

PEMANFAATAN SENSOR PERCEPATAN DAN GYROSCOPE UNTUK MENENTUKAN TRAJECTORY ROKET MENGGUNAKAN INERTIAL NAVIGATION SYSTEM(INS)

BOBI KURNIAWAN,ST.,M.Kom
Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Komputer Indonesia

Dalam pembentukan sebuah trajektori roket digunakan metode Inertial Navigation System (INS), untuk mengoreksi percepatan linier yang terukur terhadap kemiringan sudut. Untuk mengatasi timbulnya random noise maka digunakan filter digital mechanical filtering window dan moving average yang terbukti dapat mengatasi noise mekanik. Untuk mengkonversikan percepatan menjadi sebuah posisi dan kecepatan sudut menjadi sudut digunakan integral trapezoidal. Dengan menggunakan metode-metode di atas sistem yang dibuat mampu membentuk trajectory dengan akurasi jarak terbentuk 85cm dari jarak asli sejauh 90cm.

Kata kunci: *Inertial Navigation System (INS), mechanical filtering window, moving average, integral trapezoidal, trajektori.*

PENDAHULUAN

Fungsi dari sebuah roket sudah semakin banyak sesuai pengembangan-pengembangan yang telah banyak dilakukan. Fungsi tersebut tentu memiliki peran yang penting, oleh karena itu perlu adanya monitoring terhadap pergerakan payload. Salah satunya dengan membentuk trajectory dari lintasan yang telah ditempuh secara *real time*. Untuk dapat membentuk suatu trajektori roket sesuai dengan lintasan yang ditempuh perlu adanya konversi koordinat roket terhadap koordinat peluncuran. Untuk itu digunakan *Inertial Navigation System (INS)*. INS ini memanfaatkan pengukuran percepatan linier dan orientasi sudut untuk menghasilkan data percepatan yang lebih akurat. Untuk melakukan pengukuran tersebut digunakan sensor percepatan dan *gyroscope*. Untuk menambah akurasi dilakukan dengan meminimalisasi error yang terjadi akibat *noise* mekanik dengan system filter digital.

DASAR TEORI

Mechanical Filtering Window

Mechanical filtering window merupakan suatu *filter* yang digunakan untuk menghilangkan *error* yang timbul pada saat sensor dalam keadaan diam. Dengan menggunakan *filter* ini maka data akan terjaga dari *error* kecil yang timbul pada saat sensor dalam keadaan diam. Berikut persamaan yang digunakan pada *mechanical filtering window* berdasarkan referensi dari "*Implementing Positioning Algorithms Using Accelerometers by Kurt Seifert and Camacho*" yang terdapat pada aplikasi contoh program.

$$\text{Out} = \begin{cases} a & \text{if } a \geq \text{BA or } a \leq \text{BB} \\ 0 & \text{if } a \geq \text{BB or } a \leq \text{BA} \end{cases} \quad \dots(1)$$

Keterangan:

BB = Batas *error* bawah percepatan

BA = Batas *error* atas percepatan

α = Data percepatan
 Out = Keluaran dari hasil *mechanical filtering window*

Moving Average

Moving average merupakan sebuah filter yang digunakan untuk memperhalus data yang diterima dengan cara meratakan sejumlah *sample*. Nilai yang akan diproses nantinya merupakan nilai hasil dari rata-rata dari sejumlah *sample*. *Filtering* ini harus terus dilakukan untuk menghindari *noise* yang timbul karena mekanik.

Hal ini dikarenakan data tidak akan bebas dari *noise* oleh karena itu butuh untuk dilewatkan kedalam suatu filter *digital*. Bahkan dengan penyaringan sebelumnya, data dapat *error* akibat *noise* mekanik. Sehingga perlu di implementasikan beberapa filter. Tergantung pada jumlah *sample* yang difilter, untuk akselerasi sebenarnya bias menggunakan 2 langkah untuk meratakan. Karena untuk melakukan kalibrasi dalam keadaan diam dibutuhkan data seakurat mungkin. Berikut fungsi dari *moving average* yang digunakan berdasarkan referensi dari “*Implementing Positioning Algorithms Using Accelerometers by Kurt Seifert and Camacho*” yang terdapat pada aplikasi contoh program.

$$\text{Out} = \left(\frac{\text{Data}_n + \text{Data}_{n-1} + \dots}{m} \right) \dots\dots\dots 2$$

Keterangan:
 n = Nomor sample
 m = Range data untuk setiap proses *moving average*
 Out = Keluaran dari hasil *moving average*

Integral Trapezoidal

Metode ini merupakan metode yang digunakan dalam proses integrasi data percepatan hingga menjadi posisi. Dengan menggunakan metode *trapezoidal* dapat mengurangi *error* yang dihasilkan, apabila menggunakan metode integrasi biasa

dengan melalui sebuah fungsi f(x). Berikut rumus dasar dari metode integral trapezoidal:

$$\text{Area}_n = \text{Sample}_n + \frac{|\text{Sample}_n - \text{Sample}_{n-1}|}{2} \times T$$

.....(3)

Dengan demikian maka *error* yang didapatkan akan menjadi lebih rendah.

Inertial Navigation System

Inertial Navigation System (INS) merupakan teknik navigasi mandiri dengan menyediakan pengukuran menggunakan *accelerometer* dan *gyroscope* untuk melacak posisi dan orientasi dari sebuah objek relative, untuk mengetahui orientasi dan kecepatan. *Inertial Measurement Units* (IMUs) biasanya berisi tiga tingkatan ortogonal (tegak lurus dengan bidang lainnya) *gyroscope* dan tiga tingkatan ortogonal (tegak lurus dengan bidang lainnya) *accelerometer*, untuk mengukur kecepatan sudut dan percepatan linear masing-masing. Metode ini sering digunakan pada kendaraan seperti kapal, pesawat, kapal selam, rudal dan pesawat ruang angkasa. Berikut persamaan yang digunakan dalam perhitungan INS untuk tiga axis berdasarkan referensi dari “*Design and Characterization of a Strap down Inertial Navigation System based on Low-Cost Solid-State Sensors by Peter Leuthi and Thomas Moser*”, seperti terlihat pada persamaan 4.

$$\begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\gamma) \cdot \cos(\alpha) & -\sin(\gamma) \cdot \cos(\beta) & -\cos(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma) \\ -\sin(\gamma) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\alpha) & & + \sin(\alpha) \cdot \cos(\gamma) \\ \sin(\beta) \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\gamma) & \cos(\gamma) \cdot \cos(\beta) & \cos(\gamma) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\alpha) \\ -\cos(\alpha) \cdot \sin(\gamma) & & + \sin(\gamma) \cdot \sin(\alpha) \\ \cos(\beta) \cdot \sin(\alpha) & -\sin(\beta) & \cos(\beta) \cdot \cos(\alpha) \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} a_x^m \\ a_y^m \\ a_z^m \end{pmatrix} \dots\dots\dots(4)$$

HASIL PERCOBAAN

Pengujian Sensor Percepatan(MMA7260)

Pengujian pengukuran percepatan linear dengan cara dibawa lari. Data percepatan akan langsung dikonversikan dalam satuan (G).

Hasil dari pengukuran percepatan dapat terlihat dengan jelas percepatan yang terjadi pada sumbu Z. Hal tersebut dikarenakan adanya guncangan yang terjadi ke atas dan ke bawah pada saat berlari. Berikut tampilan grafik percepatan pada sumbu Z.



Gambar 1.
Grafik Percepatan Sumbu Z

Pengujian Sensor Gyroscope (SD740)

Dalam pengujian ini dilakukan pengukuran keakuratan pengukuran sudut dengan memanfaatkan data kecepatan sudut. Pengujian ini dilakukan dengan memutar gyroscope ke arah positif gerakan “yaw” pada sudut 45° dan 90° dengan frekuensi sampling sebesar 0,180 Hz. (Tabel 1)

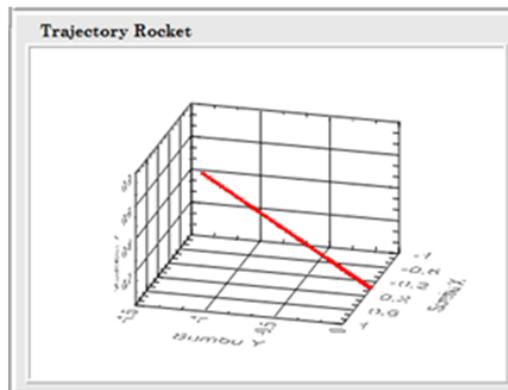
Pada data pengujian di atas (Tabel 1) tingkat error yang dimiliki pada pengukuran sudut menggunakan gyroscope pada sudut 45° rata-rata sebesar 3,4° sedangkan pada sudut 90° rata-rata error yang dialami adalah sebesar 3°.

Tabel 1 Pengujian Data Gyroscope

Sudut Busur	Gyro Z	Sudut Busur	Z (G)
45°	44	90°	86
	40		88
	40		97
	40		94
	44		87
	40		89
	43		88
	43		93
	40		91
	42		93

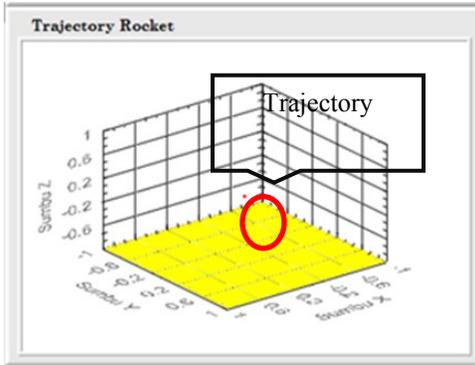
Pengujian Mechanical Filtering Window

Data percepatan yang terukur oleh sensor percepatan dalam keadaan statis ketika tidak menggunakan filter apapun. Nilai percepatan yang didapat berubah-ubah (tidak tetap). Akibatnya, ketika dimasukkan ke fungsi integral nilai error akan terakumulasi sehingga menyebabkan trajektori yang salah. Berikut trajektori yang terbentuk tanpa menggunakan *mechanical filtering window*:



Gambar 2. Hasil Trajektori Payload Statis Ketika Tidak Menggunakan Mechanical Filtering Window

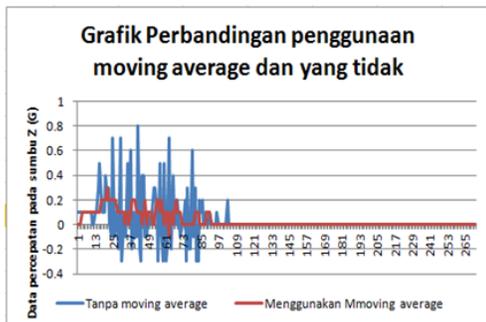
Nilai percepatan payload pada saat diam ketika menggunakan *mechanical filtering window* pada tabel di atas tidak berubah (tetap pada nilai 100) atau dengan kata lain diam. Sehingga akumulasi perhitungannya tidak menghasilkan trajektori yang *error*. Hasilnya tampak pada gambar berikut.



Gambar 3. Hasil Trajektori Payload Statis Ketika Menggunakan Mechanical Filtering Window

Pengujian Filter Moving Average

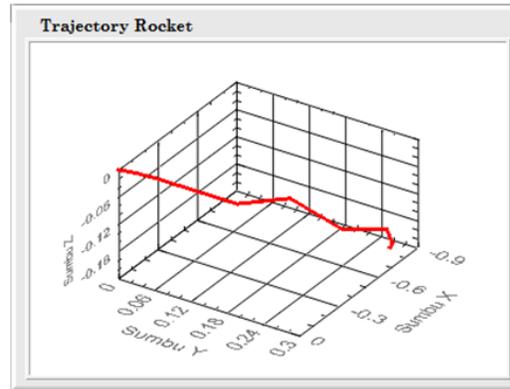
Pengaruh tidak menggunakan *moving average* terlihat perubahan datanya lebih curam dibandingkan dengan data yang di masukkan kedalam fungsi *moving average* yang terlihat lebih lembut. Berikut grafik perbandingan data dengan menggunakan *moving average* dan dengan yang tidak menggunakan *moving average* seperti terlihat dibawah ini.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Penggunaan Moving Average & yang Tidak

Pengujian Trajektori

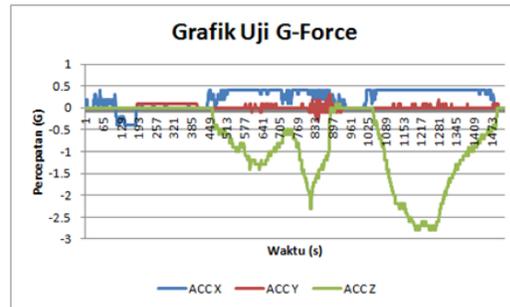
Pada uji ini payload digerakkan kearah negatif axis X dan cenderung miring terhadap sumbu Y sejauh ± 90 cm. Data-data yang diterima langsung diproses oleh aplikasi untuk mendapatkan trajektori. Trajektori yang terbentuk pada aplikasi adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Contoh Hasil Trajektori pada Aplikasi Ground Station

Uji G-Force

Pada pengujian ini payload akan di putar dengan kecepatan tertentu, payload harus tetap mampu melakukan pengiriman data pengukuran ke *software ground station*. Berikut grafik data dari hasil uji G-force:



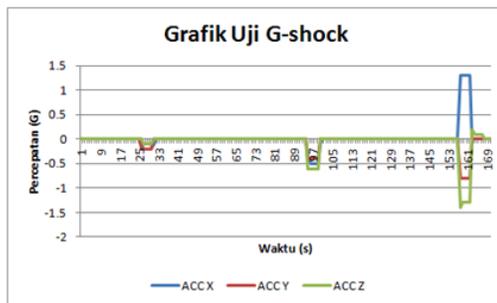
Gambar 6. Grafik Percepatan Uji G-Force

Berdasarkan data grafik di atas dapat di lihat percepatan tertinggi didapat oleh

ACC Z, dimana dapat terlihat putaran diberikan secara perlahan kemudian secara bertahap kecepatan ditambahkan kemudian diturunkan kembali. Setelah itu putaran kembali dipercepat kemudian diturunkan kembali kecepatan putarannya. Pada ACC Z terlihat mendapat percepatan negatif. Hal ini dikarenakan posisi positif sumbu Z membelakangi poros putaran. Sehingga ketika putaran dilakukan, sumbu Z akan mendapatkan gaya sentripetal yang mengakibatkan sumbu Z mendapat percepatan negatif.

Uji G-Shock

Pada saat pengujian dilakukan payload akan diberi hentakan sebanyak 3 kali dari arah sumbu Z. Berikut grafik dari hasil uji G-shock:



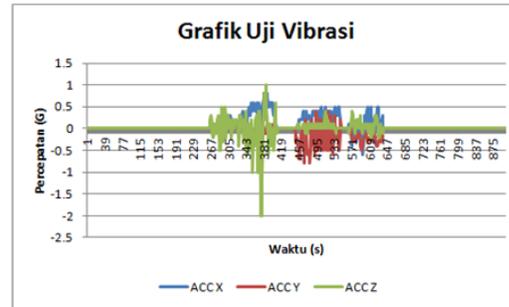
Gambar 7. Grafik Percepatan Uji G-Shock

Berdasarkan data grafik di atas ACC Z bernilai negatif, namun dalam kondisi normal ACC Z akan bernilai positif karena mendapatkan percepatan dari hentakan arah positif yang diterima. Namun karena desain dari alat uji yang dibuat memiliki ujung besi yang menempel dengan alas besi. Maka pada saat ada hentakan dari arah sumbu Z, maka hentakan tersebut membuat ujung besi berbenturan dan berbalik mendorong payload dari arah sumbu Z negatif. Oleh karena itu nilai percepatan pada sumbu Z yang terukur berada pada *range* negatif.

Uji Vibrasi

Pada pengujian ini payload di goyang pada sumbu Z, ke arah positif maupun

negatif dari perlahan hingga cepat dengan tangan. Begitu juga pada sumbu Y dan sumbu Z. Berikut grafik dari hasil uji vibrasi:



Gambar 8. Grafik Percepatan Uji Vibrasi

Berdasarkan data grafik di atas dapat dilihat ada bahwa vibrasi pertama diberikan pada sumbu Z, hal ini terlihat dari data percepatan pada ACC Z yang dominan dari sumbu yang lain. Setelah itu vibrasi diberikan pada sumbu Y, hal ini disebabkan data ACC Y yang lebih dominan dibandingkan data ACC X dan ACC Z. Vibrasi ketiga diberikan ke sumbu X, hal ini terlihat dari dominasi percepatan yang dimiliki oleh ACC X dibandingkan dengan ACC Y dan ACC Z.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian dan pengujian pada sistem/alat yang dibuat, maka dapat diambil beberapa kesimpulan dari hasil pengujian yang dilakukan.

1. Berdasarkan data hasil percobaan Uji Coba Daya Pancar Modul YS-1020UB radio frekuensi yang dilakukan. Komunikasi dengan menggunakan modul RF YS-1020UB dalam kondisi tanpa halangan dapat dilakukan dengan baik, tanpa ada data tersendat hingga mencapai 650 meter. Sedangkan untuk kondisi ada penghalang mampu dilakukan tanpa ada data tersendat hingga mencapai 400 meter. Dengan demikian modul radio frekuensi YS-1020UB terbukti cocok digunakan untuk komunikasi *line of sight*.

2. Berdasarkan data hasil percobaan pengujian data percepatan, sensor percepatan berhasil terkalibrasi dengan memanfaatkan gravitasi bumi. Terbukti pada saat dalam keadaan diam nilai yang terukur pada masing-masing sumbu sebesar 0 G.
3. Berdasarkan data Pengujian Gyroscope data sudut yang terukur pada gerakan yaw positif pada sudut 45° dan 90° dengan sampling sebesar 0,180Hz masih memiliki error data sebesar 3,4° pada sudut 45° dan 3° untuk sudut 90°.
4. Berdasarkan pada data pengujian terima data, *software interface* yang dibuat telah berhasil untuk menerima data telemetri hasil pengukuran sensor.
5. Berdasarkan pada data pengujian kirim *command*, aplikasi GS berhasil mengirimkan *command* "R0500" sebagai perintah kirim data dan "R0600" sebagai perintah berhenti kirim data dengan frekuensi sampling 0,099 Hz.
6. Berdasarkan data pengujian tanpa "*Mechanical Filtering Window*" dan dengan *Mechanical Filtering Window*. Penggunaan filter digital *mechanical filtering window* mampu mengatasi noise yang timbul karena mekanik pada saat dalam kondisi diam.
7. Berdasarkan data ujicoba Perbandingan nilai data percepatan sebelum filter *moving* dan sesudahnya. Filter digital *moving average* terbukti dapat memperhalus data yang diterima.
8. Berdasarkan data hasil uji trajectory dan hasil olahan data *trajectory*, aplikasi *software interface* yang dibuat telah berhasil mengolah data percepatan menjadi posisi dan menampilkannya menjadi sebuah trajectory.
9. Berdasarkan data hasil uji static terbukti bahwa sistem yang dibuat mampu bekerja dengan normal tanpa ada masalah saat mengalami G-force, Gshock dan vibrasi.
10. Akibat data sudut hasil konversi dari kecepatan sudut *gyroscope* yang masih

belum akurat menyebabkan error yang terus terintegrasi dalam perhitungan metoda *inertial navigation system* sehingga data percepatan hasil koreksi dari kemiringan sudut menjadi error.

DAFTAR PUSTAKA

- Seifert, Kurt., Camacho Oscar. (2007), *Implementing Positioning Algorithms Using Accelerometers*, freescale Semiconductor, Rev 0.
- Wahyono, Teguh. (2003), *Prinsip Dasar dan Teknologi KOMUNIKASI DATA*, Graha ilmu, Edisi pertama.
- Woodman, Oliver J. (2007), *An introduction to inertial navigation*, University Of Cambridge Computer Laboratory.
- Basic Stamp Syntax and Reference Manual*, Parallax, Version 2.2
- National Instruments Corporation. (2000), *LabVIEW™ Basics I Course Manual*, National Instruments Corporation, Version 6.0.
- National Instruments Corporation, (2003), *Introduction to LabVIEW Three-Hour Course*, National Instruments Corporation, Edition part number 323668b-01
- Leuthi, Peter., Moser, Thomas., (2000), *Low-Cost Inertial Navigation System Design and Characterization of a Strap-down Inertial Navigation System base on Low-Cost Solid-States Sensor*.
- Yantini B, Indra. (2010), *Flowchart, Algoritma dan Pemograman Menggunakan*