

Makalah Seminar Tugas Akhir

PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK PENDETEKSI POSISI BENDA DALAM 6 DERAJAT KEBEBASAN

Arif Setyono

Wahyudi, ST., MT.

Iwan Setiawan, ST., MT.

Abstract

The use of inertial sensors and inertial navigation has developed rapidly in the recent past, owing to a number of very significant technological advances. The rapid development of micro electromechanical sensors and superior computer performance has provided the stimulus for many new applications. These new sensors and enhanced computer power, as well as state-of-the-art computational techniques have been applied to the traditional applications to give enhanced performance in a miniature system.

In this project design navigation system with INS based low cost IMU sensor. The IMU sensor consist of three axes accelerometer and three axes gyroscope which bundled in a board made by Sparkfun. Data from gyroscope will be use to determine attitude of the body and data from accelerometer will be use to determine translational movement of the body.

Based on research result done that the INS algorithm was used not yet accurately worked at IMU sensors.

Keywords :Inertial sensor, IMU, INS.

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi navigasi saat ini telah menjadi suatu ilmu pengetahuan yang telah sangat kompleks. Berbagai teknik telah dikembangkan untuk menunjang kebutuhan dalam bernavigasi. Mulai dari peta, kompas, GPS, dan sensor IMU.

IMU banyak digunakan untuk keperluan navigasi suatu roket. Teknologi ini sudah banyak diterapkan di beberapa negara maju, tetapi juga masih menjadi teknologi yang sulit diperoleh di beberapa negara lain. IMU merupakan suatu unit dalam modul elektronik yang mengumpulkan data percepatan angular dan akselerasi linear, yang kemudian dikirim ke unit pemroses utama. IMU terdiri dari kombinasi *accelerometer* (sensor percepatan) dan *gyroscope* (sensor angular) untuk menjejaki keberadaan dan pergerakan suatu benda. *Accelerometer* digunakan untuk mengukur percepatan suatu benda dan *gyroscope* digunakan untuk mengukur rotasi dari suatu benda.

Sebuah penelitian terhadap sistem instrumentasi IMU dapat dilakukan dengan memanfaatkan sensor *accelerometer* dan sensor *gyroscope* yang dijual di pasaran. Suatu informasi posisi/jarak dapat diperoleh dari keluaran sensor *accelerometer* melalui proses algoritma tertentu.

1.2 Tujuan

Tujuan pembuatan tugas akhir ini adalah membuat perangkat lunak dengan metode *Strapdown Inertial Navigation System* (INS) yang diterapkan untuk modul IMU (*Inertial Measurement Unit*).

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam pembuatan tugas akhir ini penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Sensor *accelerometer* yang digunakan memiliki 3 derajat kebebasan.
2. Modul IMU yang digunakan adalah 6DOF Razor produksi *sparkfun*, yang terdiri dari ADXL335, LPR530AL, dan LY530ALH.
3. Proses pengolahan data dan tampilan dilakukan di *personal computer* dengan menggunakan bahasa pemrograman *Microsoft Visual Studio C#*.
4. Metode yang digunakan adalah dasar dari *Strapdown Inertial Navigation System*.
5. Pengujian terhadap modul IMU dilakukan dengan waktu yang sesaat dan jarak yang pendek.
6. Sistem visualisasi 3D yang digunakan merupakan rancangan YLScs Drawing dari *Code Project*.

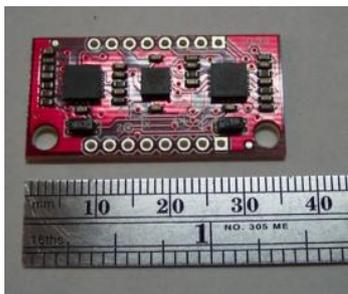
II DASAR TEORI

2.1 *Inertial Measurement Unit* (IMU)

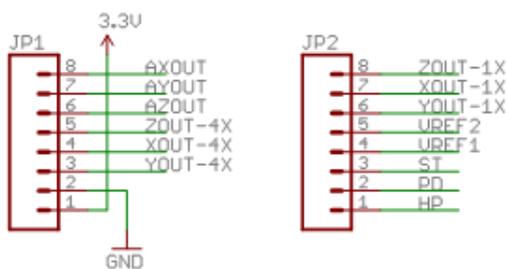
Inertial Measurement Unit (IMU) adalah instrumentasi elektronik yang digunakan untuk mengukur kecepatan, orientasi, dan gaya gravitasi dengan menggunakan *accelerometer* dan *gyroscope*. IMU biasa digunakan untuk keperluan

pesawat terbang, pesawat penjelajah angkasa, pesawat tanpa awak, dan satelit. IMU adalah komponen penting dalam INS dan digunakan untuk mendeteksi lintasan dengan *dead reckoning*. Pengembangan dan penelitian sensor IMU sampai saat ini masih terus dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan sensor IMU yang ideal, akurat, bentuk minimalis, pembacaan cepat, tahan derau, dan hemat dalam penggunaan energi.

Salah satu modul IMU yang ada saat ini adalah Sparkfun 6DOF *Razor* seperti terlihat dalam Gambar 1. Modul ini terdiri dari sebuah *accelerometer* tiga aksis (ADXL335), sebuah *gyroscope* dua aksis (LPR530AL), dan sebuah *gyroscope* satu aksis (LY530ALH). *Accelerometer* dan *gyroscope* dipasang pada satu board sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk pengukuran 6 DOF (*degree of freedom* / derajat kebebasan). Derajat kebebasan yang mampu diukur oleh 6 DOF adalah poros x, y, z, *roll*, *pitch*, dan *yaw*.



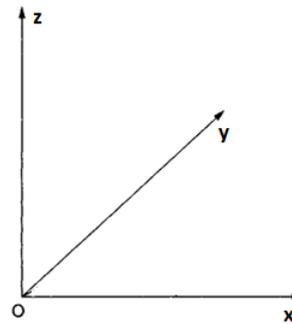
a. Dimensi sensor



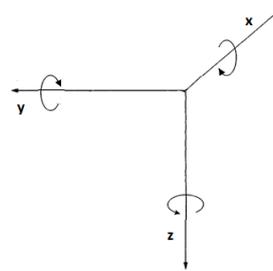
b. Konfigurasi output sensor.

Gambar 1 *Razor* 6DOF.

Razor 6DOF merupakan sensor berdimensi mini sehingga dapat ditanamkan pada berbagai alat tanpa mengalami kesulitan yang berarti. Walaupun dalam satu board, sensor *accelerometer* dan *gyroscope* tidak didefinisikan dalam satu sistem koordinat. Sistem koordinat yang terdapat pada *accelerometer* dan *gyroscope* pada *Razor* 6DOF diperlihatkan pada Gambar 2.



a. *Accelerometer*.



b. *Gyroscope*.

Gambar 2 Sistem koordinat *Razor* 6DOF.

2.2 Inertial Navigation Strapdown Technology

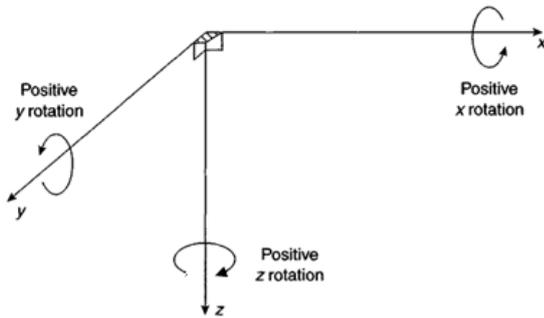
Sebagian sistem modern telah mengurangi *platform* sistem mekanik yang kompleks dengan menggunakan sistem sensor tertanam, yang langsung bisa dipasang stabil pada *body*, atau bisa disebut "*strapped down*". Manfaat yang diperoleh dari penerapan sistem tersebut yaitu harga yang lebih murah, ukuran yang lebih kecil, dan mempunyai tingkat keandalan yang lebih daripada *platform* yang setara. Sebagai keunggulan penerapan sistem navigasi ini yaitu: kecil, ringan, dan akurat kemudian dari sistem navigasi *inertial* sekarang dapat digunakan pada rudal pemandu yang kecil. Kelemahan utama yang terjadi adalah peningkatan substansial dengan semakin kompleksnya proses komputasi dan membutuhkan sensor yang dapat membaca dengan lebih cepat. Dengan seiring perkembangan zaman, di mana tingkat pertumbuhan sistem komputasi yang semakin tinggi dan penelitian serta pengembangan alat pengukuran yang semakin maju, kelemahan tersebut dapat tertutup sedikit demi sedikit dan sistem navigasi *inertial* yang ideal semakin mendekati kenyataan. Sistem navigasi tersebut bisa disebut sebagai

“Strapdown Technology”. Sistem navigasi inersia “strapdown” bergantung pada teknologi yang kompleks dan banyak teknologi khusus dan aturan yang umum digunakan.

2.3 Sistem Koordinat

2.3.1 Sistem Koordinat Body

Koordinat *body* ditunjukkan pada Gambar 3. Arah x positif *body* ditunjukkan dengan x, arah y positif *body* ditunjukkan dengan y, dan arah z positif ditunjukkan dengan z. Pada Gambar 3 ditunjukkan pula rotasi pada masing-masing sumbu.



Gambar 3 Sistem koordinat *body*.

2.3.2 Koordinat Tetap

Koordinat tetap di sini adalah sistem koordinat *body* ketika sumbu z *body* mengarah ke poros bumi. Penggambaran system koordinatnya sama dengan koordinat *body* dengan arah x ke depan, y ke samping kanan, dan z menuju koordinat bumi.

2.3.3 Koordinat navigasi

Referensi koordinat navigasi yang digunakan dalam Tugas akhir ini adalah transformasi dari koordinat tetap.

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(1)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\text{navigasi}} = M \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\text{fixed}} \dots\dots\dots(2)$$

2.4 INS

2.4.1 Strapdown Attitude Representation

a. *Direct cosine matrix*

Direction cosine matrix dinotasikan sebagai C_b^n . *Direction cosine matrix*

merupakan suatu bentuk matriks rotasi dengan dimensi 3x3, dengan kolom-kolomnya merepresentasikan unit vektor pada koordinat *body* yang diproyeksikan sepanjang koordinat referensi atau koordinat navigasi. Matriks C_b^n dituliskan dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$C_b^n = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3)$$

b. *Euler*

Pada metode *euler* transformasi dari satu bentuk koordinat ke dalam bentuk koordinat yang lain dapat dibangun dengan tiga rotasi berurutan dengan sumbu yang berbeda. Transformasi dari satu koordinat ke dalam koordinat yang baru dapat diekspresikan sebagai berikut:

- Rotasi melalui sumbu z *body* dengan sudut sebesar Ψ .
- Rotasi melalui sumbu y *body* dengan sudut sebesar Θ .
- Rotasi melalui sumbu x *body* dengan sudut sebesar Φ .

c. *Quaternion*

Quaternion pertama kali diperkenalkan oleh seorang ilmuwan matematika asal Irlandia yang bernama sir William Rowan Hamilton pada tahun 1843.

Setiap quaternion adalah kombinasi linier dari basis quaternion 1, i, j, dan k, yaitu setiap quaternion disajikan secara tunggal dengan bentuk $a+bi+cj+dk$ di mana a, b, c, dan d adalah bilangan-bilangan real.

$$q = a+bi+cj+dk \dots\dots\dots (4)$$

Table 1 Aturan *Quaternion* (baris x kolom).

x	1	i	j	k
1	1	i	j	k
i	i	-1	k	-j
j	j	-k	-1	i
k	k	j	-i	-1

Konjugasi dari *quaternion*

$$q^* = a-bi-cj-dk \dots\dots\dots (5)$$

Persamaan rotasi pada *quaternion*

$$V^{-1} = q * V * q^* \dots\dots\dots(6)$$

Persamaan matriks *update quaternion*

$$M = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & -p\Delta t & -q\Delta t & -r\Delta t \\ p\Delta t & 1 & r\Delta t & -q\Delta t \\ q\Delta t & -r\Delta t & 1 & p\Delta t \\ r\Delta t & q\Delta t & -p\Delta t & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(7)$$

2.4.2 Gerak benda pejal

Percepatan yang bekerja pada benda pejal diperlihatkan pada persamaan (8),(9),dan(10).

$$a_x = \dot{u} + wq - vr \dots\dots\dots(8)$$

$$a_y = \dot{v} + ur - wp \dots\dots\dots(9)$$

$$a_z = \dot{w} + vp - uq \dots\dots\dots(10)$$

Pada sensor percepatan juga mendeteksi adanya percepatan gravitasi dengan besar 1g kearah sumbu z koordinat tetap. Dalam koordinat *body* besar pengaruh gravitasi diperlihatkan pada persamaan 11.

$$\begin{bmatrix} g_x \\ g_y \\ g_z \end{bmatrix}_{body} = C_{bn} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1g \end{bmatrix}_{tetap} \dots\dots\dots(11)$$

2.5 Algoritma Integral Runge-Kutta

Metode *Runge-Kutta* merupakan metode penyelesaian persamaan differensial yang mana perhitungan penyelesaian dilakukan langkah demi langkah. Secara umum fungsi penyelesaian persamaan differensial dengan metode *Runge-Kutta* ditunjukkan pada persamaan 12.

$$x_k = x_{k-1} + h.f(x_k, t_k) \dots\dots\dots(12)$$

Disini $h.f(x_k, t_k)$ adalah perubahan nilai setiap langkah.

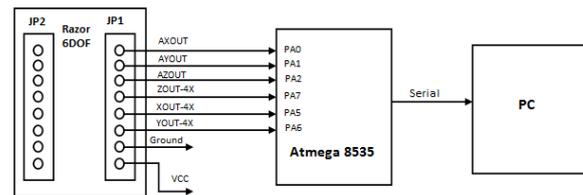
Metode *Runge-Kutta* orde 2 membuat langkah yang lebih kecil dari perubahan nilai dengan membagi nilai perubahan tiap langkah menjadi sejumlah bagian yang ditentukan. Bentuk paling sederhana dari metode *Runge Kutta* orde 2 adalah membagi bagian perubahan menjadi dua bagian seperti ditunjukkan pada Persamaan 13.

$$x_k = x_{k-1} + \frac{h}{2} [f(x_k, t_k) + f(x_{k-1}, t_{k-1})] \dots\dots(13)$$

III PERANCANGAN SISTEM

3.1 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 4.

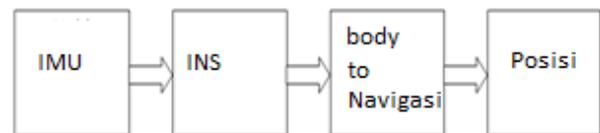


Gambar 4 Konfigurasi perangkat keras.

Kaki-kaki output sensor dihubungkan ke mikrokontroller pada Port A Pin 0, Pin 1, Pin 2, Pin 5, Pin 6, dan Pin 7. Mikrokontroller dihubungkan ke Personal Computer melalui komunikasi Serial.

3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak modul IMU untuk navigasi menggunakan algoritma INS. Adapun perancangan sistem navigasi diperlihatkan pada Gambar 5.



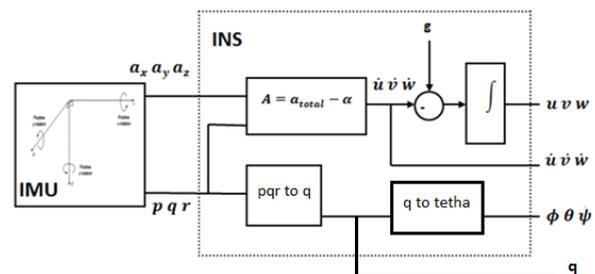
Gambar 5 Blok perancangan navigasi.

3.2.1 IMU

Pada blok IMU perancangan meliputi pembentukan data awal, pemberian jendela pembatas, pengkondisi untuk keluaran *gyroscope*, dan penentuan sensitifitas.

3.2.2 INS

Pada blok INS dilakukan perancangan meliputi penentuan sistem koordinat, pengolahan data kecepatan sudut ke navigasi, dan pengolahan data percepatan ke arah navigasi. Perancangan dari INS dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Blok INS.

3.2.3 Body to Navigasi

Pada blok *body to navigasi* dilakukan perubahan kerangka navigasi yaitu dari kerangka *body* ditransformasi ke koordinat tetap. Proses transformasi dilakukan dengan prinsip rotasi koordinat.

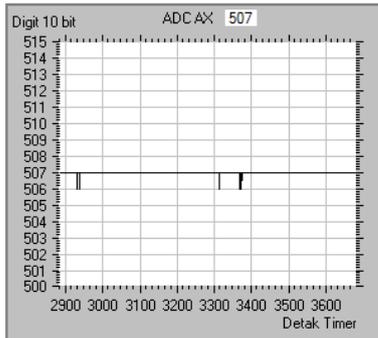
3.2.4 Posisi

Pada perancangan posisi dilakukan proses integral dengan algoritma integral *runge-kutta*. Proses integral dilakukan untuk mengetahui kecepatan linier dari percepatan dan posisi dari kecepatan.

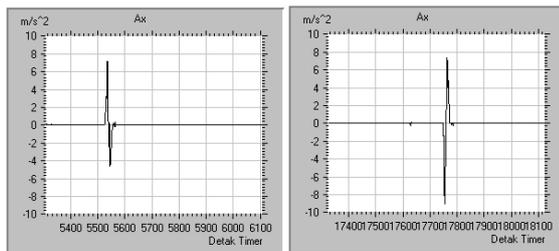
IV PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Pengujian Karakteristik Accelerometer

Pada bagian ini dilakukan pengujian untuk karakteristik accelerometer saat sensor bekerja.



Gambar 7 Respon *accelerometer* saat benda diam.

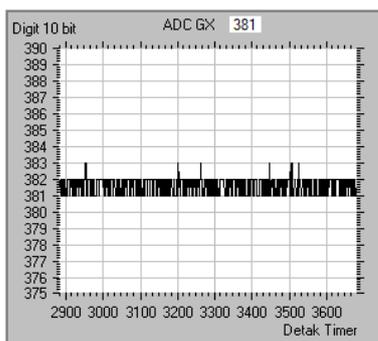


a. Positif. b. Negatif.
Gambar 8 Respon gerak *accelerometer*

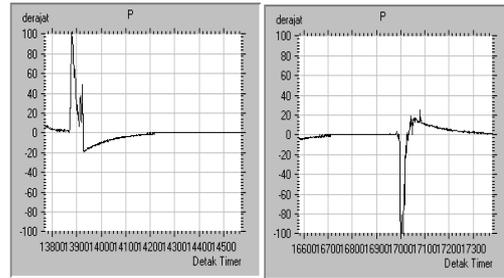
Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa saat benda diam sensor suatu saat mendeteksi adanya percepatan kecil dan dari Gambar 8 dapat dilihat jika gerak positif maka *accelerometer* akan mendeteksi percepatan kemudian perlambatan dan untuk gerak negatif adalah sebaliknya.

4.2 Pengujian Karakteristik Gyroscope

Pada bagian ini dilakukan pengujian untuk karakteristik *gyroscope* saat sensor bekerja.



Gambar 9 Respon *gyroscope* saat benda diam.



a. Positif. b. Negatif.
Gambar 10 Respon gerak *gyroscope*.

Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa sensor *gyroscope* mendeteksi adanya kecepatan sudut saat keadaan diam. Gambar 10 memperlihatkan ketika benda berputar positif respon *gyroscope* memperlihatkan adanya kecepatan positif kemudian setelah benda diam akan memperlihatkan kecepatan sebaliknya dengan nilai mendekati nol secara teratur, dan respon putar negatif berkebalikan dengan respon putar positif.

4.3 Pengujian Navigasi

Pada bagian ini dilakukan pengujian hasil perhitungan untuk benda setelah bergerak dengan menggunakan algoritma INS

Tabel 2 Hasil pengujian translasi

No	Pengujian (cm)	X(cm)	Y(cm)	Z(cm)	ex	ey	ez
1	X = 20	19,24	1,06	2,28	2,72	3,34	2,28
2	Y = 20	0,7	21,26	1,32	4,02	2,34	1,32
3	Z = 20	1,4	6,32	21,36	2,28	6,32	2,48
4	X = 20, Y = 20	17,66	18,16	1,94	3,38	4,68	1,36
5	X = 30, Z = 30	32,12	7,5	25,38	4,64	7,5	6,34
6	Y = 30, Z = 30	0,9	32,72	33,26	4,7	3,36	4,9
7	X = 30, Y = 30, Z = 30	25,5	30,6	38,36	11,18	8,96	9,04

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai yang terukur dengan yang diujikan sudah mendekati tetapi belum sama. Hal ini memperlihatkan bahwa algoritma INS yang digunakan belum mampu mengkompensasi kesalahan mekanik sensor yang digunakan.

V PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Keluaran dari *accelerometer* dan *gyroscope* dalam keadaan diam tidak stabil sehingga perlu diberikan *discrimination windows*.
2. Ketika *accelerometer* digerakkan ke arah sumbu positif dan negatif respon keluarannya tidak ideal yaitu berbentuk

sinusoida yang tidak simetris, sehingga perlu diberikan algoritma pengecekan akhir bergerak.

3. Dari hasil pengujian didapatkan faktor kalibrasi *accelerometer* untuk sumbu x sebesar 0,990, untuk sumbu y sebesar 1,057, sumbu z sebesar 0,972 dan untuk kalibrasi gyroscope didapatkan kalibrasi untuk sumbu x sebesar 0,622, sumbu y sebesar 0,620, dan sumbu z sebesar 0,617.
4. Algoritma INS yang digunakan belum bisa diterapkan secara tepat untuk navigasi pada modul IMU yang digunakan.

5.2 SARAN

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Dapat digunakan filter *Kalman* untuk mendapatkan hasil navigasi IMU yang lebih baik.
2. Penggunaan sistem komputasi yang lebih baik untuk kecepatan proses dan keakuratan matematik.
3. Bisa ditambahkan beberapa *instrument* untuk mengkalibrasi modul IMU.
4. Bisa dicoba untuk melakukan navigasi IMU dengan *stable platform*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akrom, Isnain Fauzan, *Pemetaan Posisi dan Orientasi Kursi Roda Cerdas Berbasis Prinsip Dead Reckoning*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2010.
- [2] Alma'i, Vidi Rahman, *Aplikasi Sensor Accelerometer Pada Deteksi Posisi*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2009.
- [3] Cook, Michael V, *Flight Dynamics Principles*, Elsevier, Amsterdam, 2007.
- [4] Erik, B. Dam, Martin Koch, and Martin L, *Quaternion, Interpolation, and Animation*, Department of Computer Science University of Copenhagen, Juli 1998.
- [5] Kapaldo, Aaron J, "Gyroscope Calibration and Dead Reckoning for an Autonomous Underwater Vehicle", Masters Thesis Virginia Polytechnic, 2005.
- [6] Mubarok, Asep, *Pendeteksi Rotasi Menggunakan Gyroscope Berbasis Mikrokontroler ATmega8535*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2009.
- [7] Ronnback, Sven, "Development of a INS/GPS navigation loop for an UAV", Masters Thesis Lulea University of Technology, 2000.
- [8] Souris, George M, *Missile Guidance and Control System*, Springer, New York, 2004.
- [9] Titterton, David H, *Strapdown Inertial Navigation Technology-2nd Edition*, The Institution of Electrical Engineers, 2004.
- [10] -----, *ADXL335 Data Sheet*, <http://www.analog.com>, 2009.
- [11] -----, *Inertial Measurement Unit*, http://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_measurement_unit, Maret 2011.
- [12] -----, *LPR530AL Data Sheet*, <http://www.analog.com>, Juli 2009.
- [13] -----, *LY530ALH Data Sheet*, <http://www.analog.com>, Juli 2009.
- [14] -----, *Razor 6DOF and Arduino*, <http://voidbod.net/Razor-6dof>, Maret 2011.
- [15] Ylscs, *Quaternion Mathematics and 3D Library with C# and GDI+*, <http://www.codeproject.com/KB/graphics/YLScsDrawing3d.aspx>, 2010.
- [16] Seifert, K. dan Camacho, O., *Implementing Positioning Algorithms Using Accelerometers*, Freescale Semiconductor, 2007.

Arif Setyono (L2F 005 518)



Lahir di Magelang 25
Oktober 1986. Saat ini
sedang menyelesaikan studi
pendidikan strata I di Jurusan
Teknik Elektro, Fakultas
Teknik Universitas
Diponegoro Konsentrasi
Kontrol.

Mengetahui dan mengesahkan,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Wahyudi, S.T., M.T.

NIP.196906121994031001

Tanggal: _____

Iwan Setiawan, ST.M.T.

NIP.197309262000121001

Tanggal: _____