk persamaan (7) dan D, E, F untuk persamaan (8).

(19)

(20)

Didapatkan solusi dari trilaterasi.

(21)

(22)

# UJI COBA DAN EVALUASI

Dilakukan 3 uji coba yaitu uji coba penentuan jarak dengan signal propagation model uji coba ini dilakukan untuk menentukan *signal propagation constant* yang berbeda tiap lingkungan uji coba, uji coba kalman filter untuk meningkatkan akurasi penentuan jarak, dan uji coba penentuan posisi *Indoor Postioning System*

1. Uji coba *signal propagation model*

Dalam scenario uji coba yang pertama dihitung variabel untuk signal propagation constant. Pada uji coba ini diambil 1000 data RSSI pada jarak 1 meter, 2 meter, 3meter dan 4 meter pada masing masing akses poin untuk training set guna menentukan nilai n dan A . Dan 1000 dataset pada jarak yang sama untuk menentukan akurasi dari nilai n dan A yang telah ditentukan.

Nilai A diambil secara langsung dari rata – rata RSSI yang diambil dari jarak 1 meter, sedangkan nilai n diambil dari persamaan pada bab IV dengan input RSSI dari rata – rata 1000 data pada setiap jarak untuk setiap akses poin.

Dari variabel konstan yang telah ditentukan dilakukan pengetesan akurasi dengan mengambil 1000 data pada jarak satu meter, dua meter, dan tiga meter untuk masing – masing akses poin. Pengetesan akurasi dilakukan dengan mengurangi jarak yang didapat dari signal propagation model dan jarak nyata, dengan menggunakan error perhitungan jarak.

Berikut hasil uji coba yang telah dilakukan.

**Tabel 4.1** Evaluasi hasil uji coba *signal propagation model*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Akses Poin | *A* | Jarak (cm) | Rata – rata RSSI | *n* | Rata – rata error (cm) |
| AP1 | -43.571 | 200 | -57.121 | 4.5012 | 59.56 |
| 300 | -57.685 | 2.9582 | 50.13 |
| 400 | -63.274 | 3.2726 | 27.81 |
| AP2 | -36.908 | 200 | -48.824 | 3.9584 | 29.54 |
| 300 | -55.881 | 3.9766 | 29.5 |
| 400 | -56.459 | 3.2474 | 54.27 |
| AP3 | -42.791 | 200 | -47.972 | 1.7211 | 159.39 |
| 300 | -56.534 | 2.8804 | 51.87 |
| 400 | -50.094 | 1.2130 | 571.58 |

Dari Tabel 4.1 diambil nilai *n* yang memiliki akurasi paling kecil. Didapatkan akurasi dengan rata – rata eror pengukuran kurang dari satu meter.

Diambil *n* dengan nilai 3.272 untuk AP1, 3.976 untuk AP2, 2.880 untuk ap3.

1. Uji coba estimasi jarak dengan *kalman filter.*

Pada skenario uji coba 2 dihitung performa *kalman filter* dalam mengstabilkan flunktuasi sinyal. Performa ini ditentukan dengan pengujian estimasi jarak kepada akses poin dengan ground truth berupa jarak sebenarnya data diambil.

Dilakukan uji coba dengan mengambil data pada satu sampai lima meter terhadap akses poin menggunakan *kalman filter* dengan sampling 0 (tidak menggunakan *kalman filter*), 5 dan 10 data.

**Tabel 4.2** Evaluasi hasil uji coba *kalman filter.*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ground truth (cm) | Error (cm) | | |
| n = 0 | n = 5 | n = 10 |
| 100 | 10.460 | 15.497 | 10.460 |
| 200 | 40.232 | 46.097 | 1.409 |
| 300 | 98.591 | 120.616 | 130.708 |
| 400 | 79.922 | 60.841 | 3.501 |
| 500 | 230.962 | 179.922 | 160.841 |
| Rata - rata | 92.033 | 84.595 | 61.384 |

Dari hasil uji coba terbukti bahwa *kalman filter* dapat meningkatkan akurasi penentuan jarak. Terliat pada tabel 4.2 dimana kesalahan penentuan jarak semakin berkurang seiring dengan bertambahnya sampel yang digunakan di dalam *kalman filter*.

1. Uji coba *indoor positioning system.*

Dalam scenario uji coba yang ke 3 dihitung performa estimasi dengan *kalman filter*. Diambil 50 data pada masing masing titik pada denah yang ada pada gambar 5.1. Data yang diambil tersebut meliputi RSSI dan estimasi jarak dari masing-masing akses poin, dan estimasi posisi dari data tersebut.

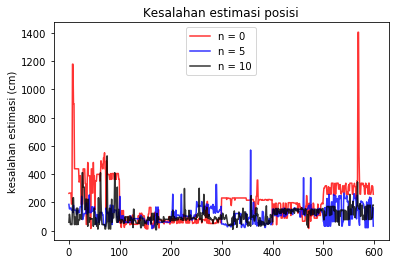
Pengambilan data ini dilakukan tiga kali dengan masing-masing pengujian dilakukan dengan nilai sampling *kalman filter* 0 (tidak menggunakan *kalman filter*), 5, 10.

Performa estimasi akan ditentukan dengan menghitung jarak estimasi ke ground truth dimana data diambil (misalnya pada label a yang berada pada koordinat 100,100). Jarak ini dihitung dengan rumus euclidean distance.

**Tabel 4.3** Evaluasi hasil uji coba *indoor positioning system*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| label | Rata-rata kesalahan estimasi | | |
| n = 0 | n = 5 | n = 10 |
| a | 391.723 | 128.841 | 121.889 |
| b | 75.233 | 73.303 | 74.677 |
| c | 73.360 | 139.389 | 98.751 |
| d | 224.244 | 71.715 | 81.658 |
| e | 146.923 | 142.505 | 138.551 |
| f | 324.978 | 150.955 | 138.179 |

Pada gambar 4.1 terlihat bahwa akurasi estimasi posisi dengan *kalman filter* (garis biru dan hitam) cenderung stabil , hal ini ditandai dengan garis akurasi yang cenderung lurus tanpa adanya naik turun yang ekstrim.



**Gambar 4.1** Grafik kesalahan estimasi posisi tiap data

# KESIMPULAN dan saran

Kesimpulan yang di dapatkan berdasarkan Hasil Uji coba yang telah didapat adalah sebagai berikut :

1. Dari hasil uji coba didapatkan bahwa dengan menggunakan signal propagation model yang telah dikalibrasi didapatkan akurasi sampai dengan 1 meter.
2. Dengan menggunakan kalman filter terhadap RSSI yang diterima didapatkan nilai RSSI yang lebih stabil. Terbukti pada uji coba 2 dan 3 dimana akurasi data yang diambil dengan *kalman filter* memiliki rata-rata akurasi yang lebih tinggi dari data yang diambil tanpa *kalman filter*. Terjadi penurunan estimasi kesalahan sampai dengan 30 % dari dari pengambilan data tanpa menggunakan *kalman filter.*
3. Dengan *trilateration* dapat ditentukan posisi perangkat android. Tetapi metode ini tidak toleran terhadap noise yang berupa kesalahan estimasi jarak dari masing masing poin. Metode ini menggunakan 3 jarak dari 3 titik yang diketahui, dalam kata lain dengan metode ini kesalahan penentuan jarak dari satu titik saja dapat mempengaruhi estimasi posisi secara signifikan. Untuk menanggulangi hal ini digunakan *kalman filter* untuk mengurangi noise dalam penerimaan sinyal untuk penentuan jarak.

Saran yang diberikan dari hasil uji coba dan evaluasi pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan peningkatan akurasi pada estimasi posisi dengan mengurangi noise pada estimasi posisi itu sendiri.
2. Membuat peta interaktif untuk menunjukkan posisi perangkat android saat ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha E sa atas pimpinan, penyertaan, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada orang tua dan keluarga penulis, juga kepada Bapak Waskitho Wibisono dan Bapak Ary Mazharuddin Shiddiqi selaku dosen pembimbing penulis dan kepada semua pihak yang telah memberikn dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung selama penulis melakukan penilitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. V. Ilci, R. M. Alkan, V. E. Gülal, H. Cizmec. (2015), “Trilateration Technique for WiFi-Based Indoor Localization,” Paper presented at ICWMC 2015 : The Eleventh International Conference on Wireless and Mobile Communications.
2. L. Frederic, C. Philippe, C. Pascal, S. François, B. Oumaya. (2005). "A Friis-based Calibrated Model for WiFi Terminal Positioning". Proceedings of IEEE Int. Symp. on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks. 382 - 387. 10.1109/WOWMOM.2005.2.
3. 101computing, “Cell Phone Trilateration Algorithm.” [Online]. Available: https://www.101computing.net/cell-phone-trilateration-algorithm/. [Accessed: 30-May-2020].
4. Yim, J., Jeong, S., Gwon, K. and Joo, J., 2010. "Improvement of Kalman filters for WLAN based indoor tracking". Expert Systems with Applications, 37(1), pp.426-433.
5. Wikipedia, "Android" [Online]. Available: https://id.wikipedia.org/wiki/Android\_(sistem\_operasi). [Accessed 2 june 2020].
6. Wikipedia, "Java" [Online]. Available: https://id.wikipedia.org/wiki/ Java. [Accessed 2 june 2020].
7. Wikipedia, "Arduino IDE" [Online]. Available: https://en.wikipedia .org/wiki/Arduino\_IDE [Accessed 2 june 2020].
8. Wikipedia, "Python (bahasa pemrograman)" [Online]. Available: https://id.wikipedia.org/wiki/Python\_(bahasa\_pemrograman) [Accessed 2 june 2020].
9. Wikipedia, "Spyder (software) " [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Spyder\_(software) [Accessed 2 june 2020].