

ALGORITMA DETEKSI SUDUT AZIMUT DAN ELEVASI ROKET MENGUNAKAN SEMBILAN ANTENA ARRAY YAGI-UDA

Satria Gunawan Zain^{*)}, Adhi Susanto^{*)}, Thomas Sri Widodo^{*)}, Wahyu Widada^{**)}

^{*)} Universitas Gadjah Mada

^{**)} Peneliti Bidang Telemetry dan Muatan Roket, LAPAN

e-mail: wawan38@yahoo.com

ABSTRACT

Radiation pattern of Yagi-Uda antenna is elliptical. This pattern can be used as a detector for the direction of the source of a radio emission. A total of nine Yagi-Uda antennas fitted with a 3x3 configuration. With this configuration, the measurement range for azimuth and elevation angles can reach 80°. The simulation was performed by using an antenna radiation pattern data. The number of antennas used for this simulation is nine. Then the data is merged into a 3x3 antenna configuration data. Based on data from nine antenna radiation patterns, the algorithm for the estimation of azimuth and elevation angles can be applied. Simulation results show that the measurement error of the signal without noise is close to zero. The algorithm used in this simulation can be applied to noise below 25%.

Key word: *Angle Estimation, Noise effects, Yagi-Uda Antennas, Rocket movement estimation*

ABSTRAK

Pola radiasi antena Yagi-Uda berbentuk elips dapat digunakan sebagai detektor arah sumber pancaran radio. Sembilan antena Yagi-Uda dipasang dengan konfigurasi 3x3 dapat menghasilkan pengukuran sudut dengan range 80° sudut elevasi dan azimut. Simulasi dibuat dengan mengambil data pola radiasi antena yagi kemudian digabungkan hingga membentuk konfigurasi 3x3 antena. Dengan pola radiasi sembilan antena, algoritma penentuan sudut azimut dan elevasi dapat dibuat dan dijalankan dengan baik. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa kesalahan pengukuran dari sinyal tanpa derau mendekati nol. Algoritma yang dipakai pada simulasi ini dapat diterapkan untuk derau di bawah 25%.

Kata kunci: *Estimasi sudut, Efek derau, Antena Yagi-Uda, Estimasi gerak roket*

1 PENDAHULUAN

Pengembangan roket Indonesia intensif dilakukan dengan melihat frekuensi peluncuran roket empat kali setahun. Untuk menguji performa roket dibutuhkan alat ukur yang baik. Ada banyak instrumen ukur yang digunakan antara lain sensor GPS, INS. Pemanfaatan sinyal radio sebagai pembawa informasi posisi yang dihasilkan dari GPS (*Global Position System*) telah sering dilakukan. Melihat sampling data GPS setiap detiknya masih kurang yaitu 5 data perdetik sehingga dibutuhkan teknologi alternatif yang dapat diandalkan.

Penggunaan GPS sesuai untuk obyek gerak dengan kecepatan rendah namun kurang sesuai untuk mengamati obyek dengan kecepatan tinggi seperti roket. Teknologi alternatif lain yang dapat digunakan adalah estimasi sudut berdasarkan sinyal radio yang dipancarkan dari *payload* roket. Estimasi posisi berdasarkan sinyal radio dapat lebih efisien tanpa menggunakan perangkat tambahan seperti GPS dan memungkinkan untuk peningkatan sampling data posisi yang lebih banyak. Beberapa tahun terakhir telah banyak dikembangkan sistem estimasi posisi berdasarkan sinyal radio.

Obyek yang akan diamati terpasang sebuah radio pemancar yang aktif setiap saat. Bagian penerima mendeteksi posisi pemancar berdasarkan kuat sinyal pancaran yang diterima. Secara garis besar dikenal dua teknik yang bekerja berdasarkan sinyal radio. Pertama dengan *Different of Arrival* (DOA), teknik ini digunakan dalam menentukan posisi sumber pancaran berdasarkan sudut datang sinyal sehingga arah dari posisi pancaran radio dapat diketahui. Yang kedua dikenal dengan nama *Time Different of Arrival* (TDOA) yang berkerja dengan menghitung waktu propagasi gelombang radio di udara. Dalam makalah ini dibahas teknik DOA dengan metode interpolasi rasio kuat sinyal radio.

Teknik DOA yang telah umum dikenal menggunakan algoritma *Estimation of Singal Parameters via Rotational Invariance Tecniques* (ESPRIT) (Elnahrawy dkk, 2007) dan MUSIC (Sun & Karmakar, 2005). Algoritma ESPRIT ini memanfaatkan antenna *omni directional* yang dipasang secara *array* dan membentuk 3 aksis. Arah sumber pancaran dideteksi berdasarkan spektrum terbesar dari seluruh antenna. Algoritma MUSIC juga memanfaatkan beberapa antenna omni yang tersusun dalam bentuk sirkular. Arah sumber pancaran diestimasi berdasarkan perbedaan *phasa* dari beberapa antenna. Teknik lain yang dapat digunakan adalah pemanfaatan pola radiasi antenna *cross Yagi-Uda* yang disusun secara *array* dengan konfigurasi 3x3 untuk deteksi posisi dari arah sumber pancaran.

Berbeda dengan algoritma MUSIC dan ESPRIT, sistem yang dikembangkan menggunakan algoritma estimasi arah sumber pancaran berdasarkan rasio dua kuat sinyal terhadap pola radiasi sembilan antenna. Pola radiasi diukur terlebih dahulu dan akan digunakan dalam mengestimasi arah sumber pancaran. Pola radiasi yang diukur mengandung informasi kuat sinyal setiap sudut

azimut dan elevasi dalam bentuk 2 dimensi.

Sistem ini dianalisa secara teoritik untuk mendapatkan hasil yang optimal. Dalam makalah ini akan dibahas algoritma deteksi sudut azimuth dan elevasi dari sistem estimasi menggunakan konfigurasi antenna 3x3.

2 METODOLOGI

Sinyal radio yang diterima dari titik terima S dikuatkan oleh antenna dengan penguatan $G(\theta)$. Besarnya kuat sinyal tergantung pada jarak, *path loss*, *multiphath*, yang dapat dituliskan dalam persamaan (2-1).

$$Pr = St + G(\theta) + nW \quad (2-1)$$

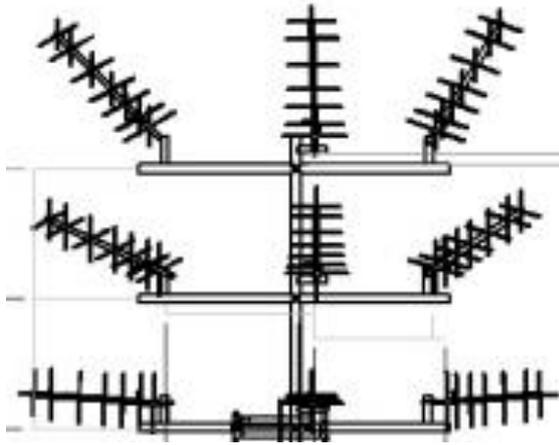
Dengan Pr adalah kuat sinyal yang terbaca dari perangkat penerima dan nW adalah derau yang dihasilkan dari *multiphath*. Sinyal St mengalami perubahan secara logaritmik terhadap jarak yang dapat dituliskan dalam persamaan (2-2)

$$St = Pt - PL \quad (2-2)$$

Dengan Pt adalah daya yang dipancarkan oleh radio pemancar dan PL adalah *pathloss*. Nadir (2008) merumuskan PL seperti pada persamaan (2-3). Perubahan besarnya *loses* di udara (PL) semakin besar secara logaritmik dengan makin jauhnya jarak pemancar (d).

$$PL = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32,45 \quad (2-3)$$

Antena yang digunakan dalam mengukur sudut adalah antenna *cross Yagi-Uda* dengan konfigurasi 3x3. Antena Yagi-Uda memiliki karakteristik pola radiasi yang berbentuk elips dimana setiap sisi penerimaannya mempunyai *gain* yang sifatnya unik sehingga dapat dimanfaatkan sebagai detektor arah sumber pancaran. Konfigurasi dari 9 antenna *cross Yagi-Uda* dapat dilihat pada Gambar 2-1.



Gambar 2-1: Konfigurasi sembilan antenna Yagi-Uda

Dari Gambar 2-1 terlihat 9 antenna cross Yagi-Uda dengan sudut arahan yang berbeda. Antena sebelah kiri bagian bawah menguatkan sinyal terima (r_x) dengan gain $G(\alpha - sa, \beta)$. Karena antenna diarahkan dengan sudut yang berbeda maka sinyal terima dikuatkan sesuai dengan gain sudut terima antenna. Diasumsikan kesembilan antenna mempunyai pola radiasi yang sama sehingga sinyal radio yang datang akan dikuatkan oleh masing-masing antenna. Jika antenna yang tersusun horisontal diarahkan dengan sudut arahan yang berbeda sebesar a° dan antenna vertikal disusun dengan perbedaan arah sebesar b° maka persamaan kuat sinyal terima dapat dituliskan sebagai berikut:

$$r_x = S_t + nW \quad (2-4)$$

$$Pr_1 = r_x + G(\alpha - sa, \beta) \quad (2-5)$$

$$Pr_2 = r_x + G(\alpha, \beta) \quad (2-6)$$

$$Pr_3 = r_x + G(\alpha + sa, \beta) \quad (2-7)$$

$$Pr_4 = r_x + G(\alpha - sa, \beta + sb) \quad (2-8)$$

$$Pr_5 = r_x + G(\alpha, \beta + sb) \quad (2-9)$$

$$Pr_6 = r_x + G(\alpha + sa, \beta + sb) \quad (2-10)$$

$$Pr_7 = r_x + G(\alpha - sa, \beta + 2sb) \quad (2-11)$$

$$Pr_8 = r_x + G(\alpha, \beta + 2sb) \quad (2-12)$$

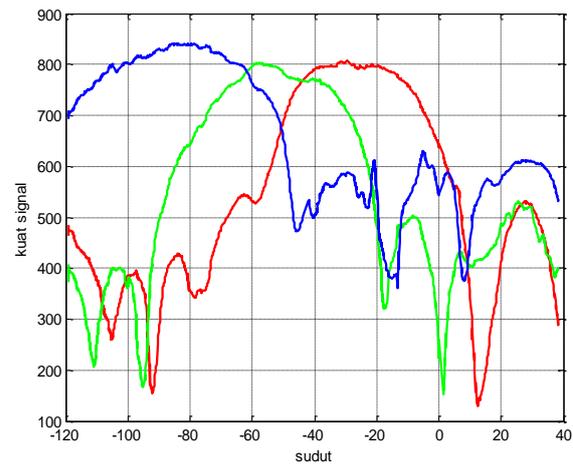
$$Pr_9 = r_x + G(\alpha + sa, \beta + 2sb) \quad (2-13)$$

$$Pr_x = \begin{bmatrix} Pr_7 & Pr_8 & Pr_9 \\ Pr_4 & Pr_5 & Pr_6 \\ Pr_1 & Pr_2 & Pr_3 \end{bmatrix} \quad (2-14)$$

Persamaan (2-4) menunjukkan kuat sinyal di posisi penerima ditambah derau yang berupa *multiphat* (nW). Pada

persamaan (2-5)-(2-13) terlihat bahwa sinyal yang datang (r_x) akan dikuatkan dengan *gain* yang berbeda. Pr_1 - Pr_9 menunjukkan kuat sinyal yang diterima dengan urutan dari kiri bawah ke kanan dan ke atas secara berurutan yang diilustrasikan dalam bentuk matriks pada persamaan (2-14).

Sinyal datang yang searah dengan antenna akan mendapatkan penguatan yang paling besar, dan sebaliknya semakin jauh dari sudut arahan antenna maka kuat sinyalnya melemah (Zain dkk, 2007). Gambaran dari penguatan dari sinyal antenna Yagi-Uda dapat dilihat pada Gambar 2-2. Posisi dari sumber pancaran dapat dideteksi dengan mencari nilai terbesar satu dari sembilan antenna yang ada.



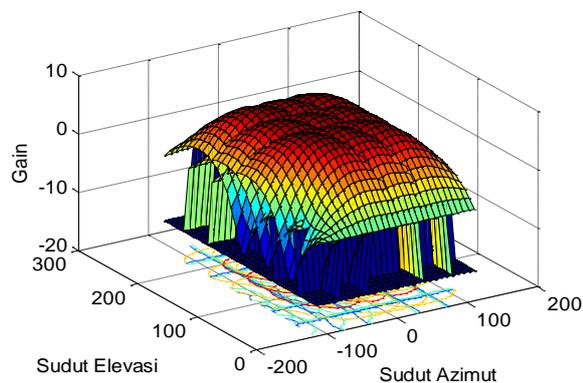
Gambar 2-2: Penguatan sinyal dari 3 buah antenna Yagi-Uda

Dengan menggunakan perbandingan kuat sinyal dari dua sinyal terbesar maka dapat dihasilkan pengukuran sudut yang lebih eksak. Untuk lebih mudahnya digunakan grafik seperti pada Gambar 2-2. Pada posisi pemancar di sudut -80° yang terdeteksi dengan kuat sinyal terbesar ada pada antenna pertama dan antenna kedua. Rasio dari kedua sinyal tersebut berkorelasi terhadap arah dari sumber pancaran. Algoritma untuk menentukan sudut dari sumber pancaran dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Mencari dua sinyal terkuat
- Mencari rasio dari kedua sinyal tersebut
- Menginterpolasikan dalam database rasio kuat sinyal terhadap sudut.

Penentuan sudut azimuth dan elevasi seperti pada algoritma di atas dapat diterapkan untuk pengukuran arah sumber pancaran yang bergerak satu dimensi. Untuk pengukuran arah sumber pancaran dua dimensi digunakan polaradiasi 2 dimensi dan konstruksi antenna seperti pada Gambar 2-1.

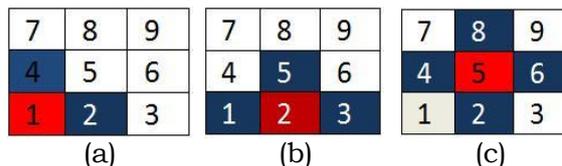
Polaradiasi 2D dari sembilan antenna dengan sudut $a = b = 30^\circ$ dapat disimulasikan seperti pada Gambar 2-3. Data gain setiap sudut azimuth dan elevasi dari antenna cross Yagi-Uda didapatkan dari program MMANA. Data gain dari sebuah antenna diduplikasikan untuk menggambarkan pola total dari sembilan antenna sesuai dengan konstruksi pada Gambar 2-1 dan persamaan (2-4) hingga (2-13).



Gambar 2-3: Polaradiasi dari 9 Antena

Untuk menentukan sudut azimuth dan elevasi dari sumber pancaran radio yang berada pada roket dilakukan dengan melakukan interpolasi data terhadap rasio dari antenna yang tersusun secara vertikal dan horisontal. Seperti pada Gambar 2-4, jika yang dideteksi terkuat adalah kanal pertama maka penentuan sudut azimuth adalah dengan menghitung rasio dari kuat sinyal kanal pertama dan kanal kedua sedangkan untuk menentukan sudut elevasi maka digunakan perbandingan kuat sinyal kanal pertama dan kanal ke

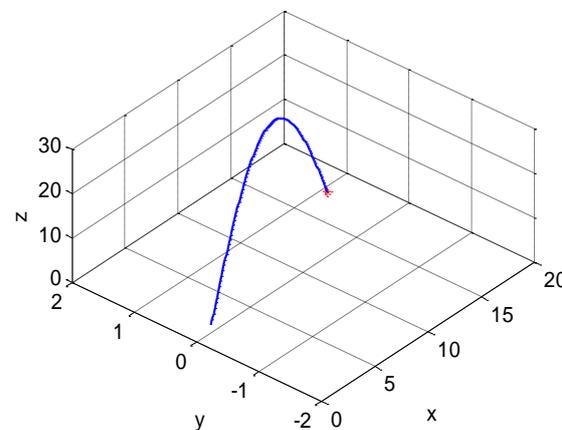
empat. Jika kuat sinyal yang dideteksi adalah kanal kedua maka untuk mengukur sudut azimuth digunakan perbandingan kuat sinyal dari kanal satu atau kanal tiga tergantung mana yang terbesar dari kedua kanal tersebut. Sedangkan untuk menghitung sudut elevasinya digunakan perbandingan kanal dua dan lima. Untuk kasus di mana kanal lima terdeteksi terkuat maka salah satu dari kanal empat dan enam yang terbesar digunakan mencari nilai rasio untuk menentukan sudut azimuth sedangkan untuk sudut elevasi digunakan perbandingan kanal lima dengan salah satu dari kanal delapan atau dua terbesar demikian seterusnya. Hasil simulasi dari metode ini dapat dilihat dari bab selanjutnya.



Gambar 2-4: Penentuan rasio antenna vertikal dan horisontal

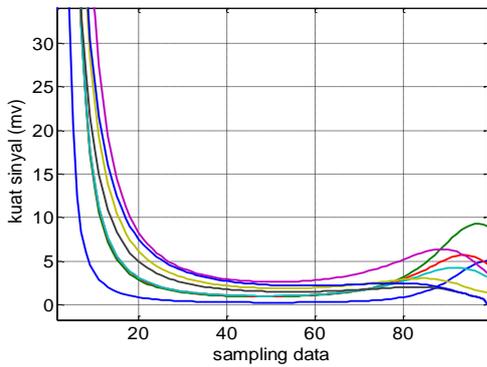
3 HASIL SIMULASI

Gerak roket 3D disimulasikan menggunakan program Matlab. Banyaknya data pemantauan posisi sebanyak 100 data posisi. Gerak roket disimulasikan sebagai gerak parabolik seperti pada Gambar 3-1. Dalam simulasi ini gerak roket, ketinggian, jangkauan dan kemiringan roket dapat diubah.



Gambar 3-1: Simulasi pergerakan roket

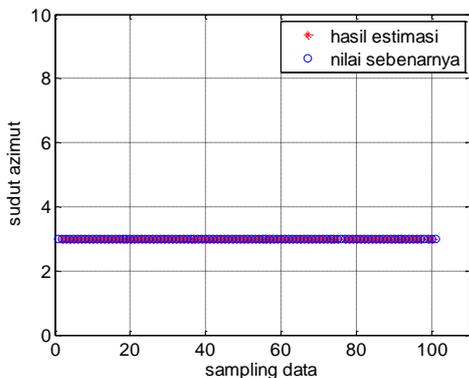
Setiap pergerakan roket sinyal radio yang diterima dari 9 kanal sinyal detektor dihitung menggunakan persamaan (2-1) hingga (2-15). Keseluruhan sinyal yang diterima disusun dalam bentuk matriks 3x3. Kemudian dicari indeks dari nilai terbesar dari isi matriks tersebut. Dari indeks tersebut rasio kuat sinyal vertikal dan horisontal dihitung dengan aturan seperti pada penjelasan pada bab 2. Hasil simulasi dari sinyal kesembilan antenna untuk setiap pergerakan roket dapat dilihat pada Gambar 3-2.



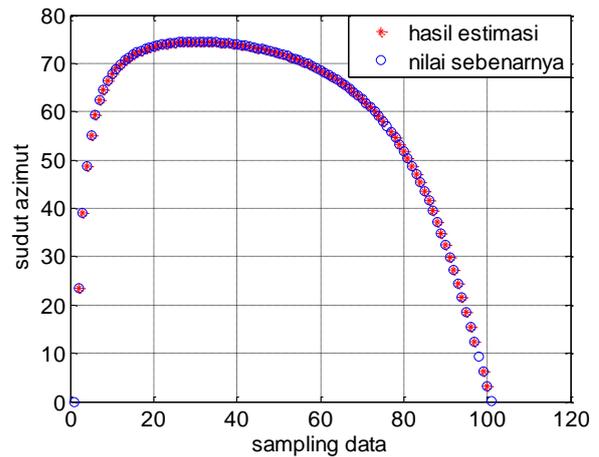
Gambar 3-2: Simulasi 9 kanal penerima

Dalam Gambar 3-2 dapat dilihat perubahan sinyal yang diterima setiap pergerakan roket. Dengan menerapkan metode interpolasi dari rasio kuat sinyal vertikal dan horisontal ke dalam database seperti pada Gambar 2-3 maka sudut azimut dan elevasi dapat diketahui.

Dari simulasi diperlihatkan algoritma estimasi sudut berdasarkan pola radiasi sembilan antenna mendekati nilai sebenarnya. Hasil pengukuran sudut azimut dan elevasi dapat dilihat pada Gambar 3-3 dan Gambar 3-4.

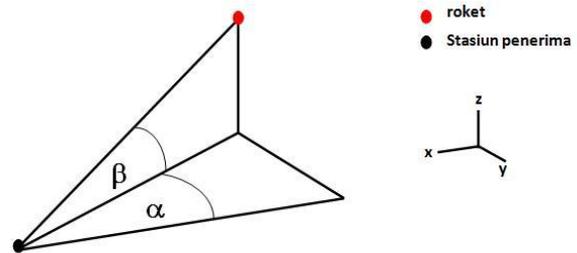


Gambar 3-3: Hasil simulasi pengukuran sudut azimut



Gambar 3-4: Hasil simulasi pengukuran sudut elevasi

Nilai sebenarnya didapatkan dari perhitungan trigonometri seperti yang ditunjukkan pada persamaan (3-1) dan persamaan (3-2).



Gambar 3-5: Ilustrasi perhitungan sudut

$$\alpha = \text{atan} \frac{y}{x} \tag{3-1}$$

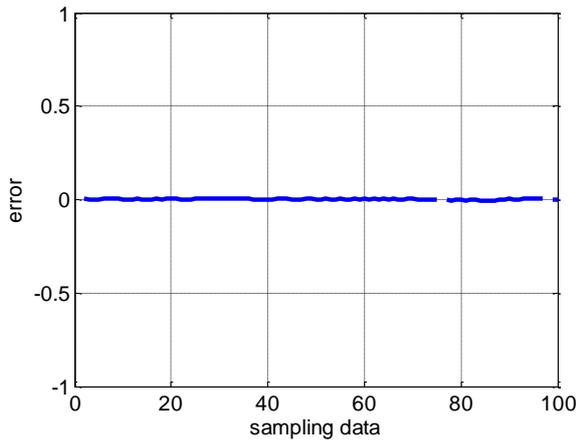
$$\beta = \text{atan} \frac{z}{\sqrt{x^2+y^2}} \tag{3-2}$$

Hasil estimasi didapatkan dari interpolasi 2 dimensi rasio kuat sinyal vertikal (Rv) dan horisontal (Rh) terhadap database pola radiasi. Persamaan interpolasi 2 D yang digunakan dituliskan dalam persamaan (3-3) dan (3-4) di bawah.

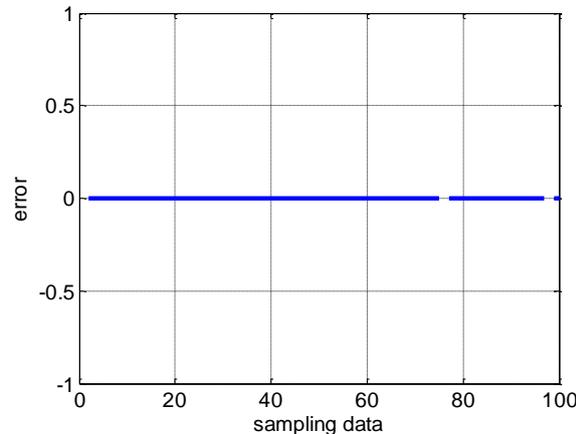
$$a(Rv, Rh) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 c_{ij} t^{i-1} u^{j-1} \tag{3-3}$$

$$\beta(Rv, Rh) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 c_{ij} t^{i-1} u^{j-1} \tag{3-4}$$

Derau pengukuran Gambar 3-6 dan Gambar 3-7 menunjukkan nilai yang sangat kecil yang membuktikan bahwa metode ini dapat diterapkan dalam mendeteksi sumber pacaran radio dan diaplikasikan pada estimasi arah pergerakan roket.



Gambar 3-6: Error pengukuran sudut azimuth



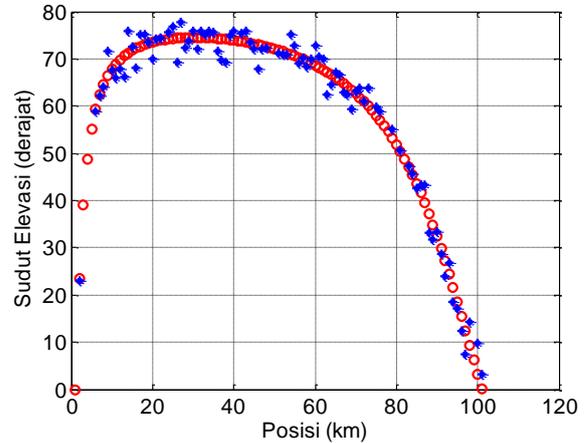
Gambar 3-7: Error pengukuran sudut elevasi

Pengujian algoritma selanjutnya dilakukan dengan memasukkan derau pada kuat sinyal radio berupa derau gaussian. Derau gaussian ini dapat bersumber pada *multiphat* dan *hardware* dari sinyal detektor. Besarnya derau yang dapat ditolerir adalah 25%. Gambar 3-8 menunjukkan grafik dari derau dan nilai sebenarnya untuk sudut elevasi sedangkan untuk sudut azimuth dapat dilihat pada Gambar 3-9.

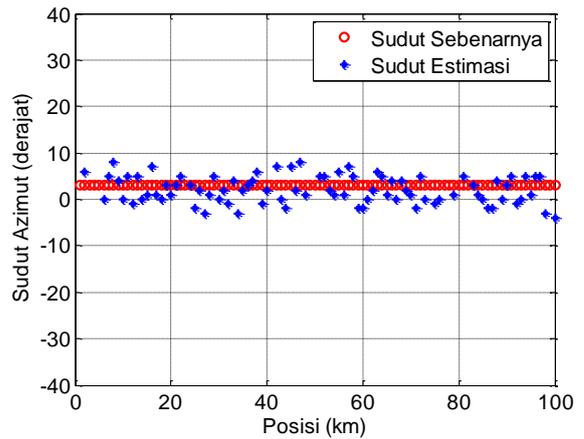
Gambar 3-10 dan Gambar 3-11 menunjukkan besarnya kesalahan pengukuran untuk sudut elevasi dan azimuth. Maksimal kesalahan pengukuran berkisar 7°. Untuk mengurangi efek derau maka pada bagian penerima ditambahkan *low pass filter* atau dengan menggunakan *filter* digital berupa *kalman filter* atau *adaptif filter*.

Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa jangkauan pengukuran dengan

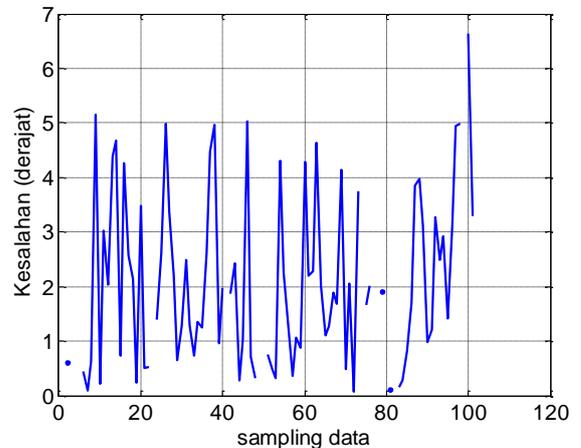
konfigurasi antena 3x3 adalah sebesar 80° untuk sudut azimuth dan elevasi. Jangkauan sudut ini dapat ditingkatkan dengan menambahkan deretan antena arah vertikal dan horisontal. Melihat data pengukuran roket arah gerak roket tidak melebihi 80° maka sistem ini dapat sesuai diterapkan di lapangan.



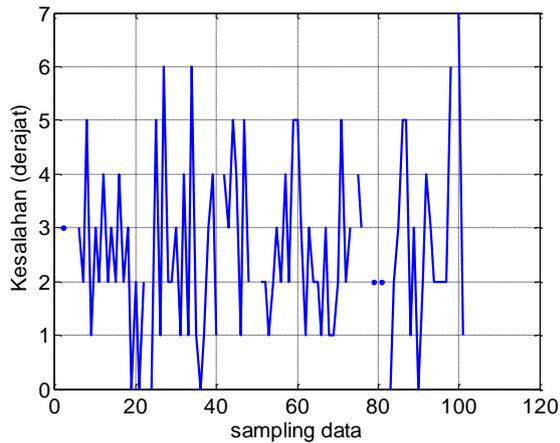
Gambar 3-8: Grafik Estimasi sudut elevasi dan nilai sebenarnya



Gambar 3-9: Grafik Estimasi sudut azimuth dan nilai sebenarnya



Gambar 3-10: Grafik kesalahan ukur sudut elevasi



Gambar 3-11: Grafik kesalahan ukur sudut azimut

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulai diperlihatkan bahwa algoritma yang dikembangkan dalam mendeteksi sudut azimut dan elevasi menggunakan konfigurasi antena Yagi-Uda 3x3 dapat efektif digunakan. Adanya derau pada pengukuran menyebabkan kesalahan pengukuran. Kesalahan pengukuran dapat diperbaiki dengan menerapkan *lowpas filter* pada kuat sinyal radio maupun dengan menggunakan *digital filter*.

DAFTAR RUJUKAN

- Elnahrawy, E., Austen-Francisco, J., & Martin, R.P., 2007. *Adding Angle of Arrival Modality to Basic RSS Location Management Techniques*, *Wireless Pervasive Computing* 2007.
- Elnahrawy, E., Xiaoyan L., & Martin, R. P, 2004. *The Limits of Localization Using Signal Strength: a Comparative study*, *IEEE SECON* 2004, 406-414.
- Nadir, Z., 2008. *Pathloss Determination using Okumura-Hata Model and Spline Interpolation for Missing Data for Oman*, *Proceedings of the World Congress on Engineering* July 2-4, 2008 Vol. I, London, U.K.
- Sun, C., Karmakar, N. C, 2005. *Direction Of Arrival Estimation Based on a Single Port Smart Antenna Using MUSIC Algorithm with Periodic Signals*, *International Journal Of Signal Processing*.
- Zain. S. G., A. Susanto, W. Widada, S. Kliwati 2007. *Estimation Method of Azimuth and Elevation Angles for Rocket Trajectory Using Array Crossed Yagi Antenna*, *Proceedings r-ICT* 2007 Bandung.