

## ANALISIS PENGGUNAAN ACCELEROMETER UNTUK MENGHITUNG KECEPATAN DAN POSISI WAHANA BERGERAK

Oleh:  
Sunar\*

### Abstrak

Untuk melakukan navigasi dan kontrol terhadap benda bergerak dibutuhkan sensor inersia yang sering disebut IMU (Inertia Measurement Unit). Penyusun IMU adalah sensor accelerometer dan gyro, maka karakteristik kedua sensor ini harus difahami sebelum mengembangkan IMU untuk sensor navigasi. Tulisan ini menjelaskan dan menerapkan algoritma menghitung posisi wahana bergerak menggunakan accelerometer 3-Axis MMA7260Q dan processor Atmel atmega328. Teknologi tracking posisi wahana bergerak saat ini banyak menggunakan GPS (Global Positioning System), akan tetapi frekwensi data yang diperoleh masih terbatas. Alternatif lain untuk memperoleh informasi posisi adalah melalui penggunaan sensor inersia. Sinyal yang diperoleh dari sensor ini frekwensinya lebih tinggi yaitu 20Hz, tidak memerlukan pengolahan konversi besaran terhadap percepatan menjadi posisi. Cukup menerapkan double integral terhadap sinyal percepatan accelerometer, namun kelemahannya terjadi akumulasi error yang ikut terintegral yang menyebabkan akurasi berkurang.

Dijelaskan algoritma yang mudah untuk menerapkan double integral sinyal dari sensor untuk dianalisa menggunakan Matlab kemudian diimplementasikan ke dalam 8-bit mikrokontroler. Data-data percepatan diperoleh dari accelerometer type MMA7260Q yang memiliki sensitivitas 0.860 V/g (skala 1.5g), 0.465 V/g (skala 2g), 0.322 V/g (skala 4g) dan 0.215 V/g (skala 6g). Dalam pembahasan menggunakan skala 1.5g. Untuk mendapatkan integrasi ganda, proses integrasi sederhana harus dilakukan terlebih dahulu. Integrasi pertama mendapatkan informasi kecepatan, integrasi ke dua mendapatkan informasi posisi.

Algoritma yang dibahas berikut berlaku untuk setiap axis sensor, dengan cara yang sama axis ke-dua dan ke-tiga dapat diperoleh, sehingga dalam pemrosesan lebih lanjut didapatkan kecepatan dan posisi 3 dimensi ( axis x,y dan z). Ketika menerapkan posisi dalam 3 axis, pengolahan tambahan diperlukan untuk menangani efek gravitasi bumi. Implementasi dalam tulisan ini diterapkan pada contoh deteksi kecepatan dan posisi kendaraan bergerak di darat. Dari pengujian diperoleh rata-rata error 5,64%, sehingga akurasi pengukuran accelerometer 94,36% dengan jarak tempuh 650 m. Untuk aplikasi berikutnya dapat digunakan sebagai sensor dinamika terbang uav (Unmanned Aerial Vehicle)

Kata kunci: accelerometer, algorithm position, double integral

### Abstract

To build navigation and control of moving objects is required inertial sensors called IMU (inertia Measurement Unit). IMU consists of an accelerometer and gyro sensors, the characteristic of this both sensors must be understood before developing the IMU for navigation sensors. This paper describes an algorithm to calculate the position of moving vehicle using 3-Axis accelerometer type MMA7260Q and atmel atmega328 processor. Technology for vehicle position tracking commonly uses GPS (Global Positioning System), but the frequency of the data obtained is still limited. Another alternative for obtaining the position information is using of inertial sensors. The signals obtained from these sensors is higher frequency of 20Hz, requires no conversion processing magnitude of the acceleration into position. Simply apply the double integral of acceleration of the accelerometer signal, but the accumulation of errors occurred weaknesses are an integral part that causes reduced accuracy.

Described algorithms are easy to apply double integral of the sensor signal to be analyzed using Matlab and then implemented into the 8-bit microcontroller. Acceleration data obtained from type MMA7260Q accelerometer which has a sensitivity of 0.860 V / g (1.5g scale), 0.465 V / g (2g scale), 0.322 V / g (4g scale) and 0.215 V / g (6g scale). In this paper use 1.5g scale. To get the double integration, a simple integration process must be done first. The first integration produce the velocity information, scond integration produce the position information.

---

\* Perakayasa pertama di bidang Avionic, Pustekbang LAPAN

The algorithm discussed below apply to each axis sensor, by the same way the second and the third axis can be obtained, resulting in further processing obtained three-dimensional velocity and position (x, y and z axis). When applying the position in 3 axis, additional processing required to handle the effects of gravity. The implementation in this paper applied to the sample position and speed detection of moving vehicles on land. Obtained from testing the average error 5.64%, so the accelerometer measurement accuracy 94.36% with the distance measurement long of 650 m. For the next application can be used as the sensor dynamics of flying UAVs (Unmanned Aerial Vehicle)

Key words: accelerometer, algorithm position, double integral

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu hal sangat penting dalam melakukan navigasi dan kontrol wahana bergerak adalah mengetahui posisi dan orientasi wahana tersebut. Posisi dan orientasi ini dapat diketahui menggunakan sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*) yang tersusun dari sensor accelerometer dan gyro. Dalam tulisan ini dibahas accelerometer untuk menghitung posisi wahana bergerak.

Accelerometer adalah sebuah sensor yang digunakan untuk mengukur percepatan suatu obyek atau wahana. Accelerometer dapat mengukur percepatan *dynamic* dan *static*. Pengukuran percepatan *dynamic* adalah pengukuran percepatan pada wahana bergerak, sedangkan percepatan *static* adalah pengukuran percepatan wahana diam terhadap gravitasi bumi. Untuk mengukur kecepatan dan posisi wahana bergerak diperlukan pengukuran percepatan *dynamic*. Accelerometer ditempelkan di atas wahana yang bergerak dengan salah satu sumbu tegak lurus dengan permukaan bumi.

Accelerometer akan berinteraksi dengan gravitasi bumi, pada kondisi tegak lurus tersebut accelerometer mengalami percepatan sebesar 1g. Jika wahana bergerak maka *axis* sensor yang searah dengan arah gerakan wahana akan mengalami perubahan percepatan selama benda tersebut bergerak, dan perubahan percepatan akan berhenti saat wahana berhenti.

## 2. ALGORITMA METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan sensor accelerometer 3 *axis* dengan sensitivitas 0.860 V/g. Metode yang digunakan adalah menggunakan algoritma dengan pendekatan perhitungan matematika integral.

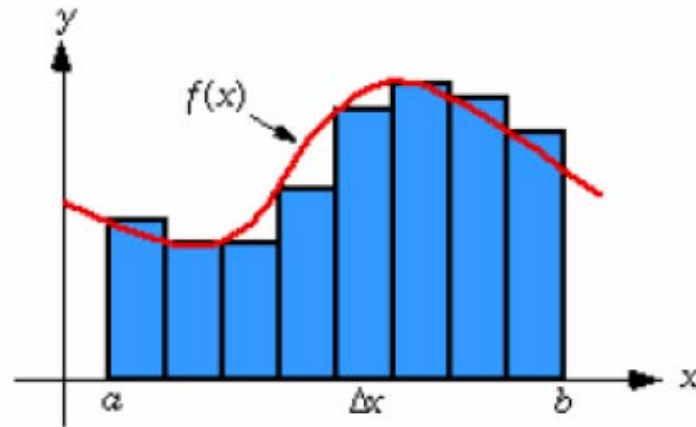
Percepatan adalah perubahan kecepatan suatu wahana bergerak setiap saat. Pada waktu yang sama, terjadi kecepatan yang merupakan perubahan posisi setiap saat. Dengan kata lain, kecepatan adalah turunan dari percepatan, dan posisi adalah turunan dari kecepatan, dirumuskan berikut:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \text{ and } \vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt} \therefore \vec{a} = \frac{d(d\vec{s})}{dt^2} \dots\dots\dots(2-1)$$

Integral adalah kebalikan dari turunan. Jika percepatan wahana diketahui, kita dapat memperoleh data posisi jika integral ganda diterapkan (dengan asumsi kondisi awal adalah nol):

$$v = \int(\vec{a})dt \text{ and } \vec{s} = \int(\vec{v})dt \therefore \int(\int(\vec{a})dt)dt \dots(2-2)$$

Salah satu cara untuk memahami formula ini adalah menentukan integral sebagai daerah di bawah kurva, dimana integral adalah jumlah dari luasan yang sangat kecil yang lebarnya hampir nol. Dengan kata lain, jumlah integral merepresentasikan besarnya amplitude sinyal sensor f(x) (gambar 2-1).



Gambar 2-1. Sampling sinyal Accelerometer

Dari gambar 2-1 diperoleh persamaan:

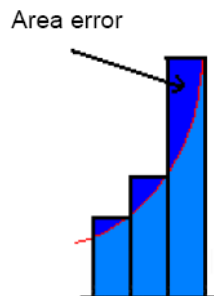
$$\int_a^b f(x) dx = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n f(x_i) \Delta x \quad \dots(2-3)$$

dimana:

$$\Delta x = \frac{b-a}{n}$$

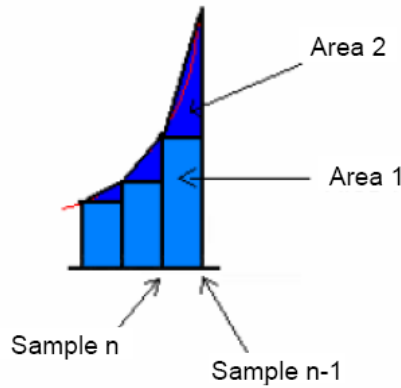
Dengan konsep integral merupakan "luas di bawah kurva" dapat dibuat dari: sampling sinyal diperoleh dari nilai magnitudo, *area* sangat kecil dapat dibuat antara dua sampel. Untuk menciptakan nilai yang *koheren*, waktu sampling harus selalu sama. **Waktu** sampling merupakan dasar dari *area* ini sedangkan **nilai** sampel merupakan puncaknya. Untuk menghilangkan perkalian dengan pecahan (mikrodetik atau milidetik) yang melibatkan nilai pecahan dalam perhitungan, diasumsikan waktu dalam bilangan bulat.

Sekarang diketahui setiap sampel merupakan *area* yang lebarnya sama dengan 1. Nilai integral adalah jumlah luasan sepanjang sampel data. Asumsi ini mendapatkan nilai yang benar jika waktu sampling (waktu sampling data sekarang dikurangi sampling data sebelumnya) dianggap nol. Dalam kenyataannya terdapat kesalahan dihasilkan seperti ditunjukkan pada Gambar 2-2. Kesalahan ini terus terakumulasi selama waktu proses berlangsung.



Gambar 2-2. Error yang terjadi selama proses Integral

Kesalahan ini dikenal sebagai kerugian sampling. Untuk mengurangi kesalahan ini kemudian dibuat asumsi lebih lanjut. Daerah yang dihasilkan dapat dilihat sebagai kombinasi dari dua *area* yang lebih kecil (gambar 2-2):



Gambar 2-3. Error Integral Berkurang dengan Pendekatan orde pertama (Metode Trapezoidal)

Area pertama adalah nilai dari sampel sebelumnya (persegi). Area kedua adalah segitiga, yang terbentuk antara sampel sebelumnya (sampel n-1) dan sampel saat ini (n sampel) dibagi dua.

Dengan pendekatan ini, maka sekarang memiliki pendekatan orde pertama (interpolasi) dari sinyal accelerometer (persamaan 2-4). Metode trapezoidal ini di dalam software Matlab sudah tersedia, sehingga tinggal menggunakan untuk analisis.

$$Area_n = Sample_n + \frac{|Sample_n - Sample_{n-1}|}{2} \times T \quad \dots\dots(2-4)$$

Sekarang kesalahan jauh lebih kecil dibandingkan perkiraan sebelumnya. Meskipun percepatan dapat bernilai positif atau negatif, sampel selalu positif (berdasarkan karakteristik output dari MMA7260Q), sehingga penyesuaian offset harus dilakukan. Dengan kata lain, diperlukan nilai referensi tegangan. Fungsi ini didefinisikan sebagai kalibrasi *continue*.

Kalibrasi dilakukan pada accelerometer ketika kondisi tidak ada gerakan. Output atau offset yang diperoleh dianggap sebagai referensi titik nol. Nilai lebih rendah dari referensi merupakan nilai negatif (perlambatan), sedangkan nilai yang lebih besar merupakan nilai positif (percepatan).

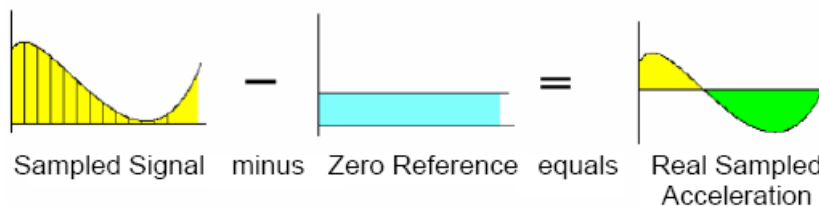
Output accelerometer bervariasi dari 0V – Vcc (atau nilai referensi tegangan (Vref) ADC). Sinyal ini diterjemahkan oleh komparator analog ke digital (ADC). Nilai nol adalah Vref / 2. Nilai kalibrasi yang diperoleh akan dipengaruhi oleh orientasi *board* pcb sensor dan percepatan statis (gravitasi bumi) di masing-masing *axis*. Jika *board* PCB sejajar sempurna dengan permukaan bumi, nilai kalibrasi harus mendekati nilai sama dengan Vref / 2. Prototype yang digunakan dalam tulisan ini modul IMU menggunakan ADC 10bit, Vref=3.3V. Berdasarkan datasheet accelerometer MMA7260Q diperoleh persamaan konversi dari nilai *Raw* data ADC menjadi besaran tegangan Volt (persamaan 2-5) dan nilai percepatan g (persamaan 2-6).

$$Vout_x = (data\_ADC / 1024) * Vref \quad \dots\dots(2-5)$$

$$a_x = 1.25 * Vout_x - 2.0625 \quad \dots\dots(2-6)$$

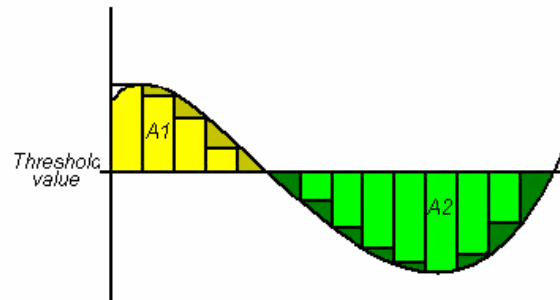
dimana  $Vout_x$  adalah tegangan output hasil konversi,  $a_x$  percepatan accelerometer sumbu X saat mengalami gaya atau gerak. Persamaan (2-6) inilah yang diintegrasikan untuk mendapatkan kecepatan dan posisi/jarak wahana.

Gambar 2-4 berikut ini menunjukkan hasil dari kalibrasi *continue*:



Gambar 2-4. Sinyal Percepatan setelah kalibrasi

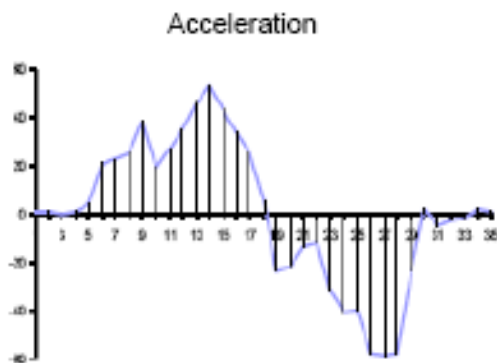
Dari sinyal sampel minus sinyal referensi nol didapatkan percepatan sampel yang benar. A1 merupakan percepatan positif. A2 merupakan percepatan negatif (gambar 2-5). Jika diasumsikan data ini sebagai data sampel, sinyal harus mirip dengan gambar 2- 5 di bawah.



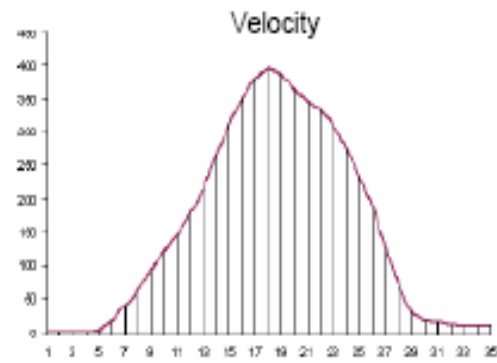
Gambar 2-5. Sample sinyal percepatan setelah kalibrasi

*Threshold value* merupakan nilai offset sinyal. Dengan menerapkan rumus integral (persamaan 2-4), didapatkan pendekatan yang proporsional terhadap kecepatan. Untuk mendapatkan posisi, harus dilakukan integral sekali lagi.

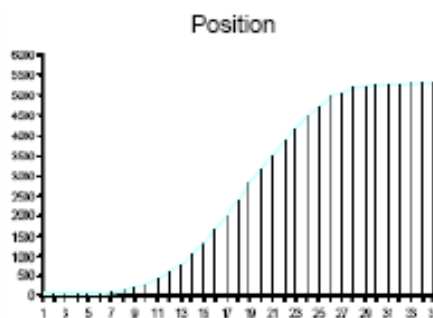
Dengan menerapkan prosedur dan rumus yang sama melakukan integral terhadap kecepatan, maka didapatkan pendekatan proporsional posisi setiap saat. Gambaran proses ini terlihat seperti gambar 2-6 berikut.



a. Data asli accelerometer



b. Integral pertama menghasilkan kecepatan



c. integral ke-dua menghasilkan posisi

Gambar 2-6. Pendekatan integral proporsional Posisi setiap saat

Uraian dan penjelasan algoritma inilah yang akan diterapkan dalam penelitian ini.

### 3. HASIL DAN DISKUSI

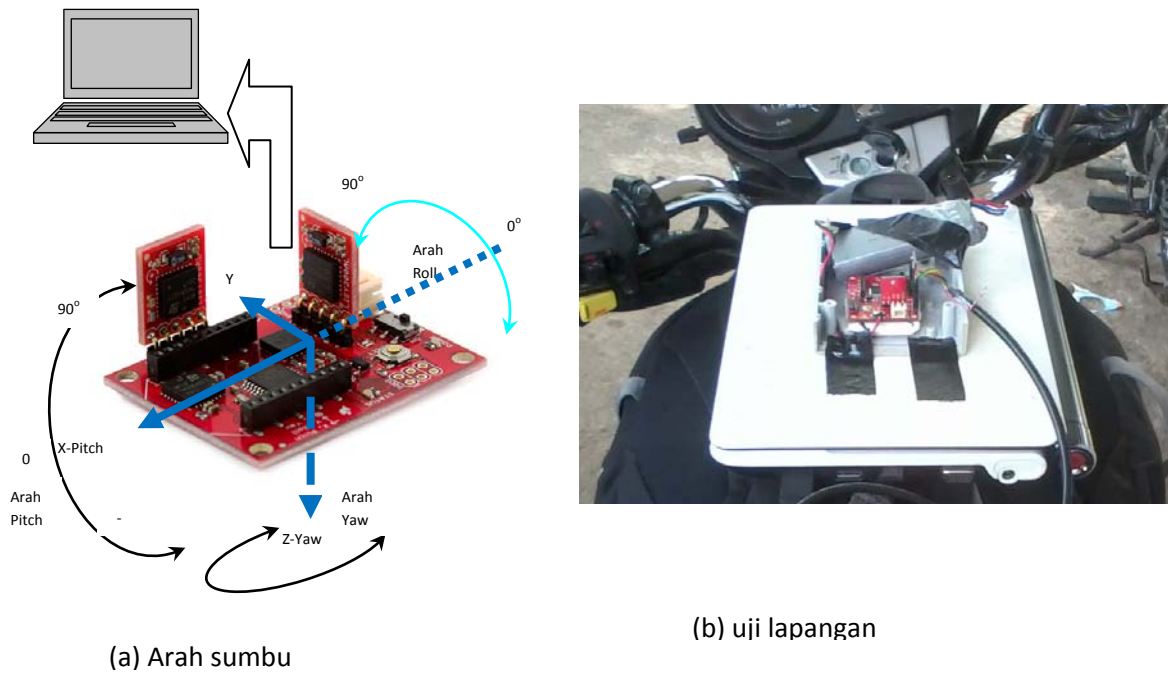
Algoritma yang sudah dimodelkan dengan persamaan matematika diimplementasikan menggunakan program Matlab untuk analisa. *Raw* data accelerometer disimpan saat uji coba dalam

file \*.txt, kemudian dianalisa menggunakan program Matlab. Analisa dilakukan pada sumbu X, karena metode ini persis sama untuk sumbu Y dan Z. Contoh *Raw* data (data mentah) dari sensor accelerometer yang diproses ADC adalah seperti ditunjukkan gambar 3-1. Urutan data: Header (A), no\_data, accelero: sumbu X ( $a_x$ ), sumbu Y ( $a_y$ ), sumbu Z ( $a_z$ ), gyro: sumbu X ( $G_x$ ), sumbu Y ( $G_y$ ), dan sumbu Z ( $G_z$ ) kemudian diakhiri karakter Z. Oleh karenanya IMU ini disebut 6 DOF (*Degree of Freedom*) yaitu mengeluarkan 6 data parameter (3 sumbu accelerometer dan 3 sumbu gyro).

5	A	1	496	291	455	509	511	501 Z
6	A	2	494	291	436	501	512	501 Z
7	A	3	493	304	432	502	512	502 Z
8	A	4	495	294	431	500	512	502 Z
9	A	5	496	292	434	504	510	499 Z
10	A	6	497	286	435	501	511	500 Z
11	A	7	496	277	437	505	510	498 Z
12	A	8	494	290	445	500	510	500 Z

Gambar 3-1. *Raw* Data sensor 6 DOF IMU

Prototype board processing accelerometer dan konfigurasi pengujian ditunjukkan pada gambar 3-2. Pengujian dilakukan dengan meletakkan board sensor di atas kendaraan (gambar 3-2b) sumbu-X menghadap ke depan searah dengan arah gerak kendaraan yang berjalan dari titik awal (*start*) ke titik akhir (*end*) sambil me-record data percepatan output sensor. Jarak dari titik *start* – *end* dicatat menggunakan odometer sebagai



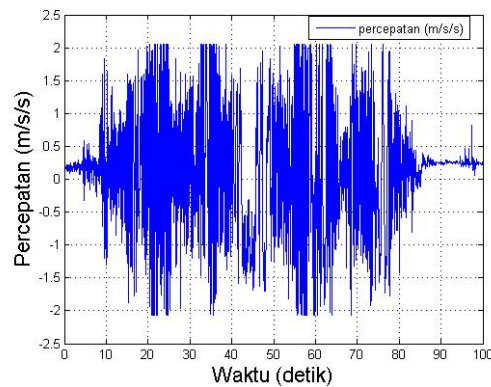
Gambar 3-2. Konfigurasi

kalibrator hasil pengukuran sensor. Hasil perhitungan jarak oleh matlab (gambar 3-3) dibandingkan dengan hasil pengukuran dari odometer, selisih pengukuran merupakan prosentasi *error* pengukuran terhadap kalibrator. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali (lihat tabel 3-1). Grafik satu pengujian sebagai contoh diperlihatkan pada gambar 3-3.

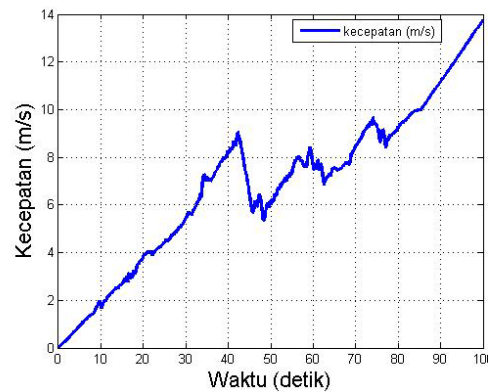
Tabel 3-1 Hasil Pengujian

Uji ke-	Sensor (m)	Kalibrator (m)	Selisih <i>Error</i> jarak	Prosentasi <i>Error</i> (%)
1	685	650	35	5,38
2	615	650	35	5,38
3	690	650	40	6,15
Rata-rata <i>Error</i>			<b>36,67</b>	<b>5,64</b>

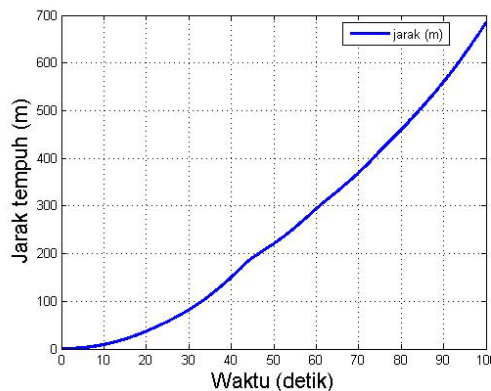
Dari tabel terlihat rata-rata *error* pengukuran jarak sebesar 36,67 m jika diprosentasikan sebesar 5,64%, maka akurasi pengukuran sensor sebesar 94,36%.



(a) Grafik percepatan



(b) Grafik kecepatan (integral ke-1)



(c) Jarak tempuh (hasil integral ke-2)

Gambar 3-3. Perhitungan Posisi Jarak dari data pengujian

Terlihat dari grafik saat start awal percepatan adalah nol (tidak persis nol karena kalibrasi offset tidak dilakukan atau penempatan board pcb pada kendaraan tidak betul-betul sejajar dengan bumi), kemudian mengalami percepatan sampai detik ke-40, kemudian kendaraan mengalami perlambatan (lihat grafik kecepatan gambar 3-3(b)), waktu pengujian karena jalan berbelok maka kendaraan direm, setelah itu kendaraan dipercepat lagi terus mengalami perlambatan lagi (saat kendaraan mengalami perpindahan gigi persneling 2 kali) pada detik ke-60 dan 74. Perpindahan gigi

ini tentunya menyebabkan perlambatan, hal ini terlihat pada grafik 3-3(b). Grafik 3-3(c) menunjukkan posisi kendaraan setiap saat dari  $t=0$  s/d  $t=100$  detik.

#### 4. KESIMPULAN

Telah dilakukan penerapan dan pengujian algoritma mengukur kecepatan dan posisi menggunakan sensor accelerometer dan microcontroller. Algoritma ini merupakan konsep dasar penerapan accelerometer untuk mengukur posisi wahana bergerak untuk aplikasi navigasi. Konsep ini harus difahami untuk mengembangkan algoritma *processing* data IMU (*Inertia Measurement Unit*) dan lebih jauh lagi untuk mengembangkan algoritma INS (*Inertia Navigation System*).

Dari pengujian didapatkan akurasi masih relatif rendah sebesar 94,36%, untuk menaikkan akurasi ini dapat dikembangkan **sistem filtering** yang sekarang lagi banyak digunakan adalah filter Kalman pada algoritma di mikrokontroller.

#### DAFTAR RUJUKAN

- [1] Kurt Seifert and Oscar Camacho, *Implementing Positioning Algorithms Using Accelerometers*, AN3397 rev. 0.02/2007, Freescale Semiconductor
- [2] Datasheet, *±1.5g-6g Three Axis Low-g Micromachined Accelerometer*, MMA7260Q Rev 1, 06/2005, Freescale Semiconductor
- [3] Kimberly Tuck, *Tilt Sensing Using Linear Accelerometers*, AN3461 Rev 2, Freescale Semiconductor 06/2007
- [4] Wahyu W., *Pengujian 3-axis Accelerometer sebagai Tilt-sensing Dengan Visualisasi grafik OpenGL*, 2005, JANAS
- [5] Vidi Rahman Alma'i, dkk, *Aplikasi Sensor Accelerometer Pada Deteksi Posisi*, Makalah Tugas Akhir, T.Elektro UNDIP

#### DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

##### DATA UMUM:

Nama : Sunar  
Tempat/Tgl Lahir : Bojonegoro, 03 Mei 1977  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Instansi : Bidang Avionics, Pustekbang-LAPAN  
NIP : 19770503 200604 1 018  
Pangkat/Gol. Ruang : Penata pertama/III.a  
Jabatan Pekerjaan : Perekayasa Pertama  
Status Perkawinan : Menikah

##### DATA PENDIDIKAN:

1996 - 2004 : Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur, Teknik elektro  
1993 - 1996 : Sekolah Menengah Atas Negeri (SMA N 1) Bojonegoro, Jawa Timur

ALAMAT : Jl Anyelir 2 No 4, Perumahan Griya Serpong Asri, Suradita,  
Cisauk, Tangerang 15343. Telp: 081398562866

#### HASIL DISKUSI DALAM PELAKSANAAN SEMINAR

Pertanyaan:

Bpk. Agus Hendra Wahyudi (Avionik Pustekbang LAPAN)

1. Sensor accelerometer yang dipakai jenis digital atau analog?
2. Accelerometernya berapa buah?



Jawaban:

1. Jenis accelerometer yang digunakan jenis analog kemudian diolah microcontroller dikeluarkan lewat jalur serial dalam bentuk data digital
2. Accelerometer yang digunakan 1 buah mempunyai 3 sumbu (X,Y,Z), tetapi dalam pembahasan di paper ini membahas 1 sumbu (sumbu X) karena sumbu Y dan Z proses algoritmanya sama.