

# PENERAPAN *LOW PASS FILTER* UNTUK MEMPERBAIKI HASIL ESTIMASI SUDUT PADA SISTEM RADIO *TRACKING* ROKET

Satria Gunawan Zain<sup>\*)</sup>, Adhi Susanto<sup>\*)</sup>, Thomas Sri Widodo<sup>\*)</sup>,  
Sri Kliwati<sup>\*\*)</sup>, Wahyu Widada<sup>\*\*)</sup>

<sup>\*)</sup> Universitas Gadjah Mada

<sup>\*\*)</sup> Peneliti Bidang Telemetry dan Muatan Roket, LAPAN

e-mail: wawan38@yahoo.com

## ABSTRACT

Radio tracking system can be applied to track the position of a rocket and is potential to be developed to replace the GPS technology. This system is used to estimate the direction angle (azimuth and elevation) of transmitter source. In measurement and trial there are many noises that cause the results of angle estimation are not accurate. These noises can be observed from the value of the angle estimation varied for a fixed measurement point. This is caused by the interference on the received signal. This paper discusses the application of low pass filter to eliminate noises in the radio receiver system. Experiment results show that the variation of estimates angle becomes 1600 times smaller compared to the one without filter.

Keyword: *Low pass filter, Angle estimation, Radio tracking, Rocket*

## ABSTRAK

*Radio tracking* dapat digunakan untuk melakukan *tracking* posisi roket dan mempunyai potensi untuk dikembangkan menggantikan teknologi GPS. *Radio tracking* bekerja dengan melakukan estimasi arah sumber pancaran (sudut elevasi dan azimuth). Dalam pengukuran dan uji coba dijumpai banyak kendala yang menyebabkan hasil estimasi sudut tidak akurat. Kendala ini dapat diamati dari nilai estimasi sudut yang bervariasi untuk suatu titik pengukuran tetap. Hal ini disebabkan oleh adanya gangguan kuat pada sinyal yang diterima. Tulisan ini membahas aplikasi *low pass filter* untuk mengeliminasi *noise* pada sistem penerima radio. Hasil yang diperoleh menunjukkan variasi estimasi sudut menjadi 1600 kali lebih kecil dibanding tanpa menggunakan filter.

Kata kunci : *Low pass filter, Estimasi sudut, Radio tracking, Roket*

## 1 PENDAHULUAN

Evaluasi performa roket yang diujikan membutuhkan suatu sistem *tracking* posisi. Saat ini sistem *tracking* posisi yang digunakan adalah GPS. GPS mempunyai kemampuan untuk mengetahui posisi pergerakan roket setiap detiknya. Kemampuan GPS yang dapat digunakan atau dikomersilkan mempunyai kecepatan akuisisi data hingga 5 data tiap detik (Nelson, 2004).

Roket yang diujikan mempunyai kecepatan minimal 340 m/dt sehingga dengan menggunakan GPS posisi roket dapat diamati setiap 68 m. Di samping itu GPS komersil mempunyai akurasi 10-15 m (Nelson, 2004). Untuk itu diperlukan sistem *tracking* posisi dengan kecepatan akuisisi data yang tinggi.

Saat ini telah dikembangkan sistem estimasi arah pancaran dan jarak antara stasiun penerima dan pemancar

radio berdasarkan kuat sinyal yang diterima pada stasiun penerima. Penerapannya dapat digunakan pada estimasi posisi dari objek bergerak seperti pesawat *aerobatic* (Elnahrawy dkk, 2007). Sistem yang dikembangkan efektif bekerja untuk pergerakan objek dengan kecepatan relatif rendah namun kurang dapat diandalkan untuk kecepatan yang tinggi.

Dalam penelitian ini dikembangkan sistem estimasi posisi untuk kecepatan pergerakan objek yang lebih tinggi. Antena cross Yagi yang digunakan terdiri dari 3 buah yang dipasang pada tower dalam keadaan pasif. Kemampuan akuisisi data posisi tergantung pada kemampuan perangkat keras dan perangkat lunak dalam memproses sinyal yang diterima. Setiap sinyal yang diterima dari 3 kanal penerima mengandung informasi data sudut dari sumber pancaran. Dengan meningkatkan kemampuan sistem akuisisi kuat sinyal dari ketiga kanal dan kecepatan proses data maka akan menghasilkan kecepatan estimasi sudut yang makin meningkat.

Saat ini sistem secara keseluruhan telah dapat menunjukkan arah sumber pancaran (sudut azimuth dan elevasi sumber pancaran) namun dalam beberapa percobaan masih didapatkan beberapa derau pengukuran. Derau pengukuran sudut azimuth dan elevasi ini dapat dieliminasi dengan penambahan tapis analog dan tapis digital. Tapis yang digunakan untuk perangkat keras adalah *low pass filter* dan secara perangkat lunak adalah tapis Kalman.

## 2 PENENTUAN ARAH SUMBER PANCARAN

Penentuan arah sumber pancaran memanfaatkan pola radiasi dari tiga

antena cross Yagi yang tersusun dengan sudut arahan yang berbeda. Perbedaan arahan antara satu antena dengan yang lainnya diatur untuk menghasilkan pola radiasi dari ketiga antena yang ideal. Dengan pola radiasi yang ideal maka dihasilkan perbedaan nilai kuat sinyal yang diterima dari ketiga antena untuk masing-masing sudut terima. Pola kuat sinyal yang diterima oleh seluruh antena mempunyai nilai yang berkorelasi pada arah sumber pancaran.

Pola radiasi antena didapatkan dengan memasang radio pemancar di depan penerima kemudian antena diputar 180°. Kuat signal yang ditangkap oleh ketiga antena setiap sudut putaran antena disimpan beserta pembacaan sudutnya sehingga dapat ditulis dalam bentuk persamaan 2-1.

$$RSSI_j(\theta) = G(\theta) * P(d) \quad (2-1)$$

Dengan  $RSSI$  adalah kuat sinyal yang diterima oleh antena  $j$  pada sudut  $\theta$ , dan  $G(\theta)$  adalah *gain* antena pada sudut  $\theta$  dan  $P(d)$  adalah kuat sinyal yang sampai pada titik penerima dengan jarak  $d$ .

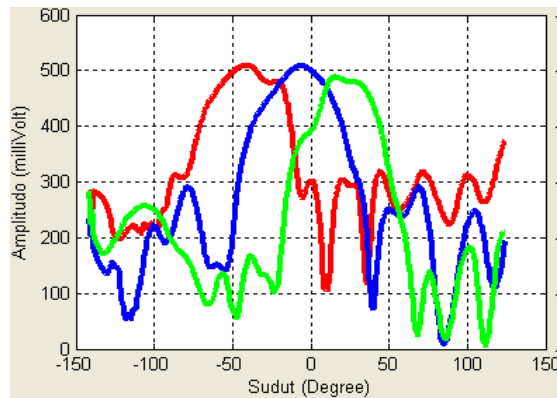
Kuat penerima yang diterima dengan jarak  $d$  dapat dimodelkan dalam persamaan 2-2 (Bahl, dan Padmanabhan, 2000) berikut ini:

$$P(d) = P(d_0) - 10n \log \left( \frac{d}{d_0} \right) - \begin{cases} nW * WAF & nW < C \\ C * WAF & nW \geq C \end{cases} \quad (2-2)$$

Dengan  $n$  adalah peningkatan *path loss* oleh jarak,  $P(d_0)$  adalah kuat sinyal pada jarak referensi  $d_0$  dan  $d$  adalah jarak antara pemancar ke penerima.  $C$  adalah jumlah maksimal pantulan yang dapat mengubah besarnya kuat sinyal yang diterima,  $nW$  adalah jumlah pantulan antara pemancar dan penerima dan  $WAF$  adalah faktor *attenuasi* dari penghalang.

Hasil pengukuran dari pola radiasi tiga antena cross Yagi dapat dilihat pada Gambar 2-1. Polaradiasi sebelah kiri, tengah dan kanan masing-masing menunjukkan pembacaan kuat

kuat sinyal setiap derajat dari antena pertama, kedua dan ketiga.



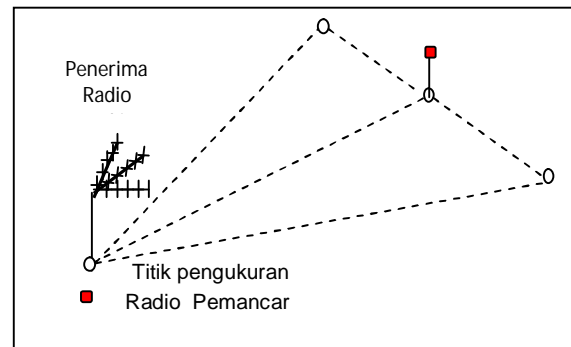
Gambar 2-1: Pola kuat sinyal 3 antena pada arah sumber pancaran tertentu

Dari gambar tersebut terlihat hubungan antara perbedaan kuat sinyal yang diterima dari ketiga antena (sumbu y) dengan arah dari sumber pancaran (sumbu x). Pada arah sudut  $-40^\circ$ , antena sebelah kiri menghasilkan pembacaan sinyal terkuat dan pada sudut  $-5^\circ$  pembacaan kuat sinyal maksimal berada pada antena kedua dan antena ketiga menghasilkan pembacaan kuat sinyal terbesar pada sudut  $10^\circ$ .

Metode yang digunakan dalam menentukan arah sumber pancaran berdasarkan rasio dari dua kuat sinyal terbesar. Dari gambar 2-1 dapat dilihat bahwa untuk sudut  $-50^\circ$  maka kuat sinyal terbesar pertama ada pada antena sebelah kiri dan tengah. Asalkan arah sumber pancaran tetap, rasio dari kedua sinyal ini akan tetap sama meskipun jarak dari pemancar ke penerima berubah. Algoritma yang digunakan dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Menyimpan seluruh kuat sinyal yang diterima
2. Mengurutkan kuat sinyal terbesar ke terkecil
3. Mencari rasio dua kuat sinyal terbesar
4. Interpolasi data rasio kedalam database rasio kuat sinyal terhadap sudut terima

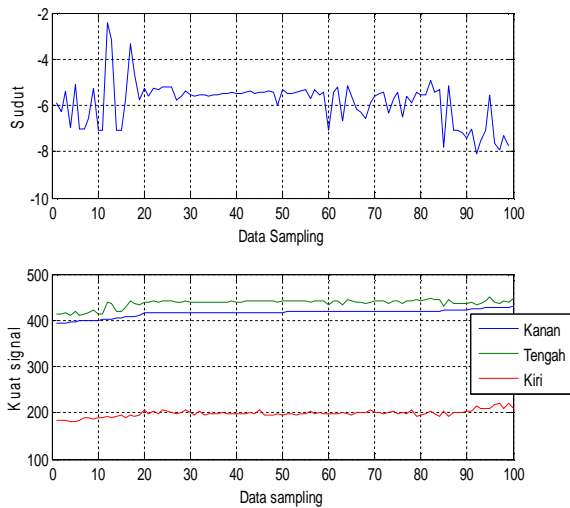
Pengukuran dan pengujian dilakukan dengan meletakkan pemancar radio pada titik tertentu. Kondisi percobaan adalah seperti pada Gambar 3-1.



Gambar 3-1: Kondisi percobaan

Titik yang berwarna merah menunjukkan radio pemancar HT (*handy talky*) dan yang berhadapan dengan penerima radio yang terdiri dari antena Yagi-Uda sebanyak tiga buah yang dihubungkan dengan perangkat detektor radio dan *personal computer*. Data yang masuk kuat sinyal yang diterima oleh sinyal detektor dikirim ke personal komputer. Personal computer yang dilengkapi dengan program matlab akan menjalankan algoritma seperti yang dijelaskan sebelumnya untuk mengolah ketiga data sinyal yang diterima menjadi data sudut arah sumber pancaran.

Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan didapatkan hasil pengukuran sudut dengan variasi nilai dan penyimpangan dari nilai sebenarnya yang cukup besar. Besarnya penyimpangan dari nilai sebenarnya diketahui dengan melakukan pengukuran secara manual terhadap titik pengukuran sebenarnya dan membandingkan dengan hasil pengukuran. Dari hasil pengukuran diketahui bahwa sudut yang diestimasi mempunyai nilai bervariasi yang dapat dilihat pada Gambar 3-2.

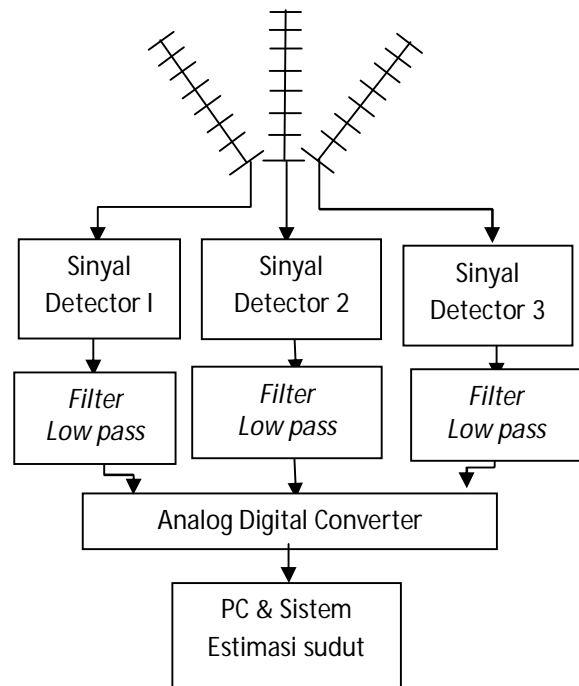


Gambar 3-2: Estimasi sudut arah sumber pancaran

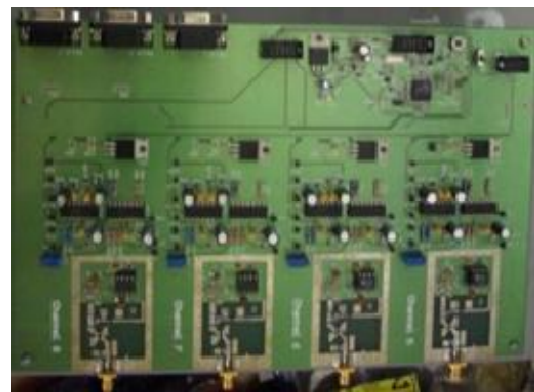
Gambar 3-2 di atas menunjukkan estimasi arah sumber pancaran dan kuat sinyal yang diterima dari ketiga antenna. Arah sumber pancaran sebenarnya berada pada sudut  $-5^\circ$  namun sudut yang terukur mempunyai variasi nilai dari  $-2.5^\circ$  hingga  $-8.2^\circ$ .

Jika kuat sinyal yang diterima dari ketiga antenna diamati secara detil maka dapat diketahui penyebab dari perbedaan nilai estimasi sudut. Pada Gambar 3-2 terlihat perubahan nilai estimasi disebabkan oleh adanya *noise* pada kuat sinyal yang diterima oleh ketiga antenna. Pada sampling data ke 14 terlihat bahwa sudut yang diestimasi tiba-tiba naik hingga  $-2.5$  dimana hal ini terjadi pada saat adanya *noise* yang terpengaruh pada kuat sinyal yang diterima. Sehingga bagian perangkat keras akuisisi sinyal perlu ditambahkan *low pass filter* untuk menghilangkan gangguan tersebut.

Setiap kanal dari penerima kuat sinyal masing-masing dihubungkan dengan *low pass filter*. Masing-masing *low pass filter* bekerja pada frekuensi *cut-off* yang sama. Blok diagram dari sistem *radio tracking* dapat dilihat pada Gambar 3-3b.



(a) Diagram blok rangkaian



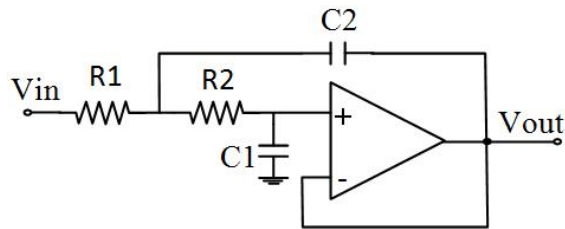
(b) Prototype perangkat keras Sistem radio tracking

Gambar 3-3: Perangkat keras sistem radio tracking

Perangkat keras dari sistem *radio tracking* terdiri dari rangkaian deteksi sinyal radio, rangkaian *offset* tegangan, pengali tegangan, *low pass filter*, rangkaian ADC dan PC seperti pada Gambar 3-3b.

*Low pass filter* dengan tipe *chebechev-sallen key* orde dua digunakan dalam penelitian ini. Konfigurasi dengan tipe ini adalah sederhana hanya menggunakan sebuah penguat OP-AMP sehingga dapat meminimalkan ukuran dari perangkat keras. Gambar 3-4

menunjukkan konfigurasi dari filter *chebeshev-sallen key* orde 2 yang digunakan.



Gambar 3-4: *Low pass filter Chebeshev*

Dalam percobaan digunakan frekuensi *cut-off* yang bervariasi untuk melihat pengaruhnya terhadap hasil estimasi sudut. Frekuensi *cut-off* dihitung menggunakan persamaan 3-1

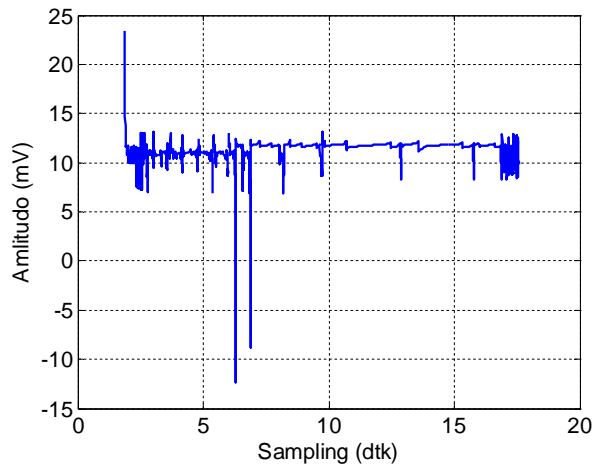
$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_2C_1C_2}} \quad (3-1)$$

Berdasarkan persamaan (3-1) penentuan frekuensi *cut-off* berdasarkan dari nilai komponen R1,R2,R3,C1,C2. Untuk menghasilkan frekuensi *cut-off* 100 Hz, 10 Hz dan 1 Hz didapatkan nilai seperti pada tabel di bawah 3-1.

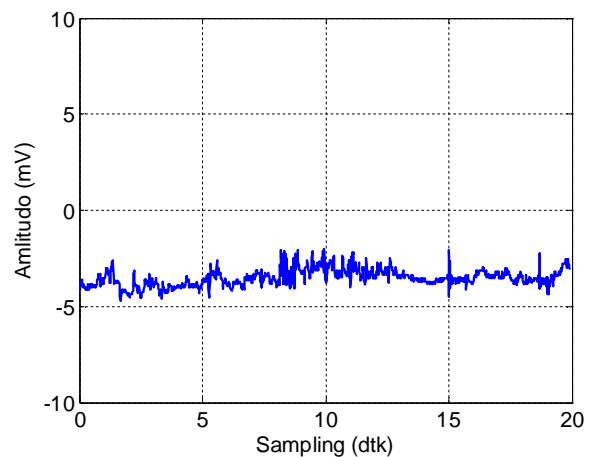
Tabel 3-1: DAFTAR KOMPONEN *LOW PASS FILTER*

Komponen	100 Hz	10 Hz	1 Hz
R1	2,37 K	2,37 K	2,37K
R2	21 K	21 K	21 K
C1	68nF	680 nF	6,8 uF
C2	680nF	6,8 uF	68 uF

*Low pass filter* pada perangkat keras yang digunakan untuk mengukur sudut seperti pada Gambar 3 - 4 di atas mempunyai frekuensi *cut-off* sebesar 100 Hz. Frekuensi *cut-off* yang lebih rendah akan menghasilkan kuat sinyal yang melewatinya akan lebih halus. Hal ini dibuktikan dengan penerapan *low pass filter* 10 Hz dan 1 Hz. Dengan menggunakan *low pass filter* yang lebih kecil maka nilai estimasi sudut mempunyai variasi yang cukup kecil. Gambar 3-6 menunjukkan hasil estimasi menggunakan *low pass filter* 1 Hz.



Gambar 3-5: Hasil estimasi sudut untuk *filter* 10 Hz



Gambar 3-6: Hasil estimasi sudut untuk *filter* 1 Hz

Dari Gambar 3-5 dan Gambar 3-6 dapat dilihat bahwa penerapan *low pass filter* yang makin kecil menyebabkan variasi hasil estimasi yang kecil dan mendekati nilai sebenarnya. Tabel 3-2 dapat dilihat lebih detail pengaruh penerapan *low pass filter*.

Tabel 3-2: HASIL PENERAPAN *LOW PASS FILTER*

	Tapis 100 Hz	Tapis 10 Hz	Tapis 1 Hz
Mean	1,51	-2,68	6,74
Varian	32,70	0,27	0.02
Max	28,55	-1,72	7,02
Min	-10,53	-4,38	6,28

Penerapan *low pass filter* 1 Hz akan berpengaruh pada penempatan posisi dari stasiun penerima. Semakin dekat stasiun penerima ke *launching pad* maka semakin besar pula kecepatan perubahan sudut yang terukur sedangkan kemampuan dari *low pass filter* 1 Hz terbatas untuk kecepatan  $2\pi/dt$ . Untuk pengukuran menggunakan objek bergerak seperti roket dibutuhkan jarak yang optimal dari posisi *launching pad* agar perubahan sudut yang terukur dapat sesuai dengan kecepatan *low pass filter* dalam menyaring sinyal yang masuk.

#### 4 KESIMPULAN

Dari hasil percobaan yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa penerapan frekuensi *cut-off* 1 Hz memberikan hasil yang baik pada estimasi sudut pada sistem *radio tracking*. Hasil estimasi ini dapat diperbaiki lagi dengan menerapkan *filter* digital seperti *Kalman filter* untuk menghasilkan nilai estimasi yang mendekati hasil yang sebenarnya. Variasi sudut estimasi menjadi mengecil secara signifikan. Untuk estimasi arah pergerakan roket yang mempunyai kecepatan tinggi diperlukan posisi stasiun penerima yang optimal sehingga perangkat penerima yang menggunakan *low pass filter* 1 Hz dapat bekerja efektif.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Bahl, P. & Padmanabhan, V. N., *RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system*, INFOKOM 2000, vol. 2, 775-784.
- 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.
- Zain, S.G., et al., 2007. *Analisis Rancangan Antena Yagi Yang Optimal Untuk Sistem Radio Tracking Roket*, *Proceedings SIPTEKGAN XI-2007*.
- 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*.
- Nelson, M. E., Mech, L. D., Frame, P. F., 2004. *Tracking of White-Tailed Deer Migration by Global Positioning System*, *Jurnal of Mamalogy*, 85, 505-510.