

## PENENTUAN POSISI USER PADA SISTEM KOMUNIKASI SELULER DENGAN METODA *TIME OF ARRIVAL* (TOA) DAN *TIME DIFFERENCE OF ARRIVAL* (TDOA)

Budi Prasetya<sup>1</sup>, Renyati<sup>2</sup>, Ujang Agus Tatang<sup>3</sup>, Dharu Arseno<sup>4</sup>, Budianto<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Telkom (d/h STTTelkom Bandung)

Jalan Telekomunikasi No.1 Bandung 40257, Telp/Fax 022-7565933

[bpy@stttelkom.ac.id](mailto:bpy@stttelkom.ac.id)<sup>1</sup>, [renonk\\_99@yahoo.com](mailto:renonk_99@yahoo.com)<sup>2</sup>, [ta\\_2\\_n@yahoo.com](mailto:ta_2_n@yahoo.com)<sup>3</sup>, [dha@stttelkom.ac.id](mailto:dha@stttelkom.ac.id)<sup>4</sup>,  
[bud@stttelkom.ac.id](mailto:bud@stttelkom.ac.id)<sup>5</sup>

### Abstrak

Penentuan posisi user pada sistem komunikasi seluler saat ini menjadi hal yang sangat penting karena banyak sekali keuntungannya terutama untuk memantau posisi kejadian-kejadian luar biasa seperti pelaku kejahatan, tempat kebakaran, bencana kerusakan dan lain-lain.

Metoda *Time of Arrival* (TOA) merupakan salah satu teknik penentuan posisi user berdasarkan waktu kedatangan sinyal dari transmitter yang diterima oleh receiver. Sistem penentuan posisi hiperbola yang juga dikenal sebagai teknik penentuan posisi *Time Difference of Arrival* (TDOA) adalah suatu teknologi yang bisa memberikan informasi penentuan lokasi secara akurat sesuai dengan ukurannya dengan menggunakan infrastruktur seluler yang telah ada tanpa memerlukan adanya penambahan implementasi hardware pada perangkat *Mobile Station* (MS).

Pada Penelitian ini, sistem komunikasi seluler dimodelkan kemudian disimulasikan dengan bantuan software Matlab. Hasilnya, untuk metoda TOA dianalisa delay propagasi antara objek dengan setiap receiver menggunakan algoritma MUSIC (*Multiple Signal Classification*) dan algoritma Chan digunakan sebagai algoritma pembantu dalam perhitungan matematis penentuan posisi objek dalam koordinat (x,y). Untuk metoda TDOA, algoritma yang digunakan untuk mendapatkan estimasi posisi yaitu algoritma Taylor-series. Dimana algoritma ini menawarkan estimasi posisi yang akurat dan aplikatif pada beberapa pengukuran jarak yang berbeda.

**Kata kunci:** Penentuan posisi, komunikasi seluler, *Time of Arrival*, *Time Difference of Arrival*

### 1. PENDAHULUAN

Teknik penentuan lokasi *mobile station* membutuhkan tingkat akurasi yang tinggi. Berbagai macam teknik *positioning* sudah dikemukakan oleh berbagai pihak dalam sistem *wireless*, diantaranya *Global Positioning system* (GPS), *Received Signal Strength* (RSS), *Angle of Arrival* (AOA), *Time Difference of Arrival* (TDOA), dan *Time of Arrival* (TOA).

Salah satu solusi penentuan posisi yang banyak digunakan sekarang adalah GPS. GPS bekerja pada bandwidth L-Band (1,5 GHz) yang berbeda dengan frekuensi seluler sehingga perlu adanya design antena dan penerima yang berbeda pada handset telepon seluler. Hal tersebut akan menambah biaya, ukuran dan berat handset. Dalam penentuan posisi, penerima GPS memerlukan penggunaan minimal tiga satelit yang memantau MS dalam waktu bersamaan secara *Line Of Sight* (LOS), sehingga kurang efektif bila digunakan di daerah urban dan di area *Seluler*.

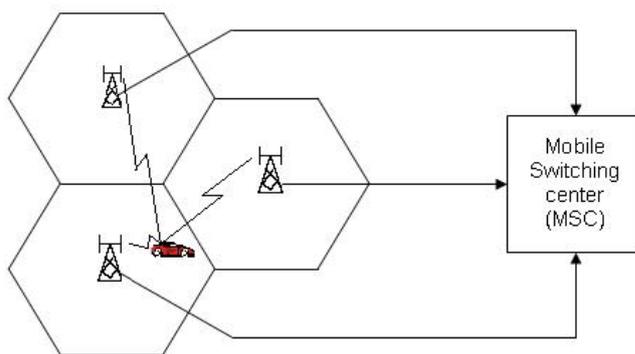
*Time of Arrival* (TOA) yaitu teknik berdasarkan waktu kedatangan sinyal (TOA) yang dikirimkan transmitter ke receiver. Pada pendekatan TOA, jarak transmitter dan receiver dihitung dengan pencarian waktu propagasi *Direct-LOS* antara transmitter dan receiver. Secara geometris, akan didapatkan lingkaran pusat receiver dimana objek (transmitter) berada. Dengan menggunakan minimal tiga buah receiver masalah ambiguitas dapat diatasi.

*Time Difference of Arrival* (TDOA) merupakan metode penentuan posisi berdasarkan waktu kedatangan sinyal dari transmitter pada dua buah receiver yang berbeda. Pengukuran ini dilakukan pada saat sinkronisasi. Cross korelasi dari dua buah sinyal yang diterima oleh dua buah receiver dilakukan untuk mendapatkan perbedaan waktu kedatangan pada dua buah receiver. Setiap perbedaan waktunya dikonversikan ke persamaan hiperbola dengan asumsi MS dan receiver yang *coplanar*. Jika kita mendapatkan dua buah TDOA dari tiga receiver, maka perpotongan dari dua hiperbola tersebut merupakan estimasi posisi MS. Dengan menggunakan metode ini diharapkan akan mendapatkan tingkat akurasi yang lebih baik.

### 2. TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Konfigurasi Jaringan Komunikasi Selular

Konfigurasi dasar jaringan Komunikasi Selular digambarkan sebagai berikut:



**Gambar 2.1** Konfigurasi jaringan Komunikasi Selular

### 2.1.1 MS (*Mobile Station*)

MS merupakan perangkat yang digunakan oleh user untuk melakukan proses komunikasi.

### 2.1.2 BTS (*Base Transceiver Station*)

BTS bertanggung jawab untuk mengalokasikan daya yang digunakan oleh user dan berfungsi sebagai *interface* yang menghubungkan antara jaringan Komunikasi Selular dengan perangkat *user*. BTS terdiri dari perangkat radio yang digunakan untuk mengirim dan menerima sinyal Komunikasi Selular.

### 2.1.3 MSC (*Mobile Switching Center*)

Merupakan pusat penyambungan yang berfungsi untuk koordinasi routing panggilan pada suatu service area yang besar.

## 2.2 Penentuan Posisi Pada Sistem Komunikasi Selular

Layanan penentuan posisi memiliki beberapa kegunaan antara lain panggilan darurat yang memerlukan informasi posisi pemanggil, sistem navigasi kendaraan, pengaturan lalu lintas, *tracking* dan berbagai pengembangan lainnya.

Ada banyak teknik yang digunakan untuk menentukan posisi MS pada sistem Komunikasi Selular, namun secara garis besar bisa diklasifikasikan menjadi dua kategori yaitu sistem penentuan posisi berbasis MS dan berbasis jaringan. Sistem penentuan posisi berbasis MS diimplementasikan pada kanal *forward* Komunikasi Selular. Sistem ini dapat memberikan akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan yang berbasis jaringan. Namun sistem ini mempunyai beberapa kendala, diantaranya pertama, MS (*Mobile Station*) yang akan melakukan pengukuran dan penentuan posisi, kemudian mengirimkan informasi tersebut ke MSC (*Mobile Switching Center*). Akurasi sinkronisasi *Clock* antara BTS (*Base Transceiver Station*) dan MS sangat menentukan untuk mendapatkan penentuan posisi yang akurat. Implementasi ini akan memerlukan tambahan hardware dan atau software pada *handset*, yang tentunya memerlukan tambahan daya, ukuran dan harga yang lebih besar dari *handset*.

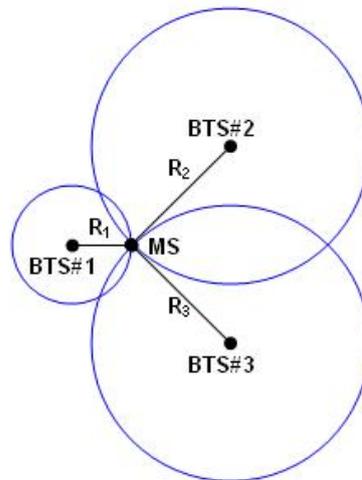
Penentuan posisi berbasis jaringan bekerja dengan *handset* yang ada dan perubahan dilakukan di sisi BTS dan MSC. Sehingga dari sisi ekonomi, sistem ini lebih mungkin untuk diaplikasikan. Metoda-metoda ini diantaranya: *Angle of Arrival* (AOA), *Receive Signal Strength* (RSS), dan metoda berbasis waktu yaitu *Time of Arrival* (TOA), dan TDOA dengan pengukuran dan perhitungan di sisi BTS.

Teknik TDOA memerlukan sinkronisasi waktu pada tiap BTS. Sementara itu, sistem Komunikasi Selular dirancang dengan memiliki clock yang tinggi, yang diperlukan dalam proses sinkronisasi. Sehingga sistem Komunikasi Selular cukup tepat untuk mengaplikasikan penentuan posisi dengan teknik TDOA. Clock yang tinggi pada sistem Komunikasi Selular akan menghasilkan TDOA yang lebih tepat sehingga didapatkan penentuan posisi yang lebih akurat.

## 2.3 Metoda Penentuan Posisi Berbasis Waktu

### 2.3.1 *Time of Arrival*

Metoda TOA mengukur waktu yang diperlukan sinyal untuk menempuh jarak dari MS ke BTS dan kemudian diperkirakan jaraknya. Jika ada minimal tiga buah BTS yang bisa memperkirakan jarak MS ke masing-masing BTS, maka posisi MS bisa ditentukan. Akan tetapi dalam kenyataannya di lapangan penentuan waktu tempuh sinyal secara tepat sangat sulit karena sinyal mengalami banyak pantulan dalam *forward* maupun *reverse link*.



Gambar 2.2 Penentuan Posisi TOA

**2.3.1.1 Algoritma MUSIC**

Pada Penelitian ini akan digunakan Algoritma *Multiple Signal Classification* (MUSIC) sebagai teknik *super-resolution* TOA. Pada lingkungan *seluler*, kanal yang dilalui terdiri dari sejumlah komponen *multipath* dan persamaan dari respon impuls kanal *multipath* adalah sebagai berikut

$$h(t) = \sum_{k=0}^{Lp-1} \alpha_k \delta(t - \tau_k) \dots\dots\dots(2.1)$$

Persamaan tersebut diubah ke dalam domain frekuensi dengan Transformasi Fourier :

$$H(f) = \sum_{k=0}^{Lp-1} \alpha_k e^{-j2\pi f \tau_k} \dots\dots\dots(2.2)$$

Respon kanal domain frekuensi, H(f) dibagi menjadi L *space frequency*. Dan diasumsikan bahwa pada propagasi kanal *Seluler* hanya terganggu oleh *Additive White Gaussian Noise* (AWGN). Sehingga respon kanal frekuensi yang disampling pada kanal *Seluler* dengan tambahan AWGN adalah sebagai berikut :

$$x(l) = \hat{H}(f_l) = H(f_l) + w(l) = \sum_{k=0}^{Lp-1} \alpha_k e^{-j2\pi(f_0 + l\Delta f)\tau_k} + w(l) \dots\dots(2.3)$$

Algoritma MUSIC merupakan model sinyal yang dibentuk berupa *covariance matrix* berdasarkan *eigen-decomposition*. Persamaan *covariance matrix* berupa :

$$R_{xx} = E \{xx^H\} = \frac{1}{N} X \cdot X^H \dots\dots\dots(2.4)$$

Proses selanjutnya adalah proses pencarian *Eigen Value Decomposition* dari nilai *covariance matrix*, Rxx. Proses ini akan ditemukan *eigenvalue* yang saling berkorespondensi dengan *eigenvector*, sehingga hasil *Eigen Value Decomposition* dari Rxx adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} V_{11} & V_{11} & \dots & V_{1L} \\ V_{21} & V_{11} & \dots & V_{2L} \\ \dots & \dots & \dots & V_{3L} \\ V_{L1} & V_{L2} & V_{L3} & V_{LL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{11} & V_{11} & \dots & V_{1L} \\ V_{21} & V_{11} & \dots & V_{2L} \\ \dots & \dots & \dots & V_{3L} \\ V_{L1} & V_{L2} & V_{L3} & V_{LL} \end{bmatrix}^H \dots\dots\dots(2.5)$$

*Spaced* frekuensi, L terdiri dari vector sinyal x yang terdiri dari *signal subspace* dan *noise subspace*. Setelah itu dilakukan proses *eigenthresholding* yaitu salah satu metoda untuk mengestimasi *signal subspace* dan *noise subspace*. Secara matematis penentuan *threshold* dapat dijelaskan dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \lambda_s + \lambda_n &= \text{sum}(\lambda) \\ \frac{\lambda_s}{SNR} + \frac{\lambda_n}{SNR} &= \frac{\text{sum}(\lambda)}{SNR} \\ \text{Noise} + \text{Sinyal} &= \frac{\text{sum}(\lambda)}{SNR} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\text{Signal subspace} \approx \lambda > 0.5 * \frac{\text{sum}(\lambda)}{SNR} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{Noise subspace} \approx \lambda < 0.5 * \frac{\text{sum}(\lambda)}{\text{SNR}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Setelah dilakukan proses estimasi *subspace*, maka dilakukan pencarian nilai  $\tau_0$  dengan *tracking* daya. Persamaan MUSIC yang digunakan untuk mendapatkan nilai TOA adalah sebagai berikut :

$$S_{\text{MUSIC}}(\tau) = \frac{1}{\|P_w v(\tau)\|^2} = \frac{1}{V^H(\tau) P_w v(\tau)} = \frac{1}{\|Q_w^2 v(\tau)\|^2} = \frac{1}{\sum_{k=Lp}^{L-1} |q_k^H v(\tau)|^2} \dots\dots(2.8)$$

**2.3.1.2 Algoritma Chan**

Setelah jarak didapatkan, kemudian dilakukan pemodelan penentuan posisi objek 2 dimensi. Dengan koordinat objek (x,y), dan koordinat receiver ke-n (Xn,Yn), maka jarak antara objek dengan *receiver* ke-n adalah

$$R_n = 2\sqrt{(x-Xn)^2 + (y-Yn)^2} = \sqrt{Xn^2 + Yn^2 - 2Xnx - 2Yny + x^2 + y^2} \dots\dots(2.9)$$

Jarak antara *receiver* ke-n dengan *receiver* pertama adalah

$$R_{n,1} = \sqrt{(x-Xn)^2 + (y-Yn)^2} - \sqrt{(x-X_1)^2 + (y-Y_1)^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Untuk didapatkan solusi untuk nilai (x,y), akan digunakan Algoritma *Chan*. Diketahui :

$$R_{n,1} = Rn - R_1 \dots\dots\dots(2.11)$$

$$Rn = R_{n,1} + R_1 \dots\dots\dots(2.12)$$

$$Rn^2 = (R_{n,1} + R_1)^2 \dots\dots\dots(2.13)$$

Persamaan (2.13) juga dapat dituliskan sebagai berikut :

$$R_{n,1}^2 + 2R_{n,1}R_1 + R_1^2 = Xn^2 + Yn^2 - 2Xnx - 2Yny + x^2 + y^2 \dots\dots(2.14)$$

Dengan mengurangkan (2.11) pada n=1 dari (2.14), maka akan menghasilkan :

$$R_{n,1}^2 + 2R_{n,1}R_1 = Kn - K_1 - 2X_{n,1}.x - 2Y_{n,1}.y$$

Dengan  $Kn = Xn^2 + Yn^2$ ,  $X_{n,1} = Xn - X_1$ , dan  $Y_{n,1} = Yn - Y_1$

Solusi untuk persamaan di atas dapat dihasilkan dengan beberapa metode, namun pada Penelitian ini akan digunakan algoritma *Chan* dengan cara kerja yang akan dijelaskan sebagai berikut.

Setelah mendapatkan 3 jarak objek terhadap masing-masing *receiver* yang didapatkan dari estimasi TOA, maka hal berikutnya yang dilakukan adalah menentukan posisi x dan y. Posisi x dan y tersebut dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{2,1} & Y_{2,1} \\ X_{3,1} & Y_{3,1} \end{bmatrix}^{-1} \times \left\{ \begin{bmatrix} R_{2,1} \\ R_{3,1} \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} R_{2,1}^2 - K_2 + K_1 \\ R_{3,1}^2 - K_3 + K_1 \end{bmatrix} \right\} \dots\dots\dots(2.15)$$

**2.3.2 Time Difference of Arrival**

Teknik TDOA mengestimasi perbedaan waktu kedatangan sinyal dari sumber pada beberapa penerima. Pengambilan sinyal *snap shot* dilakukan dalam waktu yang sinkron oleh beberapa penerima. Kross korelasi dari dua buah sinyal yang diterima dilakukan dan memberikan perbedaan waktu kedatangan sinyal pada dua buah base station.

Nilai perbedaan waktu tersebut menggambarkan sebuah hiperbola diantara dua base station. Pada garis hiperbola itu kemungkinan sumber berada, dengan asumsi MS dan BTS *co-planar*. Jika kita bisa mendapatkan dua buah TDOA dari tiga BTS maka perpotongan dari kedua hiperbola itu adalah estimasi lokasi MS.

Penentuan posisi secara hiperbola ini dilakukan dalam dua langkah. Langkah pertama menghitung TDOA. Langkah kedua TDOA diubah menjadi perhitungan jarak BTS, hasilnya persamaan hiperbola non-linier. Kemudian digunakan algoritma untuk menentukan solusi persamaan non linier tersebut. Solusi tersebut merupakan perhitungan dimana MS berada.

**2.3.2.1 Penentuan TDOA**

TDOA bisa ditentukan dengan dua cara, yaitu dengan mengurangkan nilai TOA pada dua buah BTS untuk mendapatkan TDOA atau mengkross-korelasikan dua buah sinyal yang ditangkap BTS. Akan tetapi untuk mendapatkan TOA kita harus mengetahui waktu transmisi secara tepat, tanpa itu kita tidak bisa mendapatkan TDOA. Karena itu lebih banyak digunakan metoda kross korelasi.

Misalkan sebuah sinyal  $s(t)$  dipancarkan melalui sebuah kanal dengan interferensi dan *noise*, model sinyal secara umum yang akan diterima di dua BTS,  $x_1(t)$  dan  $x_2(t)$ , adalah:

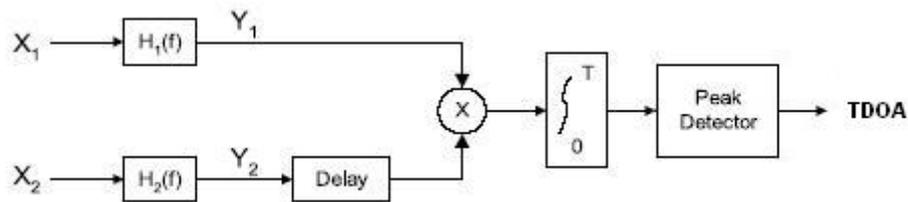
$$\begin{aligned} x_1(t) &= A_1 s(t - d_1) + n_1(t) \\ x_2(t) &= A_2 s(t - d_2) + n_2(t) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(2.16)$$

dimana  $A_1$  dan  $A_2$  adalah skala amplituda sinyal,  $n_1(t)$  dan  $n_2(t)$  adalah noise dan sinyal interferensi, sedangkan  $d_1$  dan  $d_2$  adalah waktu delay sinyal atau waktu kedatangan. Jika kita asumsikan  $d_1 < d_2$  model (2.1) bisa dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} x_1(t) &= s(t) + n_1(t) \\ x_2(t) &= A s(t - D) + n_2(t) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana  $A$  adalah rasio amplituda dan  $D = d_2 - d_1$ .

Teknik korelasi yang digunakan untuk menentukan TDOA adalah *Generalized Cross Correlation* (GCC). GCC adalah metoda kross korelasi dari sinyal-sinyal yang diterima oleh dua BTS setelah melalui filter, nilai TDOA antara dua BTS adalah puncak dari estimasi kross korelasi. Pemfilteran dimaksudkan untuk menghasilkan *Signal to Noise Ratio* (SNR) terbaik dan melemahkan daya noise sinyal sebelum masuk korelator. Filter tersebut mempunyai respon  $\psi_G(f) = H_1(f).H_2^*(f)$ .



Gambar 2.3 Generalized Cross correlation

Persamaan umum untuk estimasi *time delay* antara dua BTS:

$$R_{x_1 x_2}^\alpha(\tau) = AR_s^\alpha(\tau - D)e^{-j\pi\alpha D}$$

dengan  $\alpha$  adalah *cycle* frekuensi. Jika  $\alpha = 0$ , persamaan di atas adalah kross korelasi biasa. Pemodelan ini mengansumsikan bahwa  $s(t)$ ,  $n_1(t)$  dan  $n_2(t)$  adalah real dan stasioner, dan  $s(t)$  tidak berkorelasi dengan noise  $n_1(t)$  dan  $n_2(t)$  maka metoda GCC untuk estimasi TDOA:

$$R_{x_2 x_1}^0(\tau) = AR_s^0(\tau - D) \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

persamaan di atas bisa dituliskan:

$$R_{x_2 x_1}(\tau) = R_{x_2 x}^0(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x_1(t)x_2(t - \tau)dt$$

sementara  $R_{x_1 x_2}(\tau)$  hanya bisa ditentukan dalam kurun waktu observasi saja, maka:

$$\hat{R}_{x_2 x_1}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x_1(t)x_2(t - \tau)dt \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

dimana  $T$  adalah waktu observasi.

Untuk menentukan akurasi dari estimasi *delay*, digunakan filter sebelum proses integrasi seperti terlihat pada gambar 2.3. Kross korelasi dalam bentuk diskrit:

$$\hat{R}_{x_2 x_1}(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-[m]-1} x_1(n)x_2(n + m)$$

*Time delay* sampai puncak kross korelasi terjadi inilah yang merupakan estimasi dari TDOA.

### 2.3.2.2 Persamaan Hiperbola TDOA

Setelah TDOA didapatkan, kemudian dikonversikan terhadap range jarak antara MS dan BTS dalam bentuk hiperbola. Pemodelan untuk penentuan posisi MS 2-dimensi menggunakan 3 BTS yang diperlihatkan oleh gambar 2.4. BTS yang sedang menangani MS dan yang menerima sinyal pertama digunakan sebagai BTS acuan. Dengan koordinat MS  $(x,y)$  dan koordinat BTS ke- $i$   $(X_i, Y_i)$ , maka range jarak antara MS dan BTS ke- $i$  dengan  $i = 1,2,3$  adalah:

$$R_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2 - 2X_i x - 2Y_i y + x^2 + y^2} \dots\dots\dots (2.20)$$

Beda jarak antara MS-BTS ke-*i* dengan MS-BTS pertama adalah  $R_{i,1} = cd_{i,1} = R_i - R_1$

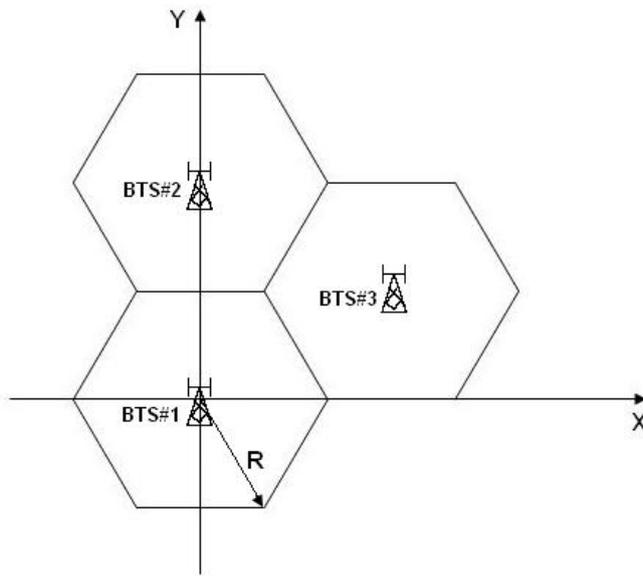
$$= \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} - \sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 - y)^2} \quad (2.21)$$

dengan *c* adalah kecepatan propagasi sinyal dan  $d_{i,1}$  adalah TDOA antara BTS ke-1 dan BTS ke-*i*. Persamaan (2.21) merupakan persamaan hiperbola non linier.

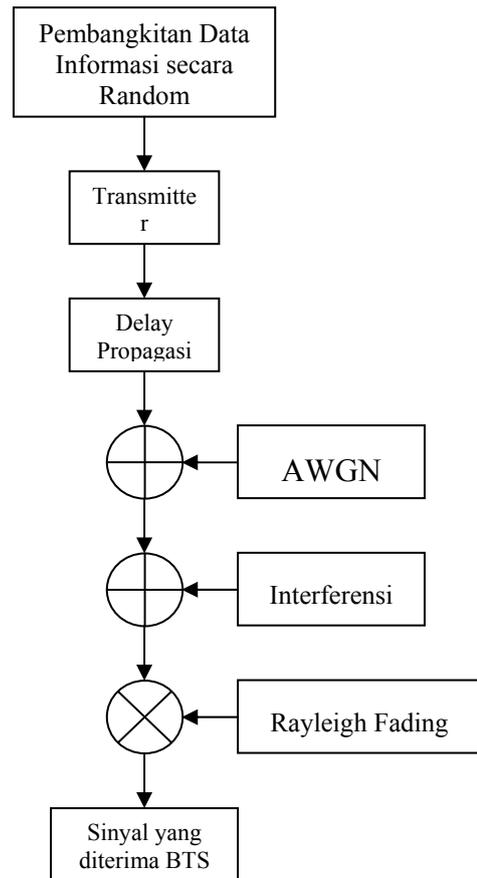
**3. METODOLOGI PENELITIAN**

**2.1 Pemodelan Sistem Komunikasi Selular**

Konfigurasi BTS pada yang digunakan dalam Sistem Komunikasi Selular adalah sel berbentuk heksagonal dengan radius 5 km, dengan frekuensi kerja 900 MHz, ditunjukkan pada gambar 3.1



**Gambar 3.1** Konfigurasi BTS



**Gambar 3.2** Simulasi sinyal untuk satu MS

**3.2 Pemodelan Sinyal Up-link**

Dengan menjadikan BTS#1 sebagai acuan, maka didapatkan *delay* relatif,  $d_{1,2}$  dan  $d_{1,3}$ :

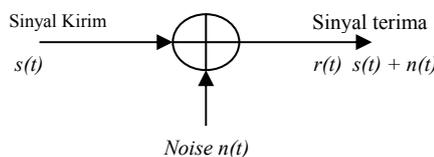
$$d_{1,2} = d_2 - d_1 \text{ sedangkan } d_{1,3} = d_3 - d_1$$

Sinyal yang diterima oleh masing-masing BTS adalah:

$$r_1(t) = s(t) + n(t); \quad r_2(t) = s(t-d_{2,1}) + n(t); \quad r_3(t) = s(t-d_{3,1}) + n(t)$$

**3.3 Pemodelan Kanal**

**3.3.1 Pemodelan Kanal AWGN**



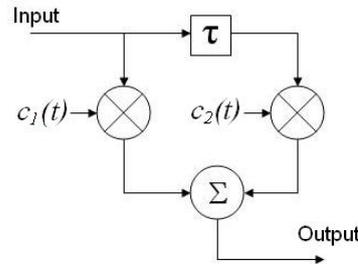
**Gambar 3.3** Pemodelan kanal AWGN

Didefinisikan sinyal informasi  $s(t)$  ditransmisikan pada interval  $0 \leq t \leq T$ , maka sinyal terima  $r(t)$  setelah terdistorsi *noise* adalah:  $r(t) = s(t) + n(t)$ ,  $0 \leq t \leq T$

### 3.3.2 Pemodelan kanal *Multipath Fading*

Pada Penelitian ini digunakan pemodelan kanal multipath yang disebut *independent rayleigh fading two-ray model*. Ilustrasi dari model kanal *two-ray independent rayleigh fading* ditunjukkan pada gambar 3.4. Respon impuls dari model direpresentasikan sebagai persamaan berikut [6]:

$$h_b(t) = \alpha_1 \exp(j\Phi_1)\delta(t) + \alpha_2 \exp(j\Phi_2)\delta(t - \tau)$$



Gambar 3.4 Model *two-ray rayleigh fading*

### 3.4 Multiple Access Interference

Adanya *Multiple Access Interference* (MAI), sinyal di penerima dimodelkan:

$$r(t) = s(t) + n(t) + \sum_{i=1}^M \alpha_i s(t - \tau_i) + n_i(t - \tau_i)$$

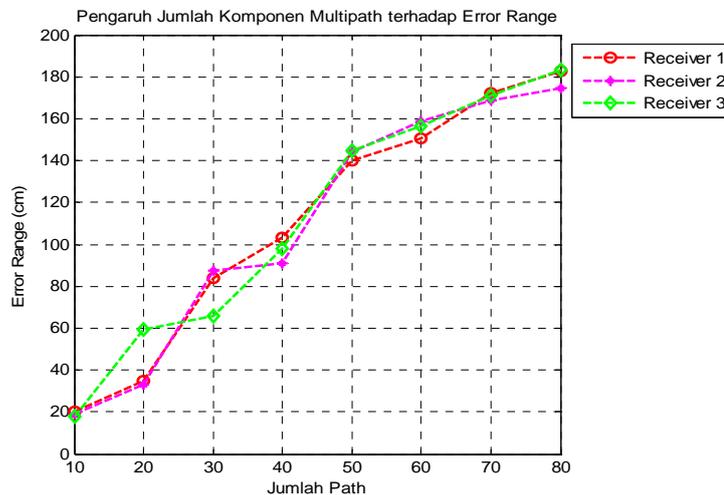
dimana  $\tau_i$  dan  $\alpha_i$  adalah *relative delay* dan daya sinyal dari *multiuser* komponen ke- $i$  dan  $M$  adalah komponen user dalam satu sel yang dianggap aktif.

## 4. HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Performansi Algoritma TOA

#### 4.1.1 Pengaruh Jumlah Komponen *Multipath* terhadap Performansi *Positioning*

Proses pertama yang dilakukan dalam penentuan posisi adalah penentuan estimasi TOA



Gambar 4.1 *Error range Vs jumlah komponen multipath*

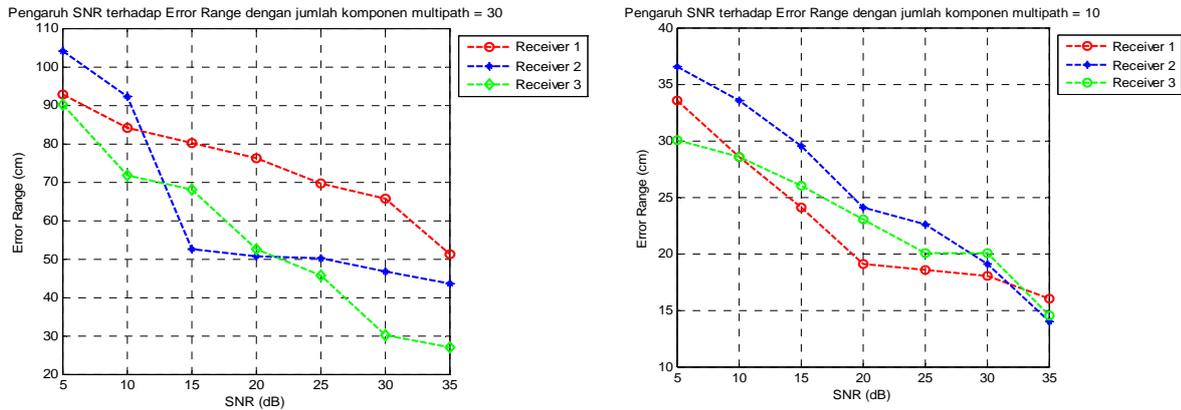
Dari hasil percobaan pada Gambar 4.1 dapat dilihat pengaruh jumlah komponen *multipath* terhadap performansi TOA dengan menggunakan Algoritma MUSIC. Nilai error range mengalami kenaikan saat jumlah komponen *multipath* semakin banyak.

Maka dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah komponen *multipath* maka performansi TOA semakin buruk. Hal ini menggambarkan bahwa kondisi dari model kanal yang digunakan terdapat semakin banyak sinyal yang terpantul. Kondisi ini mempengaruhi penentuan sinyal *Direct-LOS* yang semakin sulit untuk didapatkan oleh sistem TOA.

Setelah proses estimasi TOA, maka dilakukan proses penentuan posisi dengan menggunakan algoritma *Chan*. Performansi *positioning* akan dilihat dalam akurasi yang dinyatakan dengan RMS (*Error Mean Square*) yang merupakan *error ranging* terhadap posisi yang sebenarnya.

### 4.1.2 Pengaruh SNR terhadap Performansi Positioning

Proses pertama yang dilakukan dalam penentuan posisi adalah penentuan estimasi TOA

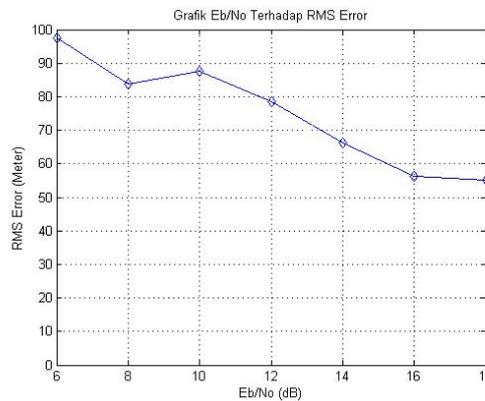


**Gambar 4.2** Error range Vs SNR dengan jumlah komponen *multipath* = 10 dan 30

Dari hasil percobaan pada kedua grafik di atas dapat dilihat pada Gambar 4.2 bahwa nilai SNR berpengaruh terhadap performansi TOA. Nilai *error range* akan semakin kecil ketika nilai SNR semakin tinggi. SNR memberikan perbandingan antara sinyal dan *noise*, sehingga menentukan tingkat dominasi sinyal. Semakin tinggi nilai SNR dan semakin kecil jumlah komponen *multipath* maka dominasi sinyal semakin tinggi, sehingga performansi algoritma MUSIC semakin tinggi

## 4.2 Performansi Algoritma TDOA

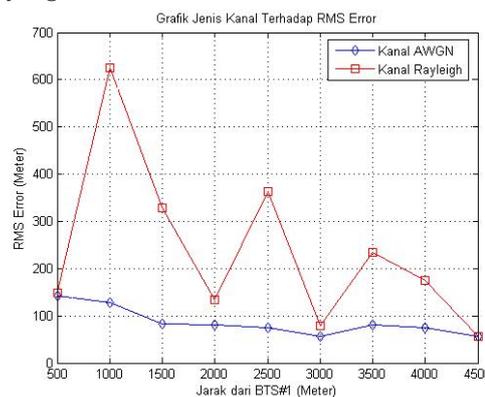
### 4.2.1 Pengaruh AWGN



**Gambar 4.3** RMS error untuk level Eb/No yang berbeda

Kesalahan pengukuran (*RMS error*) berkurang seiring dengan meningkatnya level Eb/No. Hal ini dikarenakan proses kross korelasi sinyal dari MS yang diterima oleh tiap BTS menghasilkan ketelitian yang berbeda untuk level sinyal yang berbeda. Semakin besar level sinyal yang diterima oleh tiap BTS, maka hasil dari proses kross korelasi semakin teliti.

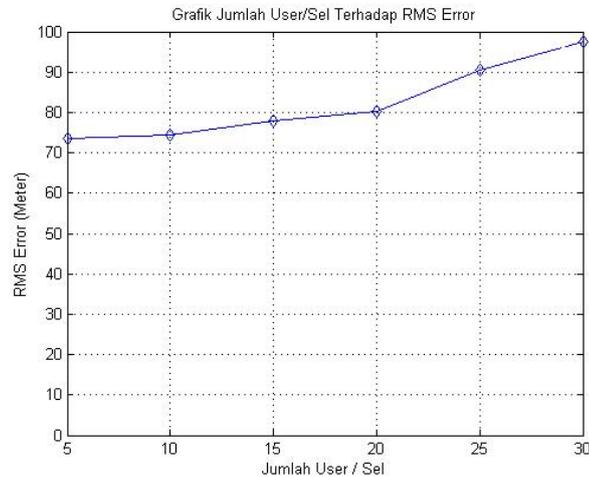
### 4.2.2 Pengaruh kanal *fading* Rayleigh



**Gambar 4.4** RMS error kondisi *fading* Rayleigh dan AWGN dengan jarak dari BTS #1 yang berbeda

Untuk kanal *fading rayleigh*, RMS *error* untuk beberapa kasus terjadi dengan nilai yang besar. Hal ini disebabkan sinyal yang dikross-korelasikan merupakan penambahan dari sinyal-sinyal dengan lintasan yang berbeda akibat dari efek pantulan

#### 4.2.3 Pengaruh Jumlah User Penginterferensi



**Gambar 4.5** Perbandingan RMS error untuk jumlah user penginterferensi yang berbeda

Nilai RMS *error* bertambah besar seiring dengan bertambahnya jumlah *user* aktif. Hal ini disebabkan penambahan jumlah *user* aktif mengakibatkan bertambah pula jumlah penginterferensi. Seperti yang telah dijelaskan, metoda GCC tidak selektif dalam memilih sinyal yang akan dikross-korelasikan.

#### 5. KESIMPULAN

Dari penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- 1 Semakin besar jumlah komponen *multipath* maka performansi TOA akan semakin buruk, dikarenakan dengan bertambahnya jumlah komponen *multipath* maka dominasi sinyal terhadap *noise* semakin kecil.
- 2 Semakin besar jumlah komponen *multipath* maka jari-jari setiap *receiver* akan semakin besar, sehingga menyebabkan semakin besarnya daerah *error*. Namun dengan menggunakan algoritma *Chan* akurasi estimasi posisi objek masih dibawah 50 cm.
- 3 Semakin tinggi nilai SNR maka dominasi sinyal terhadap *noise* semakin besar. Hal ini menyebabkan performansi algoritma MUSIC semakin bagus.
- 4 Pada simulasi untuk jarak dari MS ke BTS referensi yang dekat, performansi melemah. Hal ini terlihat dari nilai RMS error mencapai 300 meter pada performansi TDOA.
- 5 Performansi penentuan posisi pada kanal fading Rayleigh melemah dibandingkan performansi pada kanal AWGN. Hal ini dikarenakan pada kanal Rayleigh terdapat efek pantulan gelombang oleh bangunan-bangunan dan objek-objek bergerak.
- 6 Bertambahnya sinyal penginterferensi mengakibatkan melemahnya performansi penentuan posisi. Metoda *Generalized Cross Corelasi* (GCC) tidak selektif terhadap sinyal untuk dikross-korelasikan. Sehingga sinyal penginterferensi juga ikut di masukkan dalam proses cross-korelasi.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- Aatique, Muhammad. 1997. "Evaluation of TDOA Techniques for Position Location in KOMUNIKASI SELULAR Systems". Thesis, Virginia
- Mizusawa, George A. 1996. "Performance of Hyperbolic Position Location Techniques for Code Division Multiple Access". Thesis, Poliechnic Institute and State University, Virginia
- Rappaport, Theodore S. 2002. "Wireless Communications: Principles and Practice", 2<sup>nd</sup> Edition. Prentice Hall Inc., New York
- Sharma, Rohit. 2001. "Efek of Subscriber Interference on Subscriber Location in CDMA Networks". Thesis. Mumbai University
- Xinrong Li. 2003. "Super-resolution TOA Estimation with Diversity Techniques for Indoor Geolocation Applications". Worcester Polytechnic Institute.