

## METODA ELIMINASI DRIFT-NOISE PADA SENSOR GYROSCOPE DENGAN HIGHPASS FILTER UNTUK MENINGKATKAN AKURASI UNIT PENGUKURAN INERSIA PELUNCURAN ROKET

Wahyu Widada, Sri Kliwati

Pusat Teknologi Wahana Dirgantara, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional LAPAN  
Rumpin Bogor Indonesia  
e-mail: wwidada@lapan.go.id

### ABSTRAKSI

Sensor rate-gyroscope untuk mengukur kecepatan sudut mempunyai gangguan signal noise karena perubahan temperatur yang disebut drift noise. Nilai offset sensor ini akan mengalami fluktuasi mengikuti perubahan temperatur pada sensor. Proses perhitungan perubahan sudut menjadi keliru dan akan bertambah besar dengan pertambahan waktu pengukuran. Tulisan ini membahas metoda sederhana untuk menghilangkan pengaruh noise tersebut dengan modifikasi rangkaian analog dan proses digital pada mikroprosesor. Output sensor diberi highpass filter dengan cutoff frekuensi 0.01 Hz, dan signal perubahan sudut dihitung dengan proses differensial dan dua kali proses integral. Diperoleh hasil nilai perubahan yang lebih akurat dan sangat stabil pada durasi pengukuran yang lama dibanding dengan metoda sebelumnya.

**Kata kunci:** drift noise, rate-gyroscope, eliminasi noise, IMU, roket

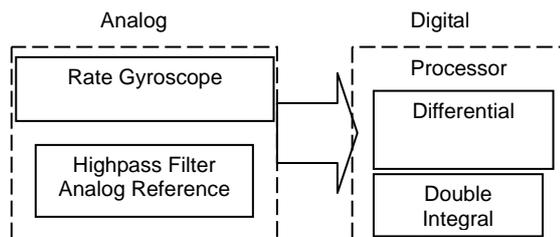
### 1. PENDAHULUAN

LAPAN sedang mengembangkan roket baik jenis balistik maupun kendali. Terutama untuk roket jenis kendali, memerlukan sensor pengukur dinamik roket yang akurat, seperti sensor accelerometer dan rate-gyroscope. Gabungan kedua sensor ini digunakan untuk mengukur inersia roket yang disebut IMU (Inertial Measurements Unit). Salah satu masalah pada sensor gyroscope adalah noise yang disebabkan perubahan temperatur yang disebut drift noise. Noise ini akan menyebabkan kesalahan pengukuran yang sangat signifikan, terutama untuk pengukuran dalam waktu yang lama. Makin tinggi akurasi sensor pada IMU, maka harganya juga akan semakin mahal. Beberapa metode telah dikembangkan untuk memperkecil noise ini. Misalnya dengan prediksi parameter noise dan perubahan temperatur. Akan tetapi metode ini lebih rumit dan membutuhkan algoritma yang kompleks.

Dalam tulisan ini dibahas metode sederhana untuk mengeliminasi noise ini dengan menggunakan highpass filter pada rangkaian analog dan digital processing pada mikroprosesor. Signal gyroscope yang berupa signal AC dihitung nilai percepatan sudut (differensial) dan kembali menghitung perubahan sudut dengan proses double integral. Cara ini digunakan untuk dapat menghitung perubahan sudut pada saat kecepatan sudut konstan.

### 2. METODE ELIMINASI

Output signal gyroscope diproses secara analog dan digital seperti pada gambar di bawah. Output sensor mula-mula dilewatkan pada rangkaian highpass filter ( $f_c = 0.1$  Hz) untuk menghilangkan signal pada saat diam dan pada saat kecepatan sudut konstan. Sehingga hanya pada saat ada perubahan sudut saja signal akan tampak.



Gambar 1. Skema hardware sensor rate-gyroscope.

Signal gyroscope tersebut dapat ditulis dengan persamaan 1.

$$\dot{\theta}_T(t) = \dot{\theta}_G(t) + n(t) + r(t)$$

dimana  $\theta_T(t)$  adalah total signal dari sensor,  $\theta_G(t)$  adalah signal perubahan kecepatan noise,  $n(t)$  adalah perubahan temperatur (drift noise), dan  $r(t)$  adalah random noise. Untuk menghilangkan signal  $n(t)$  dapat digunakan highpass filter atau dilewatkan pada capacitor sehingga signal yang diukur tinggal signal perubahan kecepatan sudut sensor. Random noise  $r(t)$  dapat dihilangkan dengan menambah rangkaian analog lowpass filter, sehingga signal yang muncul menjadi sebagai berikut.

$$\dot{\theta}_G(t) = \dot{\theta}_T(t) - n(t) - r(t)$$

Pada saat signal gyroscope konstan (diam atau kecepatan sudut konstan), maka nilai differensial menjadi sama yaitu bernilai nol. Percepatan rotasi tersebut dapat ditulis sebagai berikut.

$$\ddot{\theta}_G(t) = d(\dot{\theta}_G(t)) / dt$$

Sehingga jika dilakukan proses integral ke percepatan rotasi signal yang melewati filter menjadi tidak berubah. Nilai percepatan sudut ini muncul pada saat ada perubahan kecepatan sudut. Dari nilai

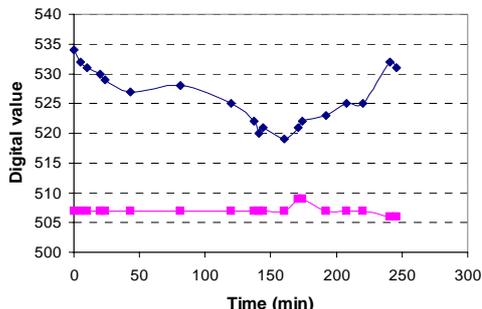
percepatan sudut ini dapat dihitung perubahan sudut  $\theta(t)$  dengan dua kali integral sebagai berikut.

$$\theta_G(t) = \iint \ddot{\theta}_G(t) dt$$

Pada persamaan (4) ini, perubahan sudut dapat dihitung dengan benar dari signal sensor yang telah melewati rangkaian highpass filter. Dari persamaan (1) sampai (4) di atas, signal noise karena perubahan temperatur dapat dihilangkan dengan rangkaian analog highpass filter dan proses perhitungan differensial dan integral pada processor.

### 3. PERCOBAAN DAN DISKUSI

Pengaruh drift noise pada sensor ini telah dilakukan percobaan dengan memonitor signal output dan signal referensi tegangan dalam waktu yang lama. Dengan menggunakan sebuah rate gyroscope maksimum 300 degree/sec (MURATA Type ENC - 03JA, sensor ini mempunyai nilai output 0.67 mV/deg/sec), output signal gyroscope saat diam dan signal referensi dimonitor selama lebih dari 200 menit. Gambar di bawah menunjukkan signal gyroscope mengalami fluktuasi dari 535 sampai 530 atau sekitar 0.116 deg/sec (10 bit ADC). Sementara, signal referensi terlihat lebih stabil. Untuk pengukuran dinamik yang lama, maka noise ini akan mengganggu keakuratan pengukuran.

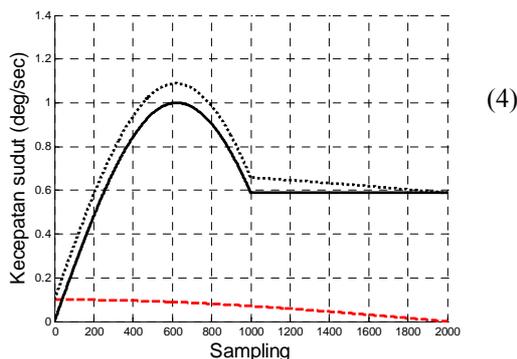


**Gambar 2.** Hasil percobaan signal gyroscope dalam posisi diam selama 250 menit.

Sebagai contoh, jika nilai offset gyro ada kesalahan sebesar 0.1 deg/sec, maka dalam jangka waktu 60 menit proses perhitungan integral akan terjadi kesalahan sebesar  $0.1 \times 60 \times 60$  degree (360 degree). Jika kita gunakan rangkaian amplifier untuk menambah presisi pengukuran, maka pengaruh dari noise ini juga akan bertambah sesuai dengan range pengukuran.

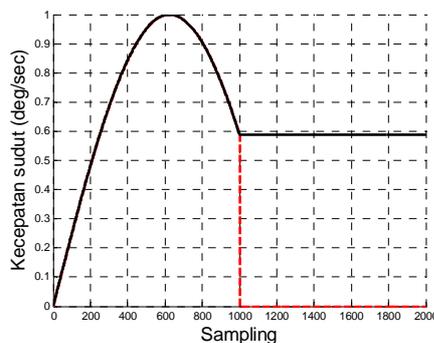
### 4. SIMULASI ELIMINASI DRIFT NOISE

Simulasi dilakukan sesuai dengan persamaan (1) sampai persamaan (3). Gambar di bawah adalah signal gyroscope (solid line), signal drift noise (dashed line), dan signal campuran (dotted line). Gyroscope dari keadaan diam mengalami kecepatan sudut searah jarum jam, mengalami kenaikan, menurun, dan konstan pada kecepatan tertentu.



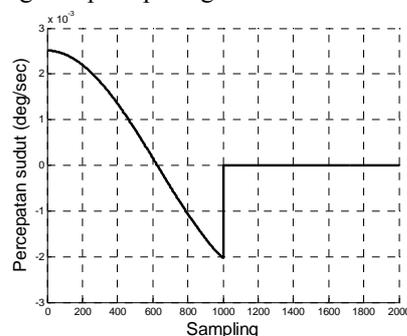
**Gambar 3.** Signal asli (kurva garis lurus), signal + drift noise (kurva titik-titik), drift noise (kurva putus-putus).

Dari persamaan (2) signal yang lewat seperti pada gambar di bawah (dashed line). Pada saat kecepatan konstan maka signal menjadi nol. Sehingga jika langsung dilakukan integral untuk menghitung perubahan sudut akan terjadi kesalahan.

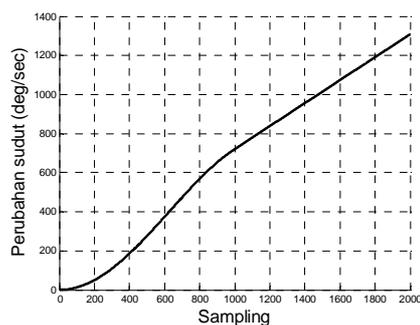


**Gambar 4.** Signal asli (kurva garis lurus) gyroscope, signal setelah melewati highpass filter (kurva putus-putus).

Kemudian menghitung nilai differensial pada signal kecepatan gyroscope tersebut untuk memperoleh percepatan sudut seperti pada gambar di bawah. Signal ini kemudian dapat dihitung kecepatan sudut dan perubahan sudut. Hasil perhitungan seperti pada gambar 5.



**Gambar 5.** Signal percepatan sudut dari differensial signal dari highpass filter.



**Gambar 6.** Perubahan sudut rotasi dari perhitungan double integral percepatan sudut.

Pada gambar di atas, hasil perhitungan perubahan sudut tetap dapat mengikuti perubahan pada saat kecepatan sudut konstan walaupun signal menjadi nol setelah melewati highpass filter.

## 5. KESIMPULAN

Telah dikembangkan metoda sederhana untuk mengeliminasi pengaruh drift noise pada sensor rate gyroscope karena pengaruh perubahan temperatur. Metoda ini menggunakan highpass filter pada keluaran sensor, dan algoritma perhitungan perubahan sudut dengan sekali proses differensial dan dua kali proses integral. Metoda ini terbukti handal dan dapat menghilangkan pengaruh drift yang mempunyai frekuensi sangat rendah. Teknik yang telah dikembangkan akan sangat bermanfaat sekali pada pengembangan IMU untuk muatan roket selanjutnya.

## PUSTAKA

- Wahyu Widada dkk, "Metoda Multi Gain Untuk Meningkatkan Akurasi Sensor Inersia Roket", *Prosiding Siptekgan 2006*.
- Wahyu Widada dkk, "Rancangbangun Sistem Sensor Rotasi 3-Axis Berbasis Rate-Gyroscope dan Mikroprosesor", *JANAS 2005*.
- Wahyu Widada dkk, "Rancangbangun Sistem Kalibrasi Rotasi Rate Gyroscope untuk Sistem Pengukuran Inersia Roket", *JANAS 2005*.