

# Simulasi Penentuan Lokasi Perangkat Bergerak dengan Metode *Enhanced Observed Time Difference*

Hilal H. Nuha<sup>1</sup>, Nachwan M. Andriansyah<sup>2</sup>, dan Asep Mulyana<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Informatika, <sup>2,3</sup>Fakultas Teknik Elektro

Telkom University

Bandung, Indonesia

e-mail: <sup>1</sup>hilalnuha@telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>nachwanma@telkomuniversity.ac.id,

<sup>3</sup>asepmulyana@telkomuniversity.ac.id

Diajukan: 23 November 2019; Direvisi: 12 Februari 2020; Diterima: 17 Februari 2020

## Abstrak

Sebagai alternatif *Global Positioning System (GPS)* yang berbasis satelit, jaringan seluler yang tersebar di berbagai daerah bisa digunakan untuk penentuan lokasi seperti *Enhanced Observed Time Difference (EOTD)* yang merupakan teknik penentuan lokasi menggunakan perangkat seluler seperti *Base Transceiver Station (BTS)* dan *Mobile Station (MS)*. Sistem *EOTD* membutuhkan komponen tambahan *BTS* berupa *Location Measurement Unit (LMU)* dan *Serving Mobile Location Center (SMLC)*. *LMU* berfungsi memberitahu *MS* tentang waktu pengiriman sinyal sedangkan *SMLC* berfungsi sebagai server yang menerima request dari *MS* dan *LMU*. Jarak antara *MS* dan *BTS* bisa diperkirakan dengan mengalikan selisih waktu dengan kecepatan cahaya. Dengan menggunakan dua buah jarak dari dua buah *BTS*, maka dua buah hiperbola bisa dibuat dengan titik pusat pada masing-masing koordinat *BTS*. Posisi dari *MS* bisa ditentukan dari titik temu dua hiperbola tersebut. Evaluasi teknik penentuan lokasi ini dilakukan dengan simulasi pada berbagai kondisi medan mulai dari kondisi diam dan bergerak dengan kecepatan tertentu dengan frekuensi carrier yang beragam. Sebagai perbandingan, untuk kondisi *Non-Line of Sight (NLOS)* pada model kanal urban *3GPP*, simulasi sistem yang menggunakan laterasi dua buah kurva hiperbola dengan selisih pengukuran maksimum 0.0148 Km yang lebih akurat daripada metode perbandingan *Estimated-Time of Arrival (ETOA)* dengan selisih pengukuran maksimum 0.31858 Km.

**Kata kunci:** Penentuan posisi, *EOTD*, Sistem seluler.

## Abstract

As an alternative to satellite-based *Global Positioning System (GPS)*, cellular networks can be used for determining device location. *Enhanced Observed Time Difference (EOTD)* is a method that uses the arriving signal from *Base Transceiver Station (BTS)*. *EOTD* system requires two additional components other than *Mobile Station (MS)* and *BTS*. The additional components are the *Location Measurement Units (LMUs)* for informing the signal delivery timing to the *MS* and *Serving Mobile Location Center (SMLC)* for answering the request from *MS* and *LMU*. The distance between the *MS* and *BTS* can be estimated by multiplying the time difference with the speed of light. Two hyperbolae are then constructed using two *BTS* distances, where the centers are located at the *BTS* coordinates. The position of the *MS* can be determined from the intersection of two hyperbolae. For evaluating the performance of this positioning method, several simulations are performed on many different conditions. As a comparison, for non-line of sight (*NLOS*) condition on the Urban *3GPP* channel model, simulation of *EOTD* achieves a maximum error measurement distance of 14.8 meters outperforming the comparative method *Estimated-Time of Arrival (ETOA)* with a maximum error measurement distance of 318.58 m.

**Keywords:** Cellular system, *EOTD*, Positioning.

## 1. Pendahuluan

Sejak tahun 2012, penetrasi jaringan telekomunikasi seluler telah mencapai 80% [1]. Meluasnya fasilitas jaringan seluler tersebut merupakan sebuah kesempatan bagi operator untuk menambah layanan dan fitur yang ditawarkan pada pelanggan. Salah satunya adalah *Location Based System (LBS)* yang merupakan fitur tambahan yang bisa ditawarkan ke pelanggan. Berbeda dengan *Public Switched Telephone Network (PSTN)*, jaringan seluler bersifat *mobile*, sehingga posisi pengguna bisa berubah-ubah setiap

waktu. Salah satu fasilitas LBS yang sering ditawarkan adalah *Global Positioning System* (GPS) yang menggunakan fasilitas satelit untuk mengetahui posisi pelanggan. GPS sendiri merupakan salah satu LBS dengan akurasi yang paling tinggi, namun merupakan metode LBS yang juga mahal selain dari penggunaan satelit, *handset* pengguna juga harus mendukung fitur tersebut.

Salah satu alternatif untuk LBS tanpa menggunakan sistem non-GPS yang muncul adalah metode *Enhanced Observed Time Difference* (EOTD) yang menggunakan selisih waktu kedatangan sinyal yang dilaterasikan secara hiperbola untuk menentukan posisi sehingga murni hanya memerlukan fasilitas jaringan seluler dan *handset* tidak membutuhkan perangkat tambahan berupa GPS. Pemanfaatan LBS dengan EOTD sendiri sebelumnya hanya sebatas *Automatic Location Information* (ALI) untuk menentukan posisi panggilan darurat seperti polisi dan rumah sakit. Namun pada pengembangannya bisa digunakan untuk mencari posisi kendaraan (*mobile tracking*), *games*, dan komunitas sosial di dunia maya dengan biaya lebih rendah. Selain itu, karena tidak membutuhkan perangkat tambahan berupa GPS, maka konsumsi daya untuk perangkat bergerak atau *Mobile Station* (MS) bisa semakin dikurangi sehingga baterai lebih tahan lama.

Secara umum cara kerja penentuan posisi bisa dicontohkan oleh GPS yang merupakan teknologi geolokasi [2]. Metode ini memanfaatkan bantuan dari satelit yang terus memantau posisi dari *GPS receiver*. GPS memberikan informasi *latitude*, *longitude*, dan *altitude* dari *GPS receiver*. GPS terdiri atas tiga segmen yaitu *Space Segment* (SS), *User Segment* (US), dan *Control Segment* (CS). SS melibatkan 24 satelit di mana masing-masing satelit mengirimkan sinyal yang terdiri atas dua pesan navigasi, gelombang sinus pada frekuensi *carrier*, dan dua kode digital. *Carrier* dan dua kode digital tersebut digunakan untuk menghitung jarak *GPS receiver* terhadap satelit GPS. Pesan navigasi berisi informasi koordinat satelit sebagai fungsi waktu. Pada awalnya, US atau pengguna hanya berasal dari kalangan militer namun sekarang pengguna GPS semakin banyak berasal dari masyarakat sipil untuk keperluan sehari-hari. Pengguna GPS dapat menerima sinyal melalui *GPS receiver* yang terhubung ke antena GPS di mana sinyal tersebut digunakan untuk menghitung koordinat pengguna di mana pun dia berada. Saat sistem diaktifkan, maka *GPS receiver* secara otomatis mencari beberapa satelit yang cakupannya bisa menjangkau pengguna sehingga bisa mendeteksi sinyal dengan baik. Jika kondisi tersebut terpenuhi maka posisi US dapat ditentukan dengan baik. US akan membaca sinyal GPS yang cocok, menghitung jaraknya dari semua satelit yang berhubungan dengannya dengan mengirimkan informasi balik ke server lokasi. Jarak satelit GPS diperoleh dengan cara mengukur waktu pengiriman sinyal dari satelit GPS ke *GPS receiver*. Namun, karena GPS mempunyai prinsip kerja yang berbasis pada sinyal satelit, jika perangkat berada di area perkotaan, sinyal GPS dapat dilemahkan oleh kendaraan, gedung, dan lain-lain. Selain itu, perangkat GPS mempunyai konsumsi daya yang besar sehingga jika perangkat tersebut diaktifkan secara terus-menerus maka waktu hidup dari perangkat tersebut menjadi lebih singkat. Kelemahan tersebut membuat GPS tidak cocok untuk aplikasi darurat seperti *emergency call*.

Untuk meningkatkan akurasi dari GPS, maka para peneliti mengembangkan suatu sistem yang dinamakan *Assisted GPS* (A-GPS) [3]. A-GPS adalah teknologi yang menggunakan *assistance server* untuk mengurangi waktu yang diperlukan dalam penentuan posisi. Yang membedakan antara A-GPS dan GPS biasa adalah penambahan segmen *assistance server*. Pada jaringan GPS biasa hanya terdapat satelit GPS dan *GPS receiver*. Sedangkan pada jaringan A-GPS, *receiver* berbagi tugasnya dengan *assistance server*, sehingga pemrosesan lebih cepat dan lebih efisien dibandingkan GPS biasa. Namun metode A-GPS mempunyai kekurangan jika berada pada kondisi *non-Line of Sight* (non-LOS). Sinyal yang dibutuhkan dari beberapa satelit pun tidak tersedia sehingga fitur dari A-GPS tidak dapat bekerja dengan baik. Kondisi seperti ini menyebabkan A-GPS tidak dapat berfungsi dengan baik. Kondisi ini biasa terjadi pada lokasi bawah tanah, di dalam gedung, kereta, dan angkutan tertutup lainnya, di bawah bangunan dengan struktur atap yang terbuat dari baja, di antara gedung tinggi atau di bawah kumpulan pepohonan, dan di dekat menara pemancar radio atau televisi. Selain itu ketika antena AGPS tertutup oleh tangan atau objek yang lain atau menghadap ke tanah maka akurasi sistem juga berkurang. Pada temperatur yang ekstrem di luar batas pengoperasian perangkat elektronik, sistem ini juga tidak bisa berfungsi dengan baik [3].

LBS yang berbasis jaringan seluler pada dasarnya menggunakan BTS atau sel (*Cell*) terdekat sebagai referensi penentuan posisi. Informasi yang diperoleh dari BTS yang terhubung bisa digunakan untuk memperkirakan lokasi MS. Selain EOTD, perkembangan LBS berbasis jaringan seluler bisa dirunut dari beberapa penelitian berikut. Metode paling mendasar yang bisa dilakukan untuk LBS adalah penggunaan *Pure Cell Information* (Cell ID) [4]. Setiap BTS memiliki area cakupan (*Coverage Area*). Setiap MS akan ditangani oleh BTS yang memiliki sinyal terkuat yang dideteksi oleh MS tersebut. Dengan mengetahui sel yang terhubung MS, maka sistem dapat memastikan bahwa MS berada di dalam cakupan area sel tersebut. Metode ini tentu saja sangat sederhana dan hanya membutuhkan satu BTS, akan tetapi metode ini tidak terlalu presisi dalam menentukan lokasi karena jangkauan BTS bisa sangat luas sehingga

lokasi dari MS tidak bisa ditentukan secara pasti. Untuk memperoleh presisi yang lebih tinggi, maka representasi lokasi berupa koordinat atau titik lebih diminati. Namun, pada praktiknya, penentuan lokasi secara tepat sangat sulit. Oleh karena itu, *Point Estimation* digunakan sebagai perkiraan posisi dari MS. Alternatif lainnya yaitu menggunakan pelemahan sinyal (*signal attenuation*) untuk memperkirakan jarak dari BTS ke MS [5], [6]. Metode ini juga kurang andal karena sistem tidak dapat memperhitungkan secara tepat pengaruh faktor pelemahan sinyal yang lain selain dari pelemahan akibat dari penambahan jarak. *Time Of Arrival* (TOA) [7] adalah metode penentuan lokasi dengan cara menghitung lama waktu perjalanan sinyal dari BTS ke MS dan membandingkannya dengan waktu kedatangan sinyal dari BTS tetangganya. Metode ini menghasilkan pengukuran jarak yang lebih akurat dibandingkan metode-metode sebelumnya namun metode ini sangat membutuhkan sinkronisasi waktu antar perangkat dengan presisi yang tinggi [8]. Dengan perkembangan jaringan komunikasi *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) yang menggunakan banyak antena, metode *Angle Of Arrival* (AOA) [9] pun muncul dengan menggunakan pengukuran sudut kedatangan sinyal untuk menentukan posisi. Pada daerah yang *rural* yang memiliki *coverage area* yang sangat luas karena *density* yang rendah, metode tersebut tidak dapat memberikan performansi yang baik. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, sistem membutuhkan antena direksional atau *array*. Selain penggunaan waktu dan sudut kedatangan, kekuatan sinyal juga bisa digunakan untuk menentukan LBS seperti pada makalah [10].

Dengan banyaknya media dan alat yang bisa digunakan untuk LBS, fungsionalitas ini banyak digunakan pada berbagai aktivitas. Martinelli dkk [11] menggunakan LBS untuk menentukan perilaku pejalan kaki pada berbagai kondisi jalanan. Qiu dan Mutka [12] membuat peta konstruksi dengan penentuan lokasi dalam ruangan (*indoor*). Metode LBS dalam ruangan juga digunakan oleh Madani dkk [13] sebagai pemandu jalan para tuna netra dalam gedung. LBS juga digunakan untuk deteksi kondisi lingkungan pengemudi pada makalah [14]. Terakhir, Keefe dkk [15] menggunakan fungsionalitas ini untuk memantau aktivitas di dalam hutan.

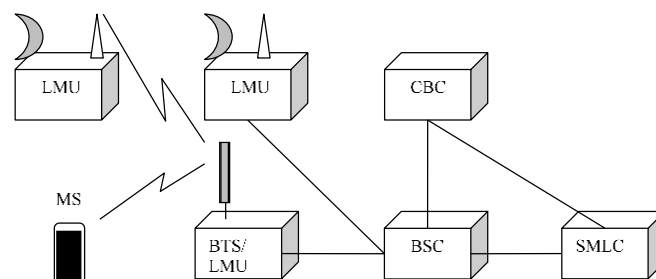
Pada makalah ini, peneliti akan membahas tentang konfigurasi penentuan lokasi dengan metode EOTD yang diusung oleh Maloney dkk [16] untuk jaringan seluler termasuk fungsi dari masing-masing perangkat. Selain itu makalah ini menyajikan analisis performansi dari sistem penentuan lokasi dengan metode EOTD pada kondisi kanal ideal dan *multipath*. Pada bagian selanjutnya, makalah ini disusun sebagai berikut. Bagian II menjelaskan tentang penentuan posisi dengan EOTD. Perancangan dan hasil percobaan dibahas pada bagian III. Makalah ini diakhiri dengan simpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

## 2. Dasar Teori dan Metode Penelitian

Pada bagian ini, peneliti akan memberikan penjelasan tentang metode EOTD termasuk perangkat-perangkat yang dibutuhkan untuk menunjang metode tersebut.

### 2.1. Metode *Enhanced Observed Time Difference* (EOTD)

Metode EOTD menentukan posisi perangkat yang dicari dengan menggunakan *Time Difference of Arrival* (TDOA) yang berbasis pada *Observed Time Difference* (OTD) atau selisih waktu kedatangan pada sinyal *downlink* yang terdapat pada sistem *Global System for Mobile communications* (GSM).



Gambar 1. Arsitektur sistem penentuan posisi pada GSM.

Secara umum, arsitektur penentuan lokasi menggunakan EOTD bisa diilustrasikan oleh Gambar 1. Selain perangkat umum untuk komunikasi seluler berupa MS, BTS, *Base Station Center* (BSC), dan *Cell Broadcast Center* (CBC), sistem EOTD mempunyai komponen tambahan yaitu *Location Measurement Unit* (LMU) dan *Serving Mobile Location Center* (SMLC). LMU bersifat statis (posisinya tetap) sedangkan MS bersifat *mobile* (posisinya berubah-ubah). Semua observasi diukur melalui sinyal *downlink* yang

dilakukan oleh MS dan LMU sedangkan SMLC hanya berfungsi sebagai *server* yang menyinkronkan semua informasi yang dibutuhkan. Proses penentuan lokasi, secara sederhana dijelaskan melalui langkah-langkah berikut:

1. Waktu propagasi BTS ke LMU ( $t_{LMU-BTS}$ ) karena jarak dari kedua komponen tersebut tidak berubah.
2. MS melakukan pengukuran waktu saat kedatangan sinyal dari BTS ( $T_{MS}$ ).
3. LMU melakukan pengukuran waktu kedatangan sinyal dari BTS ( $T_{LMU}$ ) sehingga waktu saat sinyal dikirim dari BTS ( $T_{BTS}$ ) bisa didapatkan melalui persamaan berikut:

$$t_{LMU-BTS} = T_{LMU} - T_{BTS} \tag{1}$$

$$T_{BTS} = T_{LMU} - t_{LMU-BTS} \tag{2}$$

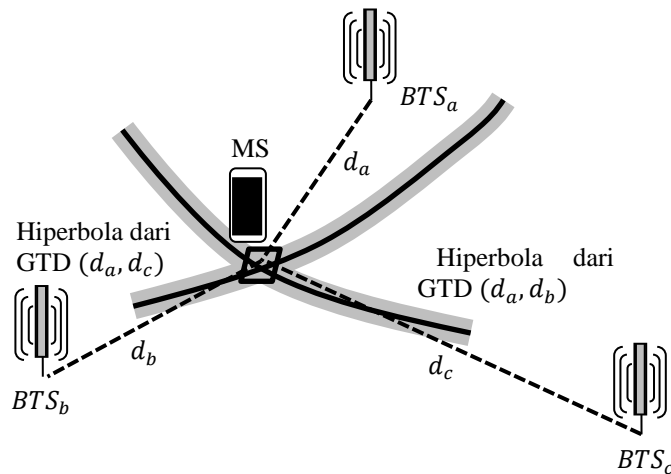
4. LMU mengirim informasi waktu sinyal dikirim dari BTS ( $T_{BTS}$ ) ke MS.
5. MS menghitung waktu propagasi BTS ke MS ( $t_{MS-BTS}$ ) lewat persamaan:

$$t_{MS-BTS} = T_{MS} - T_{BTS} \tag{3}$$

Dari tiga BTS yang amati oleh MS dan LMU akan didapatkan tiga buah waktu pengamatan  $t_{MS-BTS}$  yang merepresentasikan Geometric Time Difference (GTD). Dari masing-masing waktu pengamatan, jarak antara BTS dan MS yang dinotasikan dengan  $d$  bisa ditentukan dengan persamaan berikut:

$$d = ct_{MS-BTS}, \tag{4}$$

Di mana  $c$  adalah kecepatan sinyal yang diasumsikan sama dengan kecepatan cahaya  $c = 2,9 \times 10^8 m/s$ .



Gambar 2. Ilustrasi laterasi hiperbola pada jaringan GSM.

Penentuan posisi ditentukan dengan laterasi hiperbola seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Posisi dari MS dalam bentuk koordinat  $(x, y)$  dapat dihitung dari solusi irisan dari dua buah persamaan hiperbola:

$$(t_{MS-BTSa} - t_{MS-BTSb}) \times c = d_{a,b} = \sqrt{(x_a - x)^2 + (y_a - y)^2} - \sqrt{(x_b - x)^2 + (y_b - y)^2} \tag{5}$$

$$(t_{MS-BTSa} - t_{MS-BTSc}) \times c = d_{a,c} = \sqrt{(x_a - x)^2 + (y_a - y)^2} - \sqrt{(x_c - x)^2 + (y_c - y)^2} \tag{6}$$

Di mana  $(x_a, y_a)$ ,  $(x_b, y_b)$  dan  $(x_c, y_c)$  berturut-turut merupakan koordinat dari  $BTS_a$ ,  $BTS_b$ , dan  $BTS_c$ .

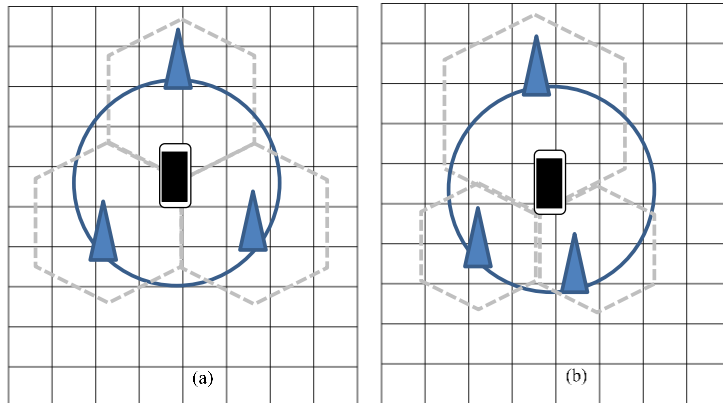
**2.2. Konfigurasi BTS**

Seperti pada Gambar 1 dan Gambar 2, E-OTD memerlukan minimal tiga buah BTS yang terdeteksi oleh MS dan LMU. Untuk E-OTD yang menggunakan BTS sebagai referensi posisi, konfigurasi geografis akan menentukan performansi dari penentuan posisi. Geometri tiga BTS yang baik untuk penentuan posisi adalah kondisi di mana semua BTS mempunyai jarak yang sama satu dengan yang lain. Sedangkan geometri yang buruk untuk penentuan posisi adalah apabila jarak antar BTS terlalu dekat dengan salah satu dan jauh dari yang lain [10]. Gambar 3 (a) dan (b) memberikan contoh ilustrasi dari pernyataan di atas.

Pada simulasi yang akan dibangun, sistem yang dimaksud adalah *server* milik pihak ketiga yang bekerja sama dengan operator yang mengirimkan *request* posisi dari *device* yang berupa MS yang berada dalam sebuah kendaraan atau dibawa *user*. Berikut adalah skenario kebutuhan sistem untuk melakukan satu kali pengiriman *request* posisi.

1. SMLC melakukan *request* posisi MS dan menghubungi LMU untuk mengirim informasi ke MS.
2. LMU yang terus-menerus men-*scan* waktu pengiriman sinyal, menerima sinyal *request* dari Server dan mengirimkan informasi tersebut ke MS, informasi tersebut bisa disimpan di SLMC atau langsung ke MS.
3. MS menerima *request* dari server dan men-*scan* waktu kedatangan sinyal dari BTS-BTS yang terdeteksi.
4. MS menerima sinyal informasi dari LMU dan mengalkulasi posisi dari perangkat.
5. Posisi hasil kalkulasi dikirimkan ke *Server*.
6. Server menerima posisi MS.

Secara grafis, langkah-langkah tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 4. Sedangkan skenario simulasi untuk pengujian sistem tersebut bisa dilihat pada Gambar 5. Penjelasan lebih lanjut mengenai pemodelan kanal yang dipakai pada pengujian sistem dijelaskan pada bagian berikut.



Gambar 3. Untuk penentuan posisi (a) Geometri BTS yang baik, (b) Geometri BTS yang buruk.

**1.1. Pemodelan Kanal**

Pada makalah ini, peneliti juga menganalisis pengaruh dari berbagai jenis kondisi kanal untuk aplikasi LBS yang belum banyak diteliti. Untuk layanan komunikasi biasa, pengaruh dari kondisi kanal yang buruk akan menyebabkan *dropcall* atau kualitas suara yang buruk sedangkan pada LBS akan menyebabkan penyimpangan atau ketidakakurasian posisi [17].

Pada kondisi lingkungan *multipath*, sinyal yang diterima bisa direpresentasikan oleh persamaan berikut:

$$r_1(t) = \sum_{n=0}^k \alpha_n(t)e^{-j\phi_n(t)}, \tag{7}$$

Di mana  $\alpha_n(t)$  adalah faktor redaman dalam sinyal yang diterima oleh *path* ke  $n$ .  $\phi_n(t)$  adalah beda fase pada sinyal *path* ke  $n$  dari *delay* relatif dari *path* utama yang bisa didapatkan dari  $\phi_n(t) = 2\pi f_c \tau_n(t)$  dimana  $\tau_n(t)$  adalah *delay* propagasi pada *path* ke  $n$ .

Pada penelitian ini, kanal yang akan digunakan adalah kanal jenis Rayleigh di mana tidak terdapat sinyal *Line of Sight* (LOS). Kanal Rayleigh *flat fading* adalah kanal dengan banyak jumlah *path* sehingga berlaku teorema limit pusat dan  $r_1(t)$  akan dimodelkan sebagai sebuah sinyal kompleks hasil dari proses Gaussian [4], [17]. *Bandwidth* (BW) dari kanal ini lebih tinggi dari BW sinyal informasi dan kanal mempunyai *Gain* konstan dan respons fasa linear [18]. *Delay spread* lebih rendah daripada periode bit sinyal. *Time coherence* didapatkan dari persamaan berikut:

$$T_c = \frac{0.423}{f_m}, \tag{8}$$

Di mana  $f_m$  adalah frekuensi Doppler maximum yang didapatkan dari persamaan berikut:

$$f_m = \frac{v}{\lambda} \cos \varphi, \tag{9}$$

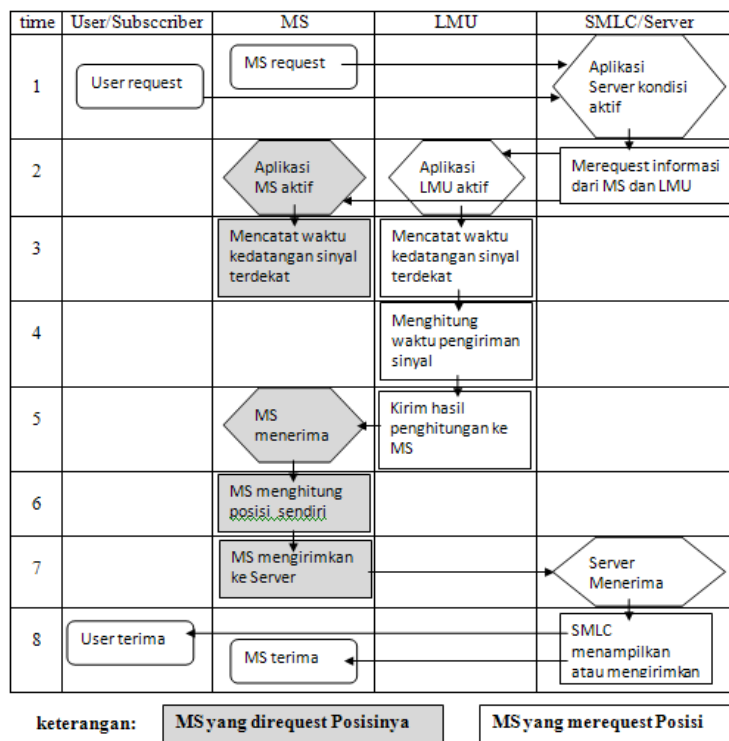
Di mana  $v$ ,  $\lambda$ , dan  $\varphi$  berturut-turut adalah kecepatan MS, panjang gelombang carrier, sudut yang dibentuk antara arah kecepatan MS dengan kedatangan sinyal. Sedangkan *Probability Density Function* (PDF) untuk distribusi Rayleigh diberikan oleh persamaan berikut:

$$p_R(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-r^2/2\sigma^2} \tag{10}$$

Di mana  $\sigma^2$  adalah time-average power yang diterima.

### 2.3. Penentuan *Doppler Shift* untuk MS Bergerak Lurus

Pada simulasi penentuan posisi MS bergerak, target akan bergerak lurus dari titik (0,10), ke titik (0,135.6) dengan kecepatan 20 m/s. Sehingga  $F_d$  terhadap salah satu BTS untuk tiap waktu bisa dijelaskan oleh Gambar 6.



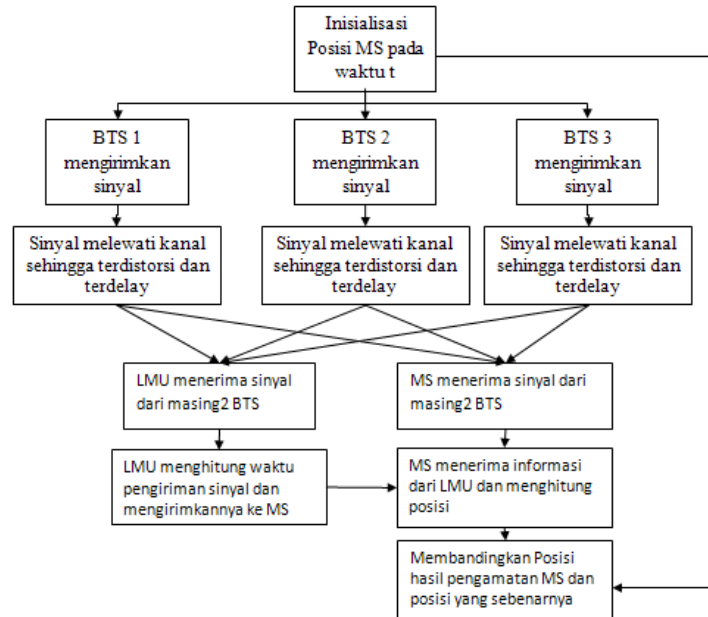
Gambar 4. Alur waktu sistem penentuan posisi *device*.

Sehingga untuk menentukan fase untuk  $F_d$  pada model di atas bisa ditentukan lewat persamaan berikut:

$$\theta(t) = \cos^{-1} \left( \frac{Y_m(t) - Y_b}{\sqrt{(Y_m(t) - Y_b)^2 + (X_m - X_b)^2}} \right) \quad (11)$$

Di mana  $Y_m(t)$  dan  $X_m$  berturut-turut adalah posisi MS pada sumbu  $X$  dan  $Y$ . Koordinat  $(X_b, Y_b)$  adalah posisi BTS.  $\theta(t)$  adalah sudut yang dibentuk oleh arah kecepatan MS dan arah datang sinyal. Dengan menggunakan sudut kedatangan  $\theta(t)$ , maka frekuensi Doppler ( $F_d$ ) pada persamaan (9) diubah menjadi persamaan berikut:

$$F_d(t) = \frac{V_m \cdot \cos \theta(t)}{\lambda} \quad (12)$$



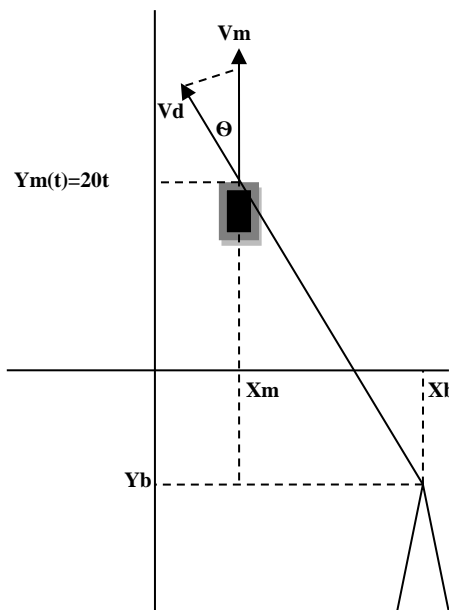
Gambar 5. Skenario pengujian pada kanal tidak ideal.

#### 2.4. Kanal Fisik dan Kanal Logic pada GSM

Bagian ini membahas tentang struktur sinyal komunikasi antara MS dan BTS. Untuk transmisi data, struktur sinyal lebih rumit dibandingkan dengan komunikasi telepon biasa. Oleh karena itu, GSM membutuhkan 10 kanal *signaling* sedangkan *General Packet Radio Service* (GPRS) membutuhkan tujuh kanal tambahan. Kanal tersebut digunakan untuk *paging*, *location update*, pertukaran data pengukuran untuk persiapan *handover*, koreksi frekuensi, dan lain-lain. Secara umum, kanal *signaling* dikategorikan menjadi dua yaitu kanal *signaling broadcast* dan *point-to-point*. Kanal *broadcast* dikirimkan hanya pada *carrier downlink*, contohnya *Paging Channel* (PCH) untuk *paging subscriber* dalam *cell* pada lokasi *routing*-nya dan *Broadcast Control Channel* (BCCH). BCCH menginformasikan semua *terminal* tentang konfigurasi *air interface* dari *cell*. BCCH berisi informasi mengenai *cell allocation* baik yang sedang aktif maupun tetangga, *Location Area Identifier* (LAI) dan *Cell Identifier* (CI) dan beberapa kanal *signaling* struktural yang lain. Sedangkan, kanal *point-to-point* digunakan baik untuk transmisi *downlink* maupun *uplink*. Kanal *signaling* digunakan untuk mempersiapkan transmisi radio atau mengatur transmisi yang sedang berlangsung.

Ada banyak pilihan cara dan konfigurasi agar bisa menemukan kanal *signaling* pada konstelasi *carrier* dan *timeslot* pada *cell* yang memuat BCCH. Sehingga, semua terminal dalam sebuah *cell* pasti menerima BCCH dan menganalisis data yang dikandungnya. BCCH selalu ditransmisikan pada *timeslot* pertama pada *carrier downlink* yang pertama pada *cell allocation*. Semua kanal baik fisik maupun *logic* diatur oleh BSC yang terhubung pada BTS yang sedang melayani. BCCH ditransmisikan terus menerus dengan secara *full power*.<sup>[4]</sup> Pada sistem komunikasi DCS1800/PCS1900, SYS\_INFO 7 dan 8 yang menggantikan *Common Control Channel* (CCCH), dikirim pada blok 0. CCCH bisa berisi *Paging Channel* (PCH) atau *Access Grant Channel* (AGCH). *Stand-alone Dedicated channel* (SDCCH) dialokasikan pada Blok 3, 4, 5, dan 6 pada kasus SDCCH/CCCH yang terkombinasi. *Slow Associated Control Channel*

(SACCH) untuk kanal 0 dan 1 SDCCH diletakkan pada blok 7 dan 8, pada kasus SDCCH/CCH terkombinasi sedangkan SACCH untuk kanal 2 dan 3 SDCCH diletakkan pada *Multiframe* selanjutnya di lokasi yang sama. Secara umum *Frame* dari sinyal GSM bisa dilihat pada [19].



Gambar 6. Pemodelan sistem untuk MS bergerak lurus.

Pada simulasi yang dibangun, sistem mendeteksi kedatangan sinyal sesuai dengan waktu kedatangan *Frame* ke 0. Selain itu, *Frame* ke 50 bisa digunakan untuk mengirimkan informasi tambahan untuk kebutuhan penentuan lokasi seperti informasi tentang identitas pihak yang melakukan *request* lokasi.

FN=0-5	FN=6-9	FN=10-11	FN=12-15	FN=16-19	FN=20-21	FN=22-25	FN=26-29	FN=30-31	FN=32-35	FN=36-39	FN=40-41	FN=42-45	FN=46-49	FN=50
FCCH+ SCH + BCCH 1- 4	Block 0 reserved for CCCH	FCCH /SCH	Block 1 reserved for CCCH	Block 2 reserved for CCCH	FCCH /SCH	Block 3 reserved for CCCH/ SDCCH	Block 4 reserved for CCCH/ SDCCH	FCCH /SCH	Block 5 CCCH/ SDCCH	Block 6 CCCH/ SDCCH	FCCH /SCH	Block 7 CCCH/ SACCH	Block 8 CCCH/ SACCH	Not used

FN = Frame Number

Gambar 7. Struktur *multi frame signalling* GSM.

### 2.5. Metode Penelitian dan Percobaan

Secara garis besar, penelitian ini melakukan empat percobaan. Skenario percobaan-percobaan bisa dilihat pada daftar berikut:

- a. Percobaan pertama membahas pengaruh geometri terhadap akurasi pengukuran.
- b. Percobaan kedua menyelidiki pengaruh *Doppler Shift* pada akurasi penentuan posisi.
- c. Ketiga, sistem diujicobakan untuk kondisi frekuensi *carrier* berbeda dan perangkat bergerak dengan kecepatan berbeda.
- d. Terakhir, metode dibandingkan dengan metode lain pada kondisi model kanal Urban 3GPP.

Akurasi diukur dari selisih posisi koordinat sebenarnya dengan koordinat hasil estimasi sistem LBS. Semakin kecil selisih maka semakin akurat metode yang dipakai.

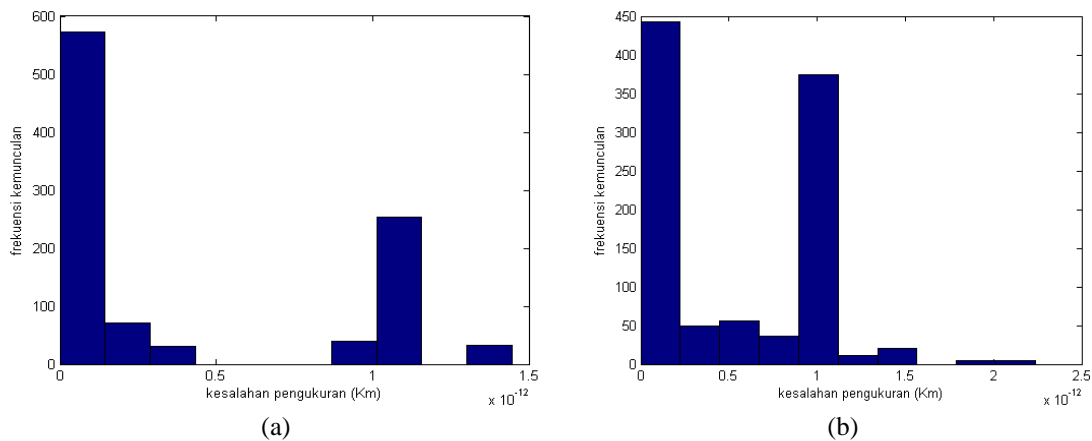
### 3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini berisi tentang pemaparan hasil simulasi pengujian sistem. Pengaruh geometri BTS, frekuensi *carrier*, dan kecepatan MS pada kondisi bergerak.

#### 3.1. Pengaruh Geometri BTS

Pada bagian ini, hasil simulasi sistem di mana MS tidak bergerak dievaluasi pada kondisi ideal dan tidak ideal. Pada kondisi ideal, tiga BTS berada pada lokasi yang berjarak sama antara satu dengan yang lain. Sedangkan pada kondisi tidak ideal, tiga buah BTS berada pada geometri buruk yaitu pada koordinat (0,2000), (1732,1;-1000), dan (0; -1732,1).

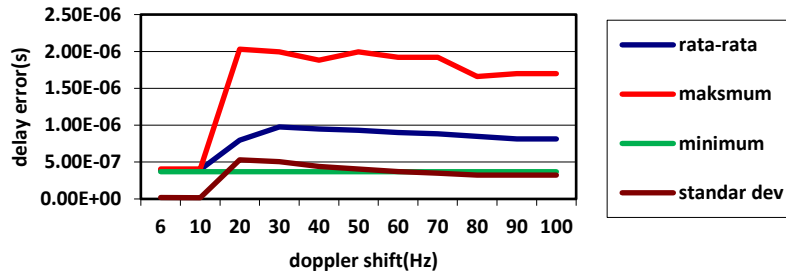




Gambar 8. Distribusi kesalahan pengukuran (a) kondisi ideal (b) kondisi tidak ideal.

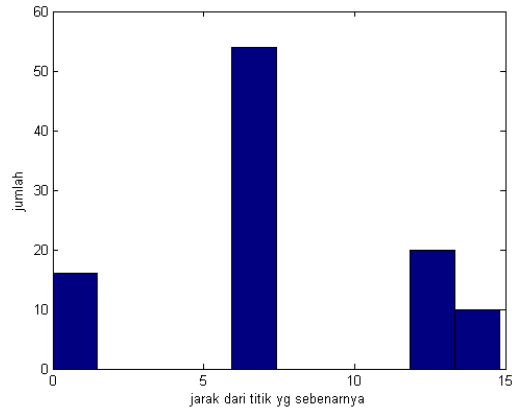
Hasil simulasi pengujian tersebut bisa dilihat pada Gambar 8. Hasil tersebut menunjukkan terjadi kesalahan pengukuran sebesar rata-rata  $3.82E-13$  Km. Hal tersebut murni diakibatkan presisi dari *software* yang digunakan. Kesalahan pengukuran tersebut sangat kecil bahkan bisa diabaikan. Nilai tersebut bisa bervariasi tergantung dari presisi dari *software* dan *hardware* yang digunakan. Hasil pengujian tersebut juga menunjukkan bahwa pada geometri BTS yang buruk kesalahan pengukuran menjadi lebih besar yaitu rata-rata  $5.27754E-10$  m begitu juga statistik lainnya. Oleh karena itu, kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian tersebut yaitu geometri tidak ideal mempunyai pengaruh buruk terhadap performansi dari sistem penentuan lokasi.

### 3.2. Pengaruh Doppler Shift



Gambar 9. Delay akibat Doppler shift.

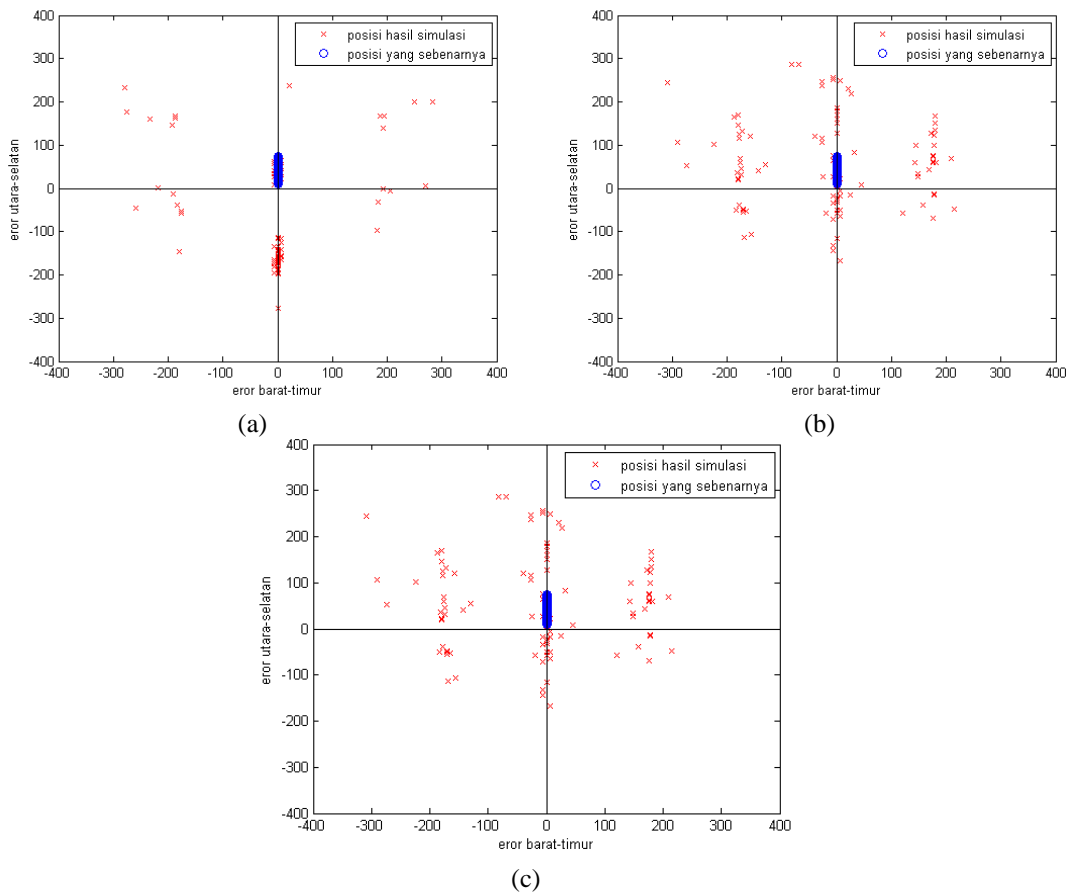
Gambar 9 merupakan rekapitulasi simulasi MS diam pada frekuensi 6-100 Hz. Doppler shift mempunyai pengaruh terhadap *delay* yang merepresentasikan selisih jarak dari posisi yang sebenarnya. Gambar tersebut menunjukkan bahwa *delay* maksimum yang didapatkan pada frekuensi 20 Hz sekitar 2.03  $\mu$ s. Pada frekuensi lebih dari 20 Hz, nilai *delay* maksimum bervariasi namun tidak melebihi nilai maksimum tersebut. Sedangkan nilai *delay* minimum cenderung stabil pada 0,369  $\mu$ s. Karakteristik pengaruh Doppler shift maksimum akan terlihat pada nilai rata-rata *delay*, setelah mencapai rata-rata maksimum pada frekuensi 30Hz, *delay* rata-rata akan cenderung konstan pada nilai rata-rata 0,879  $\mu$ s. Kesimpulan yang dapat diambil yaitu Doppler shift maksimum suatu kanal tidak berpengaruh pada nilai *delay* tapi berpengaruh pada variasi nilai *delay* pada suatu kanal dan pada frekuensi tertentu *delay* akan mengalami saturasi di mana nilai *delay* tidak akan meningkat secara tajam namun berfluktuasi pada nilai tertentu. Pada hasil simulasi di atas, frekuensi saturasi berada pada *range* di atas 20-30 Hz. Hal ini akan berpengaruh nantinya pada kecepatan MS pada *delay* karena frekuensi merupakan fungsi kecepatan dan fungsi posisi seperti pada persamaan (12).



Gambar 10. Kesalahan pengukuran.

### 3.3. Pengaruh Frekuensi Carrier dan Kecepatan

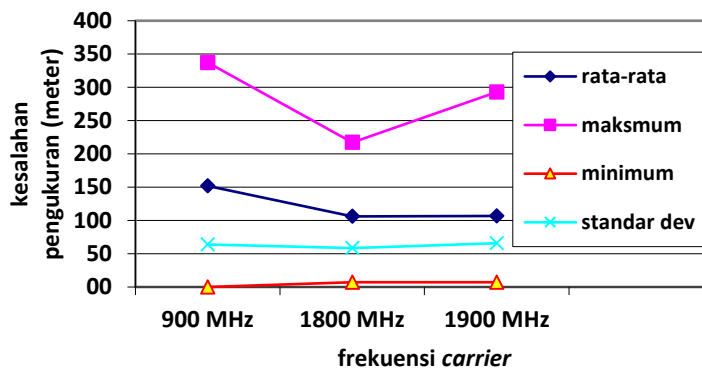
Pada bagian ini dilakukan simulasi MS bergerak dengan kecepatan 10 m/s selama 6,28 sekon dari titik (0,10) meter ke (0;72,8) meter pada 3 macam frekuensi carrier yaitu 900 MHz, 1800 MHz, dan 1900 MHz. Pada simulasi ini, kecepatan MS diasumsikan hanya mempengaruhi Doppler shift maksimum dan kecepatan relatif terhadap gelombang elektromagnet diabaikan. Sampel hasil penentuan lokasi sesuai skenario tersebut bisa dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil simulasi dengan posisi sebenarnya dalam meter pada kecepatan 20 m/s, a. 900 MHz, b. 1800 MHz, dan c. 1900 MHz

Dari gambar di atas, dapat dilihat tidak ada perubahan signifikan pada jarak kesalahan pengukuran pada tiap frekuensi. Frekuensi 900 MHz jika disubstitusikan pada persamaan (12) maka Doppler shift senilai maksimum 30 Hz akan didapatkan. Hal ini mengakibatkan delay yang dibangkitkan dari tiap-tiap

BTS berakumulasi, sedangkan hasil percobaan pada bagian sebelumnya telah menunjukkan bahwa pada Doppler shift maksimum lebih dari 20 Hz, nilai *delay* yang dibangkitkan oleh sistem akan bervariasi di bawah nilai 2,03  $\mu$ S atau di bawah 609 meter. Karena Doppler shift maksimum berbanding lurus dengan frekuensi *carrier* maka untuk frekuensi 1800 MHz dan 1900 MHz, Doppler shift maksimum pada frekuensi tersebut pasti di atas 30 Hz. Oleh karena itu, hasil dari *delay* yang dibangkitkan pada frekuensi tersebut tidak akan berbeda jauh.



Gambar 12. Statistik kesalahan pengukuran pada berbagai frekuensi *carrier* (Jari-jari 2 Km).

Gambar 12 menunjukkan statistik kesalahan pengukuran pada kecepatan 20 m/s. Hasil di atas tidak berbeda jauh pada kecepatan 10 m/s, hal ini disebabkan karena Doppler shift pada kecepatan 20 m/s lebih besar dari pada 20-30 Hz, sehingga termasuk pada *range* dengan jarak simpangan maksimum yang cenderung berfluktuasi pada nilai tertentu. Hal tersebut bisa dilihat dari simpangan jarak simpangan rata-rata pada frekuensi 800 MHz, 1800MHz, dan 1900 MHz yang simpangannya relatif turun dan akan mencapai rata-rata yang konstan karena sudah di atas 20-30 Hz, nilai pada kecepatan 20 m/s mempunyai rata-rata 106-151 m.

### 3.4. Perbandingan dengan Metode Lain

Tabel 1. Perbandingan beberapa metode penentuan posisi.

No	Metode	Spesifikasi kanal	Kesalahan Pengukuran Minimum	Kesalahan Pengukuran Maksimum	Sumber
1	EOTD	Rayleigh, NLOS, Kanal Urban 3GPP	6.6e-14 ~0 meter	14.8 meter	Hasil simulasi
2	RSS	Rayleigh,	0.31 meter	48.8 meter	[20]
3	ETOA Root MUSIC	Rayleigh, NLOS, Kanal Urban 3GPP	~0 meter	318.58 meter	[21]

Tabel di atas memperlihatkan beberapa hasil metode *positioning* yang dilakukan sebelumnya. Baris pertama menunjukkan hasil simulasi yang dilakukan pada kanal urban *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) [22], dan yang kedua adalah hasil dari simulasi EOTD pada model kanal Rayleigh dengan 5 *paths* yang mempunyai spesifikasi sama hanya berbeda model kanal. Kanal urban 3GPP menghasilkan kesalahan pengukuran maksimum 14.8 meter dan minimum mendekati 0 meter sedangkan pada kanal dengan 5 *paths* menghasilkan kesalahan minimum 0.31 meter dan maksimum 48.8 meter. Dari kedua percobaan EOTD di atas dapat disimpulkan bahwa yang berpengaruh signifikan terhadap *delay* dan kesalahan pengukuran adalah model kanal sedangkan Doppler shift, sesuai kesimpulan sebelumnya, hanya berpengaruh pada keacakan. Dari kolom EOTD 1 dan 2, kita mendapatkan spesifikasi kanal yang sama selain pada vektor *tap gain* dan *delay* yang berbeda dihasilkan *range delay* yang berbeda, dapat disimpulkan bahwa yang mempengaruhi *range delay* secara signifikan adalah vektor *gain* dan *delay* yang merupakan representasi dari *path-path* sinyal pada kanal *multipath*, bukan Doppler shift. Baris ketiga dari tabel tersebut merupakan hasil percobaan dengan kanal urban 3GPP dengan metode ETOA dengan hasil minimum sangat kecil yang mendekati 0 meter sedangkan kesalahan maksimum 318.58 meter. Dapat disimpulkan untuk *positioning* MS diam dengan performansi paling bagus adalah EOTD, hal tersebut terjadi karena EOTD hanya menggunakan 2 kurva hiperbola untuk laterasi sedangkan ETOA menggunakan tiga kurva lingkaran sehingga kemungkinan terjadi kesalahan untuk EOTD lebih kecil.

#### 4. Kesimpulan

Makalah ini memberikan hasil investigasi dari penentuan posisi MS dengan menggunakan EOTD. Berdasarkan hasil simulasi dan studi beberapa karya ilmiah sebelumnya maka analisis kerja dan kebutuhan sistem untuk sistem penentuan posisi MS dengan metode EOTD pada kanal *urban* bisa diringkas menjadi beberapa poin berikut. Pertama, untuk kanal konfigurasi Geometri BTS yang sama, dengan posisi MS diam metode EOTD menunjukkan hasil yang terbaik di antara metode penentuan posisi yang lain pada sistem seluler. Hal ini disebabkan karena EOTD menggunakan laterasi dua kurva hiperbola sehingga kesalahan pengukuran dapat diminimalisasi yaitu di antara 0-14,8 m. Sedangkan pada metode lain yang menggunakan tiga kurva lingkaran yang membutuhkan metode optimasi dan regresi agar dapat menentukan posisi yang menghasilkan kesalahan pengukuran 0 - 318,58 m. Hal ini menandakan bahwa pada kondisi NLoS, EOTD mempunyai akurasi yang lebih baik daripada metode pembandingan. Kedua, besar *delay* untuk konfigurasi propagasi sinyal tidak dipengaruhi oleh Doppler shift. Doppler shift hanya berpengaruh pada keacakan dari variasi nilai *delay*. Untuk kecepatan MS yang jauh lebih kecil dari kecepatan gelombang, pengaruh kecepatan pada kondisi kanal hanya pada nilai Doppler shift. Sedangkan Doppler shift sendiri tidak mempunyai pengaruh signifikan pada range kesalahan pengukuran maka kecepatan MS juga hanya akan berpengaruh pada keacakan nilai kesalahan pengukuran yaitu pada kondisi kecepatan 10 m/s, rata-rata kesalahan senilai 142-152 m dan pada kecepatan 20 m/s, rata-rata kesalahan pengukuran senilai 106-151 m. Terakhir, vektor *delay* dan *gain* berpengaruh pada *range* nilai kesalahan pengukuran. Untuk model *urban* 3GPP, kesalahan pengukuran berkisar 0 - 14,8 m. Implementasi dari sistem yang diusulkan bisa dilakukan dengan kerja sama dengan operator seluler. Implementasi layanan ini dapat digunakan untuk aplikasi *handset* maupun untuk *monitoring* kendaraan. Untuk aplikasi lebih lanjut bisa digunakan untuk *game online*, aplikasi *e-community* dengan administrasi *database*, dan aplikasi *ride sharing* untuk para penggunanya.

#### 5. Program Simulasi

*File* program yang kami buat untuk simulasi pada artikel ini tersedia pada halaman berikut ([https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/74299-eotd\\_simulation](https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/74299-eotd_simulation)).

#### Daftar Pustaka

- [1] OkeZone, "NSN: 2012, Penetrasi Seluler Indonesia Capai 80%," 2008. [Online]. Available: <http://techno.okezone.com/index.php/ReadStory/2008/11/13/54/163797/nsn-2012-penetrasi-seluler-indonesia-capai-80>. [Accessed: 05-Dec-2019].
- [2] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins, *Global positioning system: theory and practice*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [3] G. Huang, D. Akopian, and C. L. P. Chen, "Network delay modeling for assisted GPS," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 51, no. 1, pp. 52–64, 2015.
- [4] A. Küpper, *Location-based services: fundamentals and operation*. John Wiley & Sons, 2005.
- [5] M. Syaiful-Sabril, "Penentuan Lokasi Handphone dengan Menggunakan Metode E-OTD," Bandung, 2006.
- [6] A. J. Weiss, "On the accuracy of a cellular location system based on RSS measurements," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 52, no. 6, pp. 1508–1518, 2003.
- [7] M. Aatique, "Evaluation of TDOA techniques for position location in CDMA systems," Virginia Tech, 1997.
- [8] B. Y. Chen *et al.*, "Measuring place-based accessibility under travel time uncertainty," *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, vol. 31, no. 4, pp. 783–804, 2017.
- [9] H. Chen, C. Hou, W. Liu, W.-P. Zhu, and M. N. S. Swamy, "Efficient two-dimensional direction-of-arrival estimation for a mixture of circular and noncircular sources," *IEEE Sens. J.*, vol. 16, no. 8, pp. 2527–2536, 2016.
- [10] V. Bianchi, P. Ciampolini, and I. De Munari, "RSSI-based indoor localization and identification for ZigBee wireless sensor networks in smart homes," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 68, no. 2, pp. 566–575, 2018.
- [11] A. Martinelli, H. Gao, P. D. Groves, and S. Morosi, "Probabilistic context-aware step length estimation for pedestrian dead reckoning," *IEEE Sens. J.*, vol. 18, no. 4, pp. 1600–1611, 2017.
- [12] C. Qiu and M. W. Mutka, "iFrame: Dynamic indoor map construction through automatic mobile sensing," *Pervasive Mob. Comput.*, vol. 38, pp. 346–362, 2017.
- [13] B. Al-Madani, F. Orujov, R. Maskeliūnas, R. Damaševičius, and A. Venčkauskas, "Fuzzy logic type-2 based wireless indoor localization system for navigation of visually impaired people in buildings," *Sensors (Switzerland)*, 2019, doi: 10.3390/s19092114.

- 
- [14] M. Brambilla, M. Nicoli, G. Soatti, and F. Deflorio, "Augmenting Vehicle Localization by Cooperative Sensing of the Driving Environment: Insight on Data Association in Urban Traffic Scenarios," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, 2019, doi: 10.1109/tits.2019.2941435.
- [15] R. F. Keefe *et al.*, "Positioning methods and the use of location and activity data in forests," *Forests*. 2019, doi: 10.3390/f10050458.
- [16] J. E. Maloney, C. J. Hinkle Jr, and J. O. Stevenson, "Enhanced time-difference localization system." Google Patents, 2000.
- [17] T. S. Rappaport and others, *Wireless communications: principles and practice*, vol. 2. prentice hall PTR New Jersey, 1996.
- [18] X. Wang, P. R. P. Hoole, and E. Gunawan, "An electromagnetic-time delay method for determining the positions and velocities of mobile stations in a GSM network," *Prog. Electromagn. Res.*, vol. 23, pp. 165–186, 1999.
- [19] G. Heine and M. Horrer, *GSM networks: protocols, terminology, and implementation*. Artech House, Inc., 1999.
- [20] M. S. Sharawi and D. N. Aloi, "Investigation into the performance of EOTD for GSM users in telematics applications," in *Location Services and Navigation Technologies*, 2003, vol. 5084, pp. 6–18.
- [21] H. Y. Krisdianto, "Performansi Penentuan Posisi Mobile Station pada Sistem Seluler dengan Algoritma Enhanced Time of Arrival (E-TOA) & ROOT-MUSIC," Bandung, 2006.
- [22] IEEE, "Draft 802.20 Permanent Document Channel Models for IEEE 802.20 MBWA System Simulation-Rev 02," Newyork, 2003.