

PENINGKATAN AKURASI ESTIMASI JARAK RSSI DENGAN MODEL LOG NORMAL MENGGUNAKAN METODE KALMAN FILTER PADA BLUETOOTH LOW ENERGY

Willy Dharmawan^{1*}, Andi Kurnianto² dan Abhimata Ar-Rasyiid³

^{1,2,3}Pusat Teknologi Elektronika, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
Gedung Teknologi 3, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan 15314

*E-mail : willy.dharmawan@bppt.go.id

ABSTRAK

BLE (*Bluetooth Low Energy*), teknologi wireless terbaru untuk jarak pendek, memiliki potensi yang sangat besar untuk memungkinkan coverage dari sistem *Localization* dan juga cocok untuk teknologi IoT (*Internet of Things*). Hubungan antara nilai RSSI (*Received Signal Strength Indication*) dan jarak merupakan fondasi dan kunci dari sistem *Localization*. Model log normal, sebagai model propagasi sinyal yang lebih umum untuk kondisi di dalam ruangan, dapat mendeskripsikan hubungan antara nilai RSSI dengan jarak. Meskipun begitu, oleh karena sifat alami dari sinyal *wireless*, nilai RSSI sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, sehingga, pada umumnya nilai tersebut memiliki level noise yang cukup tinggi yang mengakibatkan tidak akuratnya estimasi jarak. Maka dari itu, Kalman Filter diperlukan untuk menstabilkan sinyal RSSI. Pada paper ini, kami melakukan uji coba pengukuran di dalam ruangan tertutup, yang merupakan tempat umumnya BLE dipasang. Kami mengaplikasikan model Log Normal untuk mengestimasi jarak dan Kalman Filter untuk menstabilkan sinyal. Secara keseluruhan, kami memperoleh Mean Absolute Error dari estimasi jarak RSSI di dalam ruangan tertutup kurang dari 0.6 meter dengan kondisi jarak optimum 1-5 meter. Hal ini menunjukkan perbaikan yang cukup besar dibandingkan dengan estimasi jarak pada RSSI yang belum di filter.

Kata kunci: *bluetooth low energy, rssi, Kalman filter, log normal*

ABSTRACT

BLE (Bluetooth Low Energy), novel wireless short range radio technology, has tremendous potential for enabling coverage of Localization system as well as suitable for IoT (Internet of Things) technology. The relationship between RSSI (Received Signal Strength Indication) values and distance is the foundation and the key of Localization technology. Model Log Normal as a more general signal propagation model for indoor environment, can describe the relationship between the RSSI value and distance. However, due to wireless signal nature, RSSI values are heavily influenced by the environment and have consequently high level of noise which affects inaccurate distance estimation. Therefore, Kalman filter is needed to stabilize the signal. In this paper, we experimented the measurement in indoor closed room, where BLE nodes are generally deployed. We applied Log Normal model to estimate the distance and Kalman filter to combat the noise. Overall, we obtain the Mean Absolute Error from RSSI distance estimation in indoor closed room less than 0.6 meter on optimum distance condition 1-5 meter range. It shows huge improvement compared to unfiltered RSSI.

Keywords : *bluetooth low energy, rssi, Kalman filter, log normal*

PENDAHULUAN

Jutaan perangkat teknologi bluetooth yang terimplementasikan cukup luas pada perangkat elektronik telah tersedia di market saat ini. Selain itu juga, berdasarkan report IHS, bluetooth telah melakukan penetrasi sekamir 90% di semua mobile phone

(Bachrach, 2005). Perkembangan yang cukup luas dari teknologi bluetooth ini telah meningkatkan peningkatan permintaan untuk layanan location based. Hal ini dikarenakan teknologi navigasi outdoor sebelumnya, yaitu GNSS (*Global Navigation Satellite System*) sangat tidak reliable di dalam ruangan.

Kemajuan dari BLE menegaskan prospek sistem *Localization* di dalam ruangan dengan menggunakan bluetooth.

Estimasi jarak dengan memanfaatkan RSSI merupakan metode yang terdapat pada BLE untuk mendukung sistem *Localization*. Terpisah dari akurasi yang kurang baik (Bachrach, 2005), Metode ini adalah teknologi yang paling banyak digunakan saat ini dari sisi cost yang dikarenakan lebih murah dibandingkan dengan metode lainnya (Bachrach, 2005).

Metode pemodelan Log Normal merupakan metode yang umum digunakan untuk memodelkan propagasi sinyal RF di dalam ruangan. Metode ini dapat memperlihatkan hubungan antara jarak dengan RSSI. Meskipun begitu, penentuan jarak menggunakan RSSI sangat dipengaruhi oleh pengaruh berbagai macam fenomena yang dapat menyebabkan path loss. Fenomena tersebut adalah refleksi, difraksi, fading, shadowing, dan sebagainya, sehingga, RSSI yang diperoleh akan mengalami fluktuasi yang mengakibatkan ketidakakuratan dalam penentuan jarak (Dharmawan, 2016).

Maka selain metode Log Normal, juga diperlukan metode lain untuk menstabilkan sinyal. Metode Kalman Filter merupakan varian dari *particle filter* yang dapat digunakan pada permasalahan perubahan terus menerus tersebut. Output hasil dari Kalman filter merupakan hasil estimasi yang cenderung akurat dibandingkan dengan nilai pengukuran tersebut. Selain itu, sistem ini cukup *light memory* dan cepat dalam sistem, sehingga sangat cocok pada kasus real time.

Pada paper ini, kami memanfaatkan metode Kalman Filter untuk peningkatan akurasi estimasi jarak RSSI yang hanya memanfaatkan metode pemodelan Log Normal. Sampel pengukuran diambil di dalam ruangan dengan *path loss exponent* yang telah dikalibrasi sebelumnya (Dharmawan, 2015). Pemanfaatan Kalman Filter ini akan memperlihatkan peningkatan akurasi terhadap

penggunaan metode pemodelan Log Normal sebagai metode penentuan jarak.

METODE

Model Log Normal

Pathloss dari model *free space* merupakan kasus transmisi ideal. Beberapa factor yang mempengaruhi propagasi sinyal, seperti multipath, rintangan dan sebagainya, diabaikan dalam model ini. Hubungan linear antara energy transmisi sinyal dan jarak transmisi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Loss = 32.44 + 10n \log(d) + 10n \log(f) \quad (1)$$

Pada persamaan ini, *loss* diindikasikan sebagai *path loss* dari energy sinyal, **d** diindikasikan sebagai jarak transmisi sinyal, **f** diindikasikan sebagai frekuensi dari transmisi sinyal wireless dan **n** diindikasikan sebagai *path attenuation factor* pada kondisi tertentu.

Namun, kondisi dari aplikasi sinyal wireless sensor bukan di *free space*, umumnya, hal tersebut diaplikasikan area yang terobstruksi seperti perkantoran, daerah industri, dan sebagainya, sehingga beberapa hal ini sangat perlu untuk dipertimbangkan, yaitu efek multipath, serapan dari *obstacle*, dan sebagainya. Oleh karena itu, *large scale path loss* rata-rata pada jarak **d** antara pengirim dan penerima diekspresikan sebagai fungsi dari jarak dengan PLE, **n**. Persamaan (Rappaport, 1996) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$PL(d) \propto \left(\frac{d}{d_0}\right)^n, \quad (2)$$

$$\overline{PL(d)} = \overline{PL(d_0)} + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right), \quad (3)$$

Dimana, **n** merupakan path loss exponent yang mengindikasikan nilai pertambahan *path loss* pada jarak **d**. Jarak referensi (**d₀**) ditentukan dari jarak terdekat dengan pengirim. PLE, **n**, bergantung pada kondisi spesifik dari lingkungan seperti bahan bangunan, konstruksi, arsitektur, dan sebagainya. Tabel 1 merupakan daftar dari tipikal PLE dari berbagai macam kondisi lingkungan untuk propagasi gelombang radio.

Tabel 1. PLE untuk kondisi lingkungan yang berbeda (Rappaport, 1996)

Kondisi Lingkungan	PLE, n
<i>Free Space</i>	2
Daerah urban untuk cellular radio	2,7 hingga 3,5
<i>Shadowed Urban Cellular Radio</i>	3 hingga 5
Dalam bangunan LOS (<i>Line of Sight</i>)	1,6 hingga 1,8

Dalam bangunan terobstruksi	4 hingga 6
Dalam pabrik terobstruksi	2 hingga 3

Pada umumnya, efek *slow fading* atau *shadowing* tidak dapat diabaikan dalam pemodelan sinyal RF pada kondisi nyata. Maka dari itu, persamaan (3) dapat dimodifikasi sebagai berikut:

$$\overline{PL(d)} = \overline{PL(d_0)} + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{\sigma}, \quad (4)$$

Dimana, X_{σ} merupakan variable acak yang memiliki mean 0 dan terdistribusi gaussian dengan deviasi σ . X_{σ} memiliki satuan dB. Jarak referensi d_0 , PLE dan deviasi σ , secara statistik mendeskripsikan model *path loss* untuk lokasi yang spesifik pada jarak *transmitter-receiver*.

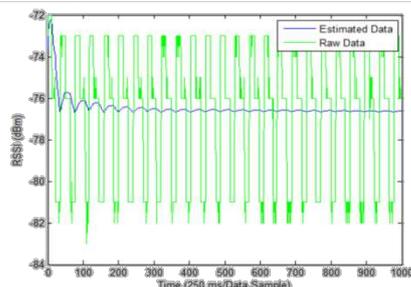
Agar kami dapat melakukan kalkulasi PLE, persamaan (3) dapat dituliskan sebagai berikut (Miranda, 2013):

$$\hat{p}(d) = p(d_0) - 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) - X_{\sigma}, \quad (5)$$

Dimana p merupakan daya yang diterima pada jarak d dan \hat{p} merupakan estimasi daya dari p .

Kalman Filter

Kalman Filter merupakan sebuah proses berulang yang menggunakan set persamaan matematis dan input data yang berurutan. Proses ini akan mengestimasi nilai sebenarnya secara cepat, contoh: nilai posisi, dan kecepatan, dari objek yang sedang diukur. Nilai yang diukur tersebut umumnya terdapat error acak, *uncertainty* atau variasi. Sebagai contoh, pemanfaatan Kalman filter pada sebuah sinyal RSSI dari suatu source yang memiliki hasil pengukuran raw yang sangat acak. Pada ilustrasi tersebut, nilai estimasi akan secara cepat mendekati nilai pengukuran yang sesungguhnya.



Gambar 1. Grafik proses Kalman Filter pada RSSI

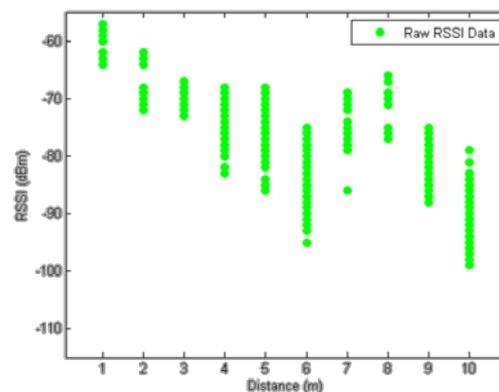
Akuisisi Data RSSI

Kami memanfaatkan smartphone android tipe SM-N910H untuk mengambil data RSSI dari BLE, dan juga BLE Kontakt yang saat ini cukup dikenal dan berkembang secara luas. Tipe smartphone ini memiliki OS Android 6.0 yang telah *support* dengan BluetoothLeScanner yang *support* library API 21.

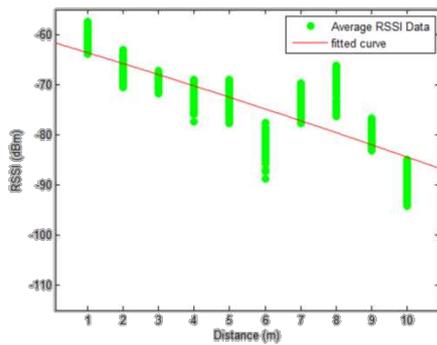
Nilai RSSI diperoleh melalui BluetoothLeCallback pada ScanResult dengan public method `getRssi()`. Salah satu keuntungan yang cukup penting dari penggunaan library API 21 untuk BLE adalah setting untuk mode scanning. Dengan ini, kami juga bisa men-set *scanning duty cycle* pada smartphone. Pada paper ini, kami men-set scanning ke nilai *duty cycle* tertinggi agar kami dapat memperoleh sample dari data sebanyak mungkin. Kami juga melakukan filtering data yang diterima secara keseluruhan dengan menggunakan ScanFilter.

Data Sampling

Untuk menentukan estimasi jarak dari sinyal RSSI Bluetooth, *raw data RSSI* masih kurang cukup dalam menjadi referensi. Maka dari itu, kami mengambil nilai rata-rata dari 10 sampel pengukuran. Selain itu, hal ini juga dapat mengurangi noise dan nilai ekstrim.



Gambar 2. Raw data RSSI untuk setiap jarak



Gambar 3. Average data RSSI dari sampel pengukuran

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tuning Parameters

Pada persamaan (3), jarak dapat diestimasi dengan memanfaatkan nilai RSSI. Selain itu, parameter PLE juga dapat ditentukan dengan menggunakan metode MSE (*Mean Squared Error*) (Dharmawan, 2016).

Melalui proses akuisisi data RSSI, seperti pada penjelasan sebelumnya, kami mengambil sampel data RSSI sebanyak 1000. Proses *data sampling* pun dilakukan untuk mengurangi noise dan data ekstrim. Kemudian kita aplikasikan persamaan (4) dan diperoleh nilai $P_0 = -61.3050$ dan $PLE = 1.8200$.

Setup Pengukuran

Pengukuran dilakukan selama 40 menit di dalam ruangan tertutup dengan skema jarak jarak yang berbeda, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 meter. Selama pengukuran, posisi *beacon* statis dan berada dalam kondisi LOS

terhadap posisi smartphone dengan tinggi 2 meter. Posisi smartphone tertidur atau LD (*Laying Down*) dan posisi *beacon* berdiri mengikuti kondisi actual saat di-deploy sebagai node untuk aplikasi *indoor navigation*.

Pemodelan Kalman Filter

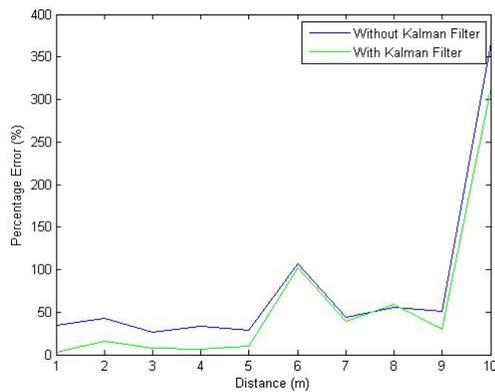
Pada implementasi Kalman Filter RSSI, pada step prediksi *covariance matrix*, kami berasumsi bahwa keseluruhan noise didominasi oleh *measurement noise*, sehingga noise proses dianggap kecil. Selain itu juga untuk mengurangi kompleksitas komputasi, kami memodelkan filtering RSSI sebagai model diskrit dengan waktu invariant.

Hasil dan Analisa

Kami menunjukkan hasil perhitungan error pada masing-masing prosedur pengukuran di tabel 2. Tabel bagian pertama menunjukkan error tanpa aplikasi filter dan tabel kedua menunjukkan error dengan aplikasi filter. Secara keseluruhan, semakin jauh jarak antara source atau *beacon* dengan smartphone, semakin meningkat juga error perhitungan estimasi jarak. Selain itu juga, perbaikan error terjadi secara *significant* pada jarak 1 hingga 5 meter dengan rasio perbandingan error adalah 2 hingga 17 kali (pada jarak 1 meter). Berdasarkan hal ini, dapat diketahui juga bahwa jarak yang paling optimum untuk sistem positioning dengan menggunakan estimasi jarak RSSI pada BLE adalah 1 hingga 5 meter.

Tabel 2. Hasil Error

Tanpa Kalman Filter	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	10 m
Percentage Error (%)	35.67	41.15	33.46	35.88	32.09	113.94	45.4	54.83	50.48	364.39
Mean Absolute Error (m)	0.356	0.823	1	1.43	1.6	6.83	3.17	4.38	4.54	36.43
Dengan Kalman Filter										
Percentage Error (%)	2.28	15.67	8.13	6.31	10.20	103.77	39.5	58.68	29.40	313.82
Mean Absolute Error (m)	0.02	0.313	0.244	0.252	0.51	6.22	2.76	4.69	2.64	31.38



Gambar 4. Grafik perbandingan *Percentage Error* antara 2 proses estimasi jarak

Pada Gambar 4, kami memperlihatkan perbandingan persentase error untuk masing-masing proses estimasi jarak tanpa Kalman Filter RSSI dan tanpa Kalman Filter. Metode yang kami implementasikan secara jelas memperbaiki estimasi jarak dengan RSSI.

SIMPULAN DAN SARAN

Kalman Filter dapat dimanfaatkan untuk menstabilkan sinyal RSSI yang diperoleh dari Bluetooth Low Energy yang berfungsi sebagai *beacon*. Hal ini sangat berdampak terhadap improvisasi estimasi jarak yang memanfaatkan RSSI. Selain itu dapat diketahui bahwa, jarak optimum untuk memperoleh estimasi jarak pada RSSI yang baik adalah 1 hingga 5 meter. Hal ini dapat menjadi referensi dalam pemasangan BLE sebagai *beacon* dalam sistem *Indoor Navigation*.

Perlu diketahui juga, terdapat parameter-parameter lainnya yang perlu dipertimbangkan terhadap sistem yang diimplementasikan pada paper ini. Hal pertama adalah level baterai dari *beacon*. Kemudian, setup eksperimen tidak memasukan faktor penghalang, seperti dinding, dan halangan lainnya di dalam ruangan yang dapat menjadi interferensi dan menambah noise. Selain itu juga, terdapat faktor penting yang perlu diuji yaitu mobilitas pengguna. Dengan penambahan parameter-parameter ini dalam pengujian, ketahanan sistem estimasi jarak yang diimplementasikan pada paper ini akan dapat dievaluasi lebih maksimal.

UCAPAN TERIMAKASIH

Author sangat berterima kasih kepada Lab Telecommunication & New Media di

Pusat Teknologi Elektronika BPPT untuk dukungan finansial.

DAFTAR PUSTAKA

- Dahlgren, Erik, Hasan, Mahmood. Evaluation of indoor positioning based on Bluetooth Smart Technology. Thesis For Master Science in Programme Computer Systems and Network, Chalmers University of Technology, Juni 2014, pp. 59-63.
- Dharmawan, Willy, Kurnianto, Andi, Retnawati. 2016. *Evaluation Of Received Signal Strength Indication Of Bluetooth Low Energy On Distance Estimation*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi, Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang. ISBN 978-602-99334-5-1.
- Dong, Qiang, Dargie, Walteneus. Evaluation of the Reliability of RSSI for Indoor Localization. IEEE Wireless Communications in Unusual and Confined Areas (ICWCUCA), 2012.
- J. Bachrach and C. Taylor. 2005. "Localization in Sensor Networks," Handbook dari Sensor Networks: Algorithms and Architectures, I. Stojmenovic, Ed., Wiley.
- Miranda J., Abrishambaf T., et all. Path Loss Exponent Analysis in Wireless Sensor Network: Experimental Evaluation. Conference Paper dari Researchgate, University Minho, July 2013.
- Rappaport, T.S., "Wireless Communication Principle and Practice," Prentice Hall, 1996.