

# PENGARUH *MULTIPATH* SUSUNAN SEMBILAN ANTENA YAGI-UDA TERHADAP HASIL ESTIMASI SUDUT POSISI ROKET

Satria Gunawan Zain<sup>\*)</sup>

Ujuran Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Makassar  
Jl. Daeng Tata Raya Parangtambung, Makassar, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail : wawan38@yahoo.com

## Abstrak

Algoritme estimasi sudut azimut dan elevasi menggunakan sembilan buah antena Yagi-Uda yang telah dikembangkan berhasil diujikan namun perlu kajian efek dari *multipath*. Efek *multipath* ini sangat berpengaruh terhadap hasil estimasi sudut azimut dan sudut elevasi. Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan model *multipath* dari posisi pergerakan roket yang membawa muatan radio pemancar. Setiap saat radio pemancar yang berada pada muatan roket memancarkan sinyal pembawa frekuensi 465 Mhz dan pada penerima yang terdiri dari sembilan antena Yagi-Uda akan mengukur kuat sinyal yang telah dipengaruhi oleh *multipath*. Hasil simulasi menunjukkan efek *multipath* dari hasil estimasi sudut elevasi sangat besar dibandingkan dengan hasil estimasi sudut azimut.

*Kata kunci: efek multipath, sudut azimut, sudut elevasi, antena Yagi-Uda*

## Abstract

The algorithm of estimation azimuth and elevation angle using nine Yagi-Uda antenna had been succes tested but still need to study the multipath effect. This multipath effect due to the estimation of azimuth and elevation angle error. The tested done by simulated the multipath model of radio signal propogation that placed in payload rocket. Radio signal transmitted continuesly with carrier frequency is 465 Mhz and the measurement statiuon that consist of nine Yagi-Uda antennas measure the radio signal which interference by multipath effect. The simulation result show that multipath effect of elevation angle estimation is more influenced than azimuth angle estimation.

*Keyword : Multipath effect, azimuth angle, elevation angle, Yagi-Uda antennas*

## 1. Pendahuluan

Informasi mengenai unjuk kerja wahana terbang sangat dibutuhkan khususnya dalam pengembangan roket. Posisi, ketinggian, kecepatan dan jangkauan merupakan bagian dari informasi unjuk kerja wahana terbang. Untuk mendapatkan informasi tersebut dibutuhkan teknologi pendukung. Ada beberapa teknologi yang dapat digunakan diantaranya Radar (*Radio Detection And Ranging*) dan GPS (*Global Positioning System*).

Potensi penggunaan penerimaan sinyal radio sebagai deteksi posisi dan arah sumber pancaran radio menjadi topik yang banyak dikaji dalam tiga dekade terakhir. Berbagai metode telah dihasilkan seperti *Receive Signal Strength* (RSS), *Time Difference Of Arrival*(TDOA), *Difference Of Arrival* (DOA), *Phase Difence Of Arrival* (PDOA), Dan *Angle of Arrival* (AOA). Metode RSS menggunakan pemetaan kuat sinyal untuk setiap titik dalam ruang. Metode ini sesuai untuk deteksi posisi

dalam sebuah ruang atau gedung namun tidak tepat digunakan untuk untuk pengukuran di luar ruang walau pun ada beberapa teknik yang menggunakan model *path loss* kuat sinyal di udara untuk pemetaan kuat sinyal yang diterima [1]. Estimasi sudut azimut dan elevasi secara bersamaan tentunya menjadi hal yang mutlak untuk estimasi posisi gerak wahana terbang seperti pesawat ataupun roket. Objek yang bergerak dalam ruang dua dimensi dapat diketahui berdasarkan informasi sudut yang terbentuk oleh objek terhadap dua titik amatan namun untuk objek yang bergerak tiga dimensi dibutuhkan data sudut azimut dan elevasi untuk mengetahui arah dari objek dengan pasti. Selain estimasi posisi gerak dalam 3 dimensi dapat dihitung menggunakan data sudut azimut dan elevasi dapat juga menggunakan data jarak dari titik amatan terhadap objek. Teknik ini disebut dengan *Time different of arrival* (TDOA).

Penggunaan pola radiasi dari antena Yagi-Uda juga telah dikaji [3]. Dalam penelitiannya digunakan antena yagi pada penerima dan pemancar. Antena pemancar diputar

360° setiap pergerakan antenna penerima  $\Theta^\circ$ . Metode tersebut diterapkan untuk mengetahui posisi dari sumber pancaran dalam sebuah gedung. Dari percobaan yang dilakukan metode yang digunakan terbukti lebih unggul dibandingkan dengan algoritme MUSIC maupun ESPRIT [3].

Potensi penggunaan pola radiasi dari antenna Yagi-Uda dapat dikembangkan dengan membuat kombinasi beberapa antenna Yagi-Uda yang disusun dengan konfigurasi tertentu. Antenna Yagi-Uda mempunyai variasi *gain* setiap sudut penerimaannya sehingga dengan menyusun secara horizontal dengan sudut arahan yang berbeda maka setiap antenna akan mengukur kuat sinyal terima dengan nilai yang berbeda. Berdasarkan perbedaan kuat sinyal yang diterima setiap antenna maka akan terbentuk suatu pola tertentu yang mengindikasikan arah dari sumber pancaran. Perpaduan dari beberapa antenna yang disusun secara vertikal dan horizontal memungkinkan untuk mengestimasi sudut azimut dan elevasi secara simultan [4].

Estimasi sudut berdasarkan kuat sinyal yang diterima tentunya tidak lepas dari gangguan sinyal yang disebabkan oleh pantulan yang biasa disebut dengan *multipath*. Dalam makalah ini akan dikaji pengaruh *multipath* terhadap hasil estimasi sudut azimut dan elevasi dari algoritma dan metode yang telah dikembangkan sebelumnya.

## 2. Metode

### 2.1. Perhitungan Multipath

*Multipath* adalah pantulan sinyal radio dari benda atau objek sekitarnya seperti tanah, gedung dan kendaraan yang melintas. *Multipath* ini dapat mempengaruhi sinyal yang diterima oleh penerima. Gambar 1 menunjukkan ilustrasi *multipath* [2].  $ht$  adalah tinggi dari antenna pemancar dan  $hr$  adalah tinggi dari antenna penerima. Kuat sinyal yang diterima oleh antenna penerima dipengaruhi oleh rambatan gelombang radio yang langsung menuju antenna dengan jarak rambatan  $l$  dan rambatan gelombang radio yang terpantul oleh tanah dengan jarak rambatan sebesar  $x+x'$ . Gelombang radio yang merambat langsung akan dikuatkan oleh antenna penerima dengan nilai  $Gc$  sedangkan gelombang radio hasil pantulan dari tanah akan dikuatkan sebesar  $Gd$ . Jarak antara antenna penerima dan pemancar ( $d$ ) berpengaruh pula terhadap kuat sinyal yang diterima. Besarnya kuat sinyal yang diterima dapat dirumuskan dalam persamaan 1.

$$P_r = P_t \left[ \frac{\lambda}{4\pi} \right]^2 \left| \frac{\sqrt{GaGb}}{l} + \frac{\sqrt{GcGd} \exp(-j\Delta\phi)}{x+x'} \right|^2 \quad (1)$$

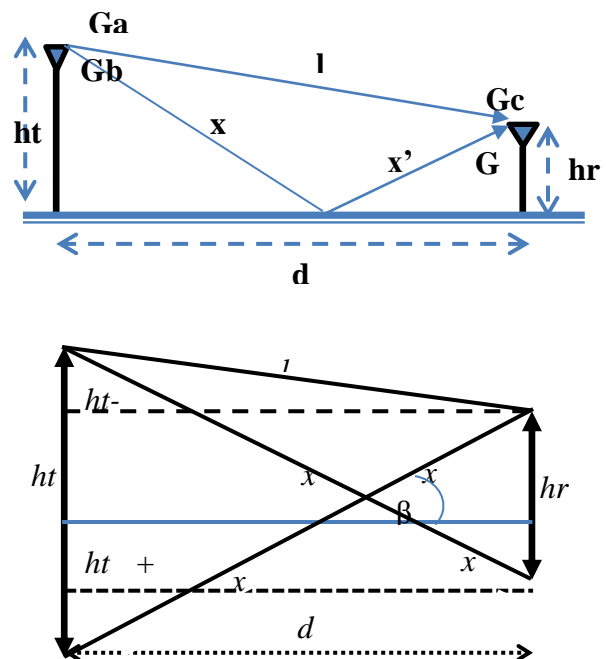
$$\Delta\phi = \frac{2\pi(x+x'-l)}{\lambda} \quad (2)$$

$$x+x'-l = \frac{\sqrt{(ht+hr)^2+d^2} - \sqrt{(ht-hr)^2+d^2}}{2} \quad (3)$$

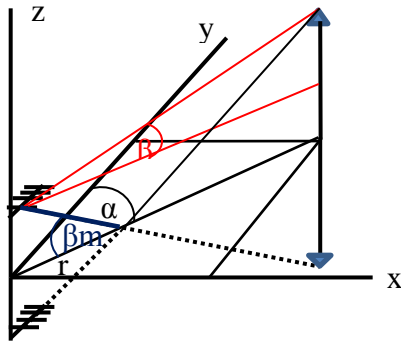
$P_r$  sebagai kuat sinyal yang diterima,  $G_a$  dan  $G_b$  adalah *gain* dari pemancar,  $G_c$  dan  $G_d$  adalah *gain* dari penerima dan  $P_t$  adalah kuat sinyal yang dipancarkan. Persamaan diatas diterapkan pada sistem estimasi sudut azimut dan elevasi menggunakan antenna *array* Yagi-Uda untuk objek yang bergerak dalam ruang tiga dimensi seperti pada Gambar 2 dimana  $\alpha$  adalah sudut azimut yang terbentuk dari antenna penerima kearah antenna pemancar dan  $\beta$  adalah sudut elevasinya. Untuk mengetahui besarnya kuat sinyal yang diterima oleh sembilan antenna, persamaan 1 diubah menjadi persamaan 4 berikut ini.

$$P_r(k) = P_t \left[ \frac{\lambda}{4\pi} \right]^2 \left| \frac{\sqrt{G_a G_b}}{l} + \frac{\sqrt{G_k(\alpha, \beta 1) G_k(\alpha, \beta m)} \exp(-j\Delta\phi)}{x+x'} \right|^2 \quad (4)$$

$G_k(\alpha, \beta)$  adalah *gain* antenna Yagi ke-k pada sudut  $\alpha$  dan  $\beta$ . Dan  $G_k(\alpha, \beta m)$  adalah *gain* antenna ke-k pada sudut  $\alpha$  dan  $\beta m$  yang merupakan sinyal pantulan dari tanah.



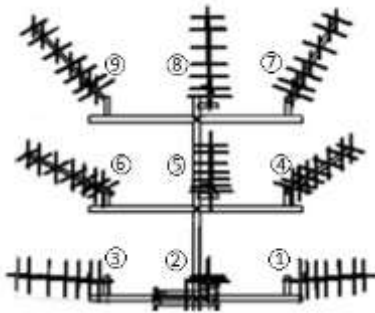
Gambar 1. Multipath



Gambar 2. Ilustrasi *multipath* dalam koordinat 3d

2.2. Algoritme Estimasi Sudut Azimut Dan Elevasi

Algoritme pengukuran sudut azimut dan elevasi didasarkan pada rasio dari kuat sinyal antena horizontal dan rasio kuat sinyal antena vertikal yang secara bersamaan diinterpolasikan ke dalam *lookup table* [5]. Rasio kuat sinyal horizontal dan vertikal ini diperoleh dari hasil seleksi kuat sinyal terbesar yang diukur oleh kesembilan antena (Gambar 3). Antena dengan pengukuran kuat sinyal terbesar menjadi indikasi awal arah dari sumber pancaran. Sumber pancaran yang searah dengan salah satu antena akan mengukur kuat sinyal yang lebih besar dibandingkan dengan antena yang tidak searah dengan sumber pancaran.



Gambar 3. Susunan kesembilan antena Yagi-Uda

*Lookup table* sendiri berisikan informasi tentang rasio kuat sinyal arah horizontal dan vertikal yang bersesuaian dengan sudut azimut dan elevasi. *Lookup table* ini diperoleh dari data validasi yang dilakukan sebelum pengukuran. Sebelum pengukuran antena mengukur kuat sinyal pemancar pada posisi dan arah yang sudah diketahui kemudian kuat sinyal dan arahnya disimpan dalam suatu file *database*. Berdasarkan kuat sinyal kesembilan antena dan data sudut maka *lookup tabel* dibuat menggunakan algoritme yang akan dijelaskan kemudian.

Untuk menentukan sudut azimut dan elevasi dari sumber pancaran radio yang berada pada roket dilakukan dengan melakukan interpolasi data terhadap rasio dari azimut yang tersusun secara vertikal dan horizontal seperti pada Gambar 4.a. Jika yang dideteksi terkuat adalah kanal pertama maka penentuan sudut azimut adalah dengan menghitung rasio dari kuat sinyal kanal pertama dan ke dua sedangkan untuk menentukan sudut elevasi maka digunakan perbandingan kuat sinyal kanal pertama dan keempat. Jika kuat sinyal yang dideteksi adalah kanal kedua (Gambar 4.b) maka untuk mengukur sudut azimut digunakan perbandingan kuat sinyal dari kanal satu atau kanal tiga tergantung mana yang terbesar dari kedua kanal tersebut. Untuk menghitung sudut elevasinya digunakan perbandingan kanal dua dan lima. Untuk kasus dimana kanal lima terdeteksi terkuat (Gambar 4.c) maka salah satu dari kanal empat dan enam yang terbesar digunakan mencari nilai rasio untuk menentukan sudut azimut sedangkan untuk sudut elevasi digunakan perbandingan kanal lima dengan salah satu dari kanal delapan atau dua terbesar demikian seterusnya.

7	8	9
4	5	6
1	2	3

(a)

7	8	9
4	5	6
1	2	3

(b)

7	8	9
4	5	6
1	2	3

(c)

Gambar 4. Penentuan rasio antena vertikal dan horisonal

Berdasarkan Gambar 4 maka algoritma estimasi sudut azimut dan elevasi dapat dijabarkan berikut ini [4]:

Algoritme Estimasi Sudut Azimut:

1. Mengukur Kuat sinyal sembilan penerima antena Yagi-Uda  
 $Prx = [Pr1 Pr2 Pr3 Pr4 Pr5 Pr6 Pr7 Pr8 Pr9]$
2. Mencari posisi sinyal terkuat dari sembilan antena  
 $X = \text{argmax}(Prx)$
3. Menghitung rasio kuat sinyal azimut( $R_\alpha$ ) dan rasio kuat sinyal elevasi ( $R_\beta$ ) menggunakan 15 aturan berikut ini:
  - a. Jika  $x = 1$  maka  
 $R_\alpha = \frac{s1}{s2} ; R_\beta = \frac{s1}{s3}$
  - b. Jika  $x = 2$  dan  $s1 > s3$  maka  
 $R_\alpha = \frac{s2}{s1} ; R_\beta = \frac{s2}{s5}$
  - c. Jika  $x = 2$  dan  $s1 < s3$  maka  
 $R_\alpha = \frac{s2}{s3} ; R_\beta = \frac{s2}{s5}$
  - d. Jika  $x = 3$  maka  
 $R_\alpha = \frac{s3}{s2} ; R_\beta = \frac{s3}{s6}$
  - e. Jika  $x = 4$  dan  $s1 > s7$  maka  
 $R_\alpha = \frac{s4}{s5} ; R_\beta = \frac{s4}{s1}$
  - f. Jika  $x = 4$  dan  $s1 < s7$  maka

- $R_\alpha = \frac{s4}{s7} ; R_\beta = \frac{s4}{s1}$   
 g. Jika  $x = 5$  dan  $s4 > s6$  dan  $s2 > s8$  maka  
 $R_\alpha = \frac{s5}{s4} ; R_\beta = \frac{s5}{s2}$   
 h. Jika  $x = 5$  dan  $s4 < s6$  dan  $s2 > s8$  maka  
 $R_\alpha = \frac{s5}{s6} ; R_\beta = \frac{s5}{s2}$   
 i. Jika  $x = 5$  dan  $s4 < s6$  dan  $s2 < s8$  maka  
 $R_\alpha = \frac{s5}{s6} ; R_\beta = \frac{s5}{s8}$   
 j. Jika  $x = 6$  dan  $s3 > s8$  maka  
 $R_\alpha = \frac{s6}{s5} ; R_\beta = \frac{s6}{s3}$   
 k. Jika  $x = 6$  dan  $s3 < s8$  maka  
 $R_\alpha = \frac{s6}{s5} ; R_\beta = \frac{s6}{s8}$   
 l. Jika  $x = 7$  maka  
 $R_\alpha = \frac{s7}{s6} ; R_\beta = \frac{s7}{s8}$   
 m. Jika  $x = 8$  dan  $s7 > s9$  maka  
 $R_\alpha = \frac{s8}{s7} ; R_\beta = \frac{s8}{s5}$   
 n. Jika  $x = 8$  dan  $s7 < s9$  maka  
 $R_\alpha = \frac{s8}{s9} ; R_\beta = \frac{s8}{s5}$   
 o. Jika  $x = 9$  maka  
 $R_\alpha = \frac{s9}{s8} ; R_\beta = \frac{s9}{s6}$

4. Estimasi sudut azimut dengan menghitung jumlah kuadrat  $R_\alpha$  dan  $R_\beta$  kemudian menginterpolasikan ke dalam *lookup table* yang sesuai dengan aturan langkah 3.

$$R = R_\alpha^2 + R_\beta^2$$

$$\alpha(r) = \sum_{i=0}^n L_i(r) \alpha(r_i)$$

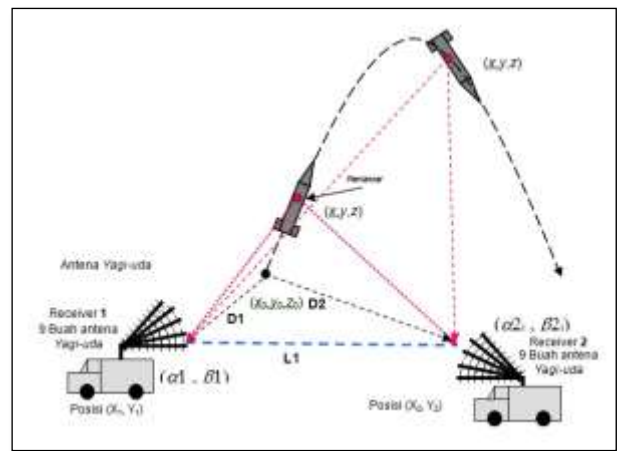
$$\beta(r) = \sum_{i=0}^n L_i(r) \beta(r_i)$$

$$L_i(r) = \prod_{j=0; j \neq i}^3 \left( \frac{r - r_j}{r_0 - r_j} \right)$$

### 3. Hasil dan Analisis

Pengujian algoritme dan analisis efek dari *multipath* dilakukan dengan simulasi. Dua buah pemancar diletakkan di belakang roket yang memuat radio pemancar. Setiap saat radio aktif memancarkan gelombang radio dengan frekuensi 465 MHz. Hanya diperlukan sinyal *carrier* dan tidak membutuhkan sinyal *sub carrier*. Sinyal yang diterima oleh dua stasiun penerima secara bersamaan diolah menjadi data sudut azimut dan elevasi. Gambar 5 menunjukkan posisi pengukuran. Setiap stasiun penerima akan mengukur

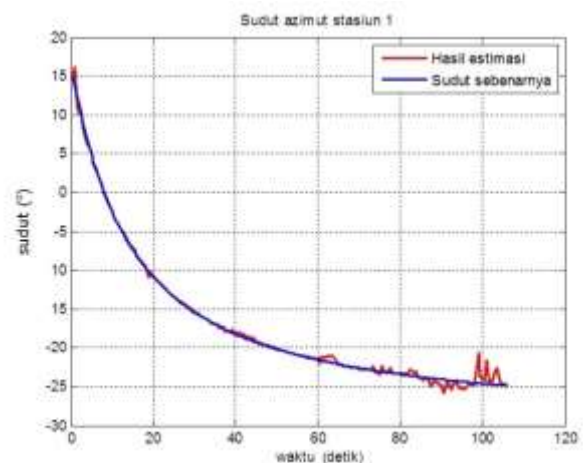
sudut azimut ( $\alpha$ ) dan elevasi ( $\beta$ ) yang terbentuk dari titik pengukuran ke radio pemancar yang terpasang pada roket.



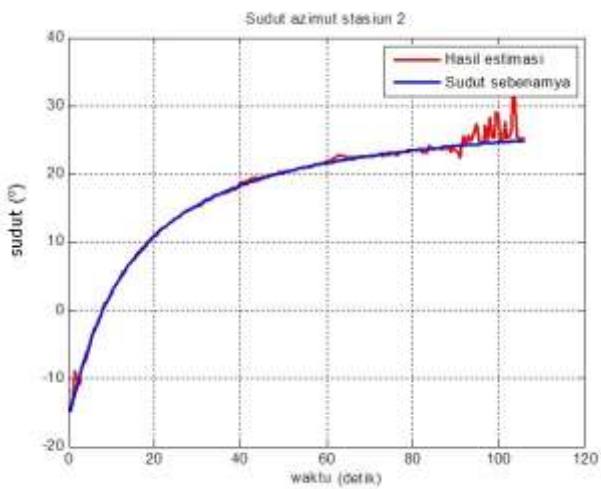
Gambar 5. Posisi awal pengukuran

Hasil pengujian algoritme estimasi sudut didua stasiun pengukuran ditunjukkan pada Gambar 6. Sudut azimut di semua stasiun pengukuran menunjukkan kondisi yang tidak terlalu berpengaruh terhadap efek *multipath*. Efek *multipath* ini sangat berpengaruh terhadap estimasi sudut elevasi. Jarak juga berpengaruh terhadap hasil estimasi. Semakin jauh jarak dan sudutnya semakin kecil maka kesalahan pengukuran semakin besar pula, hal ini ditunjukkan pada Gambar 6 dan 7.

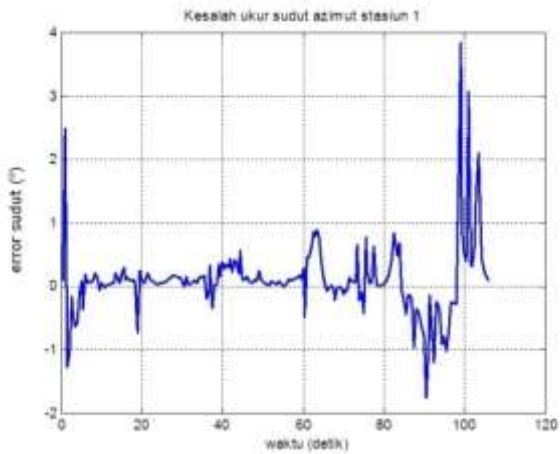
Gambar 6 dan 7 didapatkan dari hasil simulasi gerak roket jenis RX-320 dengan sudut arahan antenna 60° untuk masing-masing stasiun pengukuran terhadap sumbu x. Jarak antara stasiun pengukuran sebesar 4 km dan jarak antara stasiun terhadap posisi awal roket adalah 2 km (Gambar 5). Roket bergerak lurus ke depan dengan kecepatan 2,53 mach. Dengan kecepatan ini maka posisi roket yang dapat dimonitor adalah sebesar 854 meter setiap detiknya.



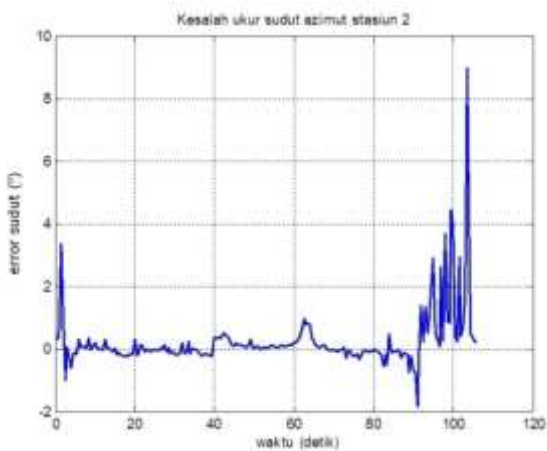
a. Hasil pengukuran sudut azimut stasiun 1



b. Hasil pengukuran sudut azimuth stasiun 2

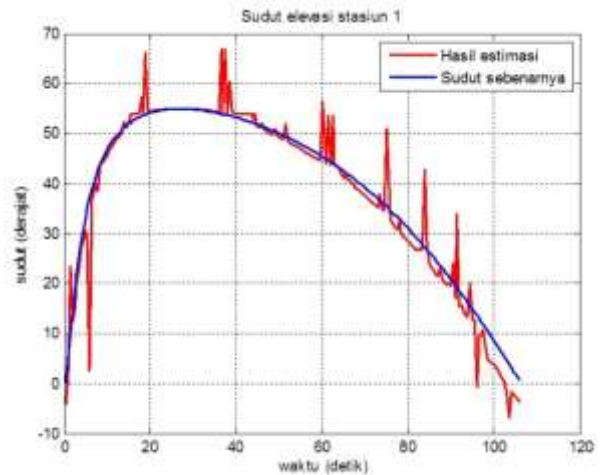


c. Kesalahan ukur sudut azimuth stasiun 1

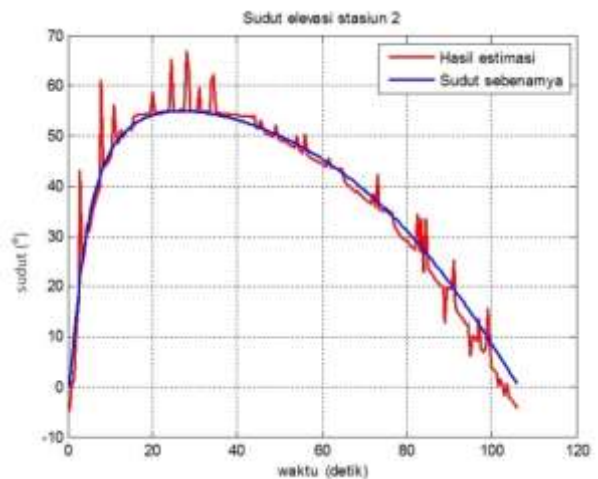


d. Kesalahan ukur sudut azimuth stasiun 2

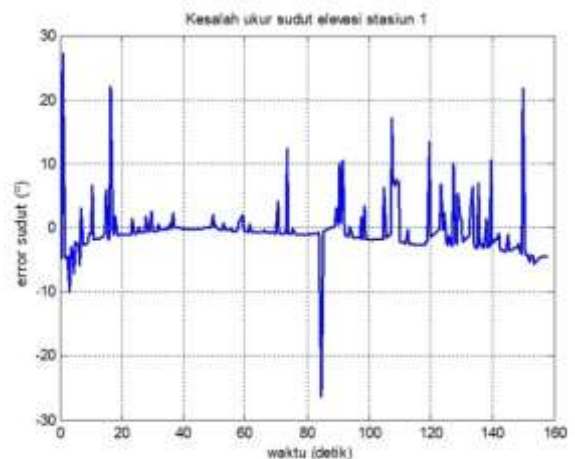
Nilai RMS kesalahan pengukuran sudut azimuth untuk stasiun pertama sebesar  $0,77^\circ$  dan stasiun kedua sebesar  $1,12^\circ$ . Varian pengukuran untuk stasiun pertama dan kedua adalah 0,33 dan 0,47. Nilai kesalahan terbesar untuk stasiun pertama dan kedua masing-masing adalah  $5,72^\circ$  dan  $4,76^\circ$ .



a. Hasil pengukuran sudut elevasi stasiun1

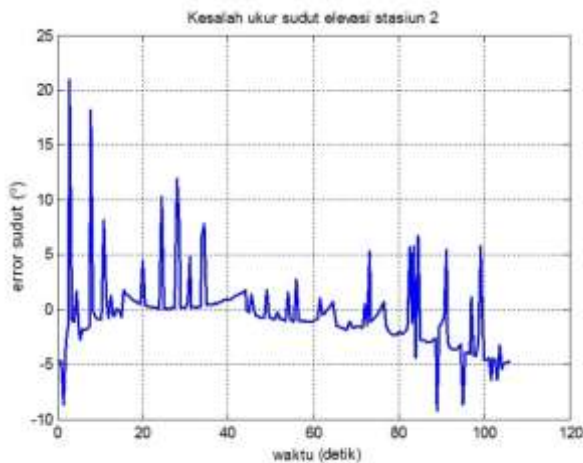


b. Hasil pengukuran sudut elevasi stasiun 2



c. Kesalahan ukur sudut elevasi stasiun 1

Gambar 6. Hasil pengukuran sudut azimuth di stasiun 1 dan 2



d. Kesalahan ukur sudut elevasi stasiun 2

**Gambar 7. Hasil pengukuran sudut elevasi stasiun 1 dan 2**

Kesalahan pengukuran sudut elevasi jauh lebih besar karena sangat terpengaruh oleh efek *multipath*. Nilai RMS kesalahan sudut elevasi untuk stasiun pertama dan kedua masing-masing sebesar  $4,14^\circ$  dan  $3,90^\circ$ . Varian pengukuran untuk stasiun pertama dan kedua adalah 17,07 dan 15,38. Nilai kesalahan terbesar untuk stasiun pertama dan kedua masing-masing adalah  $27,15^\circ$  dan  $22,32^\circ$ .

#### 4. Kesimpulan

Efek *multipath* untuk estimasi sudut azimuth tidak terlalu berpengaruh dibandingkan dengan hasil estimasi sudut elevasi. Susunan antenna horisontal dapat mengurangi efek *multipath* untuk estimasi sudut azimuth disebabkan oleh nilai rasio yang tidak banyak berubah oleh gangguan berupa *multipath*. Efek *multipath* pada antenna yang tersusun secara vertikal sangat mempengaruhi hasil estimasi sudut elevasi.

#### Referensi

- [1]. A.E. Waadt, C. Kocks, S. Wang, G. H. Bruck, P. Jung, 2010, *Maximum Likelihood Localization Estimation based on Received Signal Strength*, International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL).
- [2]. American National Standards Institute, IEEE Std 149™-1979 (R2008), *IEEE Standard Test Procedures for Antennas*, New York, IEEE Standards Board The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2008.
- [3]. K. Sayrafian-Pour, D. Kaspar, 2006, *Source-Assisted Direction Estimation Inside Buildings*, IEEE International Conference on Computer Communications
- [4]. Satria G. Zain, T. S. Widodo, A. Susanto, W. Widada, 2011, Algoritme deteksi sudut azimuth dan elevasi roket menggunakan sembilan antenna array Yagi-Uda, *Jurnal Teknologi Dirgantara*, Vol. 9/No. 1/2011.
- [5]. Satria G. Zain, T. S. Widodo, A. Susanto, W. Widada, 2014, *Angle of Arrival Using Cross Yagi-Uda Antennas*, International Conference on Applied Electromagnetic Technology, Mataram.