

Makalah Seminar Tugas Akhir

PENDETEKSI SUDUT MENGGUNAKAN SENSOR *GYROSCOPE*

M. Hasim As'ari^[1], Wahyudi, ST., MT^[2], Iwan Setiawan, ST., MT^[2]
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

Abstract

Recently, determining the exact position and orientation in a technical system has an important role, especially in terms of control on a navigation system. One of the instruments used in navigation systems is the Inertial Measurement Unit (IMU). The IMU consists of a combination of the acceleration sensor (accelerometer) and the angular sensor (gyroscope) to track movement of an object. Gyroscope is one of the sensors that have progressed and widely applied to measure the angular velocity and angle. For further applications, these sensors are widely used for navigational purposes.

In this final project the design of instrumentation gyroscope as one component of the IMU to detect the angle with 3 degrees of freedom. The data in the form of angles can be obtained from the integral of the angular velocity from gyroscope output. This system instrumentation consists of a gyroscope sensor, microcontroller ATmega8535 as the main processing unit, and the computer will display the output data by using Visual C #.

Test results showed that the gyroscope output signal consists of signal information and noise, so it necessary to be known of actual output value to obtain the angle accurately. The best results independently for testing angles to the roll axis with the average MSE of 0.53575 degrees, the pitch axis with an average MSE of 0.4065 degrees, and the yaw axis with an average MSE of 0.1415 degrees.

Keywords : Gyroscope, Microcontroller ATmega8535, Angular velocity, Angle.

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

IMU (*Inertial Measurement Unit*) merupakan suatu unit dalam modul elektronik yang mengumpulkan data kecepatan angular dan akselerasi linear yang kemudian dikirim ke CPU (*Central Processing Unit*) untuk mendapatkan data keberadaan dan pergerakan suatu benda. IMU terdiri dari kombinasi *accelerometer* (sensor percepatan) dan *gyroscope* (sensor kecepatan angular). *Accelerometer* digunakan untuk mengukur percepatan suatu benda dan *gyroscope* digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi dari suatu benda.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah merancang dan membuat sistem instrumentasi *gyroscope* sebagai salah satu komponen IMU untuk mendeteksi sudut dengan menggunakan mikrokontroler ATmega8535 yang kemudian akan divisualisasikan secara 3D dengan menggunakan *visual C #*.

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam pembuatan tugas akhir ini penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Sensor *Gyroscope* yang digunakan memiliki 3 derajat kebebasan.
2. Pembuatan sistem instrumentasi untuk menerapkan sensor *gyroscope* sebagai pendeteksi sudut.

3. Pada pengujian dilakukan 3 sumbu secara terpisah.
4. Sistem visualisasi 3D yang digunakan adalah komputer dengan bantuan bahasa pemrograman *Visual C #*.
5. Mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega8535 dengan pemrograman *Code Vision AVR* menggunakan bahasa C.

II DASAR TEORI

2.1 Gyroscope ADXRS150

Secara umum hasil pengukuran kecepatan sudut sebuah benda dengan menggunakan sensor *gyroscope* pada sumbu horisontal dapat dinyatakan dengan persamaan 1.^[3]

$$r_m(t) = (1 + s)r(t) + b + w \dots\dots\dots(1)$$

Dari persamaan 1, dapat diperoleh kecepatan sudut sebenarnya dinyatakan dengan persamaan 2.

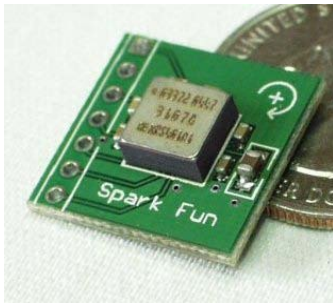
$$r(t) = \frac{1}{1+s} r_m(t) - \frac{b}{1+s} - \frac{w}{1+s}$$

$$r(t) = \bar{s} r_m(t) + \bar{b} + \bar{w} \dots\dots\dots(2)$$

Sinyal keluaran *gyroscope* $r_m(t)$ secara umum mengandung sinyal kecepatan sudut $r(t)$, *random noise* $w(t)$, dan bias $b(t)$. *Gyroscope* ADXRS150 dari Analog Device, merupakan *gyroscope* elektrik yang memiliki skala 150 %/s. *Gyroscope* ADXRS150 ditunjukkan pada Gambar 1.

[1] Mahasiswa Teknik Elektro

[2] Dosen Teknik Elektro pembimbing tugas akhir



Gambar 1 Gyroscope ADXR150.

Tegangan masukan untuk ADXR150 adalah tegangan DC 5 volt sedangkan tegangan keluarannya antara 0,25 volt sampai 4,75 volt. Ketika dalam keadaan diam, sensor *gyroscope* ADXR150 memiliki tegangan *offset* yang nilainya setengah dari tegangan masukannya atau sekitar 2,5 volt. *Gyroscope* ADXR150 digunakan untuk mengukur kecepatan sudut atau seberapa cepat suatu benda berputar. *Gyroscope* ADXR150 akan mengeluarkan tegangan yang nilainya sebanding dengan nilai kecepatan sudut, nilai tersebut ditentukan oleh nilai kepekaannya. Nilai kepekaan tersebut memiliki satuan milivolt per derajat per detik (mV/°/s). *Gyroscope* ADXR150 memiliki nilai kepekaan 12,5 mV/°/s.

2.2 Algoritma Integral Runge-Kutta^[4]

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan differensial adalah metode integral *Runge-Kutta*. Metode *Runge-Kutta* merupakan metode penyelesaian persamaan differensial yang mana perhitungan penyelesaian dilakukan langkah demi langkah. Misalkan, fungsi persamaan differensial seperti ditunjukkan persamaan 3.

$$\dot{x} = f(x, t) \dots\dots\dots (3)$$

Menggunakan asumsi titik pendekatan awal (x_0, t_0) , maka secara umum fungsi penyelesaian persamaan differensial dengan metode *Runge-Kutta* ditunjukkan pada persamaan 4.

$$x_k = x_{k-1} + h.f(x_{k-1}, t_{k-1}) \dots\dots\dots (4)$$

Disini $h.f(x_{k-1}, t_{k-1})$ 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 5.

$$x_k = x_{k-1} + \frac{h}{2} [f(x_k, t_k) + f(x_{k-1}, t_{k-1})] \dots\dots (5)$$

2.3 Identifikasi Sistem Teknik Parametrik Rekursif^[7]

Bentuk umum model *input-output* dari sistem diskrit (SISO) dapat dituliskan sebagai berikut

$$r(t) = \theta^T \varphi(t-1) \dots\dots\dots (6)$$

dimana θ adalah matrks parameter sistem yang didefinisikan sebagai

$$\theta = [s \quad b]^T \dots\dots\dots (7)$$

sedangkan $\varphi(t-1)$ adalah matriks informasi.

$$\varphi(t-1) = [r_m(t-1) \quad 1] \dots\dots\dots (8)$$

Estimasi parameter sistem dengan *least square* merupakan metode estimasi yang meminimumkan fungsi kriteria jumlah kuadrat kesalahan prediksi. Algoritma *least square*, yang memberikan harga minimum terhadap fungsi kriteria:

$$J(t) = \sum_{j=1}^t (\varepsilon(t))^2 \dots\dots\dots (9)$$

di mana

$$\varepsilon(t) = r(t) - \hat{r}(t)$$

$$\varepsilon(t) = r(t) - \hat{\theta}^T(t) \varphi(t-1)$$

Bentuk lain dari algoritma *least square* dapat dituliskan sebagai

$$\hat{\theta}(t+1) = \hat{\theta}(t) + F(t) \varphi(t) \varepsilon(t+1) \dots (10)$$

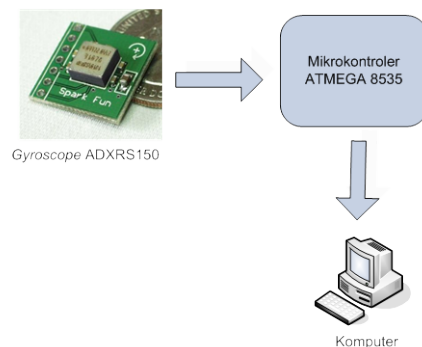
di mana

$$F(t+1) = F(t) - \frac{F(t) \varphi(t) \varphi^T(t) F(t)}{1 + \varphi^T(t) F(t) \varphi(t)} \dots\dots\dots (11)$$

III PERANCANGAN ALAT

3.1 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras pada alat pendeteksi sudut dengan menggunakan *gyroscope* ini meliputi perancangan sistem minimum mikrokontroler ATmega8535 dan perancangan pendeteksi sudut menggunakan sensor *gyroscope* ADXR150. Secara umum perancangan perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram blok perancangan pendeteksi rotasi dengan menggunakan *gyroscope*.

Tiap-tiap bagian dari diagram blok sistem pada Gambar 2 dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Sensor *gyroscope* ADXRS150 digunakan untuk mengetahui besarnya sudut suatu benda dalam 3 derajat kebebasan.
2. Mikrokontroler ATmega8535 digunakan untuk memproses data dan melakukan komunikasi serial dengan komputer.
3. Komputer digunakan untuk menampilkan data sudut dan tampilan berupa gambar 3 dimensi dengan menggunakan *visual C #*.

Ketika *gyroscope* dihubungkan dengan ADC *internal* mikrokontroler ATmega8535, maka data sensor akan dirubah kedalam bentuk digital 10 bit. ADC tersebut diatur untuk merubah tegangan analog dari 0 V sampai 5 V sehingga perubahan

tegangan per bit yaitu $\frac{5}{1023} = 4,88mV / bit$.

Dengan mengetahui perubahan tegangan per bit, maka dapat diketahui perubahan kecepatan sudut per bit yaitu $\frac{4,88}{12,5} = 0,3904^\circ / s / bit$. Artinya

setiap perubahan bit dalam ADC mewakili kecepatan sudut sebesar 0,3904 °/s.

3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Mikrokontroler Atmega8535 digunakan untuk membaca sinyal analog dari sensor *gyroscope*, kemudian mengubahnya menjadi data digital 10 bit dan mengolahnya dengan algoritma yang telah ditentukan kemudian mengirimkan hasil akhir data ke komputer.

3.2.1 Perancangan Kompensasi Faktor Skala dan Bias

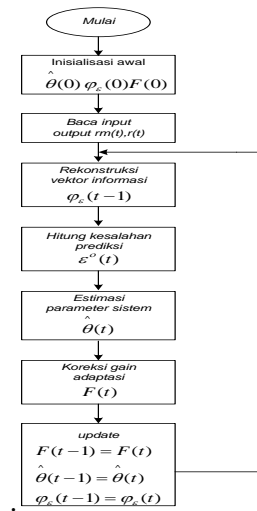
Dengan mengabaikan nilai w pada persamaan 2, maka didapatkan persamaan 12.

$$r(t) = s \bar{r}_m(t) + \bar{b} \dots\dots\dots (12)$$

Dalam bentuk matriks, maka

$$r(t) = \begin{bmatrix} s & \bar{b} \\ & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_m(t) \\ 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (13)$$

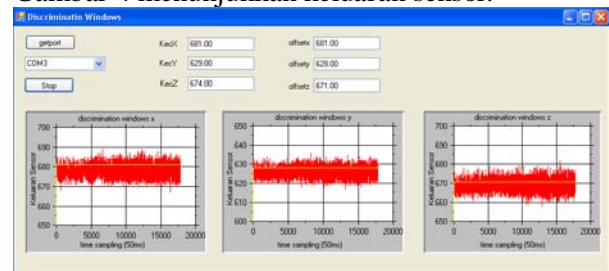
Dalam hal ini nilai parameter s dan b dapat dicari dengan metode estimasi parameter untuk mengetahui keluaran sebenarnya dari *gyroscope*. Salah satu metode estimasi yang dapat digunakan adalah metode *least square*. Gambar 3 merupakan *flowchart* prosedur dari algoritma *least square*.



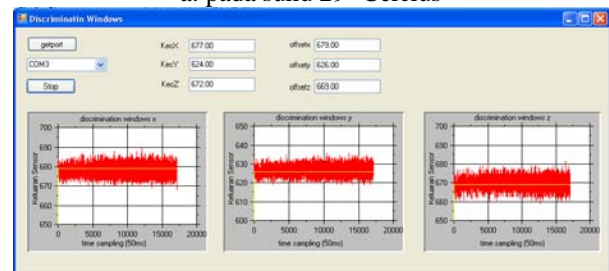
Gambar 3 Prosedur algoritma *least square*. Dari algoritma *least square* sesuai Gambar 3, dihasilkan nilai parameter s untuk poros *roll* sebesar 0,0231, poros *pitch* sebesar 0,0694, poros *yaw* sebesar 0,0173 dan b untuk poros *roll* sebesar 0,1582, poros *pitch* sebesar 0,3302, poros *yaw* sebesar 0,134.

3.2.2 Perancangan Discrimination Window

Ketika sensor dalam kondisi tidak bergerak sejumlah *error* kecil masih tampak pada sinyal keluaran. Oleh karena itu dibutuhkan metode yang dapat mengasumsikan sejumlah *error* kecil tadi sebagai tegangan *offset* yang konstan. Metode tersebut disebut dengan *discrimination window*. Dengan adanya *discrimination window*, maka daerah yang terletak antara data yang valid dengan data yang tidak valid akan mendapatkan perlakuan khusus. Gambar 4 menunjukkan keluaran sensor.



a. pada suhu 29° Celcius



b. pada suhu 33° Celcius

Gambar 4 Keluaran sensor *gyroscope*.

Dari Gambar 4 diberikan batas nilai, jika nilai keluaran sensor berada dalam batas yang diberikan, maka dianggap sensor dalam keadaan diam. Dari pengamatan, nilai maksimal adc poros *roll* dalam keadaan diam adalah 688 dan nilai minimalnya adalah 668. Untuk mengetahui berapa batas nilai yang diberikan, maka nilai *offset* dikurangkan pada nilai adc maksimal dan minimal yang terbaca. Jika nilai *offset* poros *roll* adalah 681, maka dibuat batas nilai antara -14 sampai 8. Begitu juga masing-masing pada poros *pitch* dan *yaw* dilakukan hal yang sama. Berikut adalah senarai program yang digunakan.

```

data_x = adc_x - (int)offsetx;
data_y = adc_y - (int)offsety;
data_z = adc_z - (int)offsetz;
if ((data_x <=8)&&(data_x >= -
14))
{data_x = 0;}
if ((data_y <=9)&&(data_y >= -
13))
{data_y = 0;}
if ((data_z <=9)&&(data_z >= -
12))
{data_z = 0;}

```

Variabel *data_x* merupakan keluaran sensor poros *roll*, *data_y* keluaran sensor poros *pitch*, dan *data_z* adalah keluaran sensor poros *yaw*.

3.2.3 Algoritma Integral Runge-Kutta

Fungsi integral digunakan untuk memperoleh nilai besaran sudut. Secara matematis, besaran sudut dapat diperoleh dengan mengintegrasikan kecepatan sudut sebanyak satu kali. Pada tugas akhir ini digunakan metode integral *Runge-Kutta* orde 2. Penerapan algoritma integral *Runge-Kutta* orde 2 untuk masing-masing poros putar pada mikrokontroler dapat dilihat pada *listing* program berikut.

```

velocityx[1]=(0.0231*data_x+0.1582)*s
ensitivity;
velocityy[1]=(0.0694*data_y+0.3302)*s
ensitivity;
velocityz[1]=(0.0173*data_z+0.134)*se
nsitivity;
//X integration:
sudutx[1] = sudutx[0] + velocityx[0]
+ ((velocityx[1] - velocityx[0])>>1);
//Y integration:
suduty[1] = suduty[0] + velocityy[0]
+ ((velocityy[1] - velocityy[0])>>1);
//Z integration:
sudutz[1] = sudutz[0] + velocityz[0]
+ ((velocityz[1] - velocityz[0])>>1);

```

3.2.4 Penentuan Faktor Kalibrasi

Faktor kalibrasi merupakan suatu konstanta yang digunakan untuk mengkalibrasi antara hasil integral dari kecepatan sudut dengan sudut sebenarnya. Faktor kalibrasi diperoleh dengan membandingkan antara sudut sebenarnya dengan sudut hasil pengolahan data dari *gyroscope*. Sudut sebenarnya diperoleh dengan menggunakan busur derajat.

❖ Poros *roll*

Hasil percobaan pengujian faktor kalibrasi pada poros *roll* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Pengujian faktor kalibrasi poros *roll*.

Percobaan	Sudut Sebenarnya (derajat)	Tanpa Kompensasi		Dengan Kompensasi	
		Sudut Terukur (derajat)	Faktor Kalibrasi	Sudut Terukur (derajat)	Faktor Kalibrasi
1	30	146,771	0,2044	4,178	71,805
2	45	167,66	0,2684	5,123	87,839
3	60	289,855	0,207	6,64	90,361
4	90	397,176	0,2265	10,79	83,407
Faktor kalibrasi rata-rata			0,2266		83,353

Dari Tabel 1 diperoleh faktor kalibrasi rata-rata pada poros *roll* tanpa kompensasi sebesar 0,2266 dan dengan kompensasi sebesar 8,3353.

❖ Poros *pitch*

Hasil percobaan pengujian faktor kalibrasi pada poros *pitch* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Pengujian faktor kalibrasi poros *pitch*.

Percobaan	Sudut Sebenarnya (derajat)	Tanpa Kompensasi		Dengan Kompensasi	
		Sudut Terukur (derajat)	Faktor Kalibrasi	Sudut Terukur (derajat)	Faktor Kalibrasi
1	30	145,984	0,2055	9,964	3,0108
2	45	213,486	0,2108	15,48	2,9069
3	60	250,522	0,2395	18,908	3,1732
4	90	411,712	0,2185	35,79	2,5147
Faktor kalibrasi rata-rata			0,2186		2,9014

Dari Tabel 2 diperoleh faktor kalibrasi rata-rata pada poros *pitch* tanpa kompensasi sebesar 0,2186 dan dengan kompensasi sebesar 2,9014.

❖ Poros *yaw*

Hasil percobaan pengujian faktor kalibrasi pada poros *yaw* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Pengujian faktor kalibrasi poros yaw.

Percobaan	Sudut Sebenarnya	Tanpa Kompensasi		Dengan Kompensasi	
	(derajat)	Sudut Terukur (derajat)	Faktor Kalibrasi	Sudut Terukur (derajat)	Faktor Kalibrasi
1	30	175,85	0,1706	3,724	8,0554
2	45	254,813	0,1766	5,568	8,0815
3	60	343,249	0,1748	8,547	7,0199
4	90	517,241	0,174	12,823	7,0188
Faktor kalibrasi rata-rata			0,174		7,7189

Dari Tabel 3 diperoleh faktor kalibrasi rata-rata pada poros yaw tanpa kompensasi sebesar 0,174 dan dengan kompensasi sebesar 7,7189.

IV PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian sudut dilakukan dengan menerapkan faktor kalibrasi yang didapat dari percobaan sebelumnya. Hasil pengujian yang didapat kemudian dibandingkan dengan sudut sebenarnya, sehingga didapat besaran *error*.

Tabel 4 Pengujian sudut poros roll.

Percobaan	Sudut sebenarnya (derajat)	RMSE (derajat) tanpa kompensasi	RMSE (derajat) dengan kompensasi
1	30	1,35780337	0,464671927
2	45	1,3625711	0,650899378
3	60	1,3058216	0,621594723
4	90	1,38606277	0,707516784
rata-rata rmse		1,35306471	0,611171

Dari Tabel 4 dapat diamati bahwa RMSE pada poros roll tanpa kompensasi sebesar 1,35306471 derajat dan dengan kompensasi sebesar 0,611171.

Tabel 5 Pengujian sudut poros pitch.

Percobaan	Sudut sebenarnya (derajat)	RMSE (derajat) tanpa kompensasi	RMSE (derajat) dengan kompensasi
1	30	1,579215	1,057232236
2	45	1,14384	0,638231933
3	60	1,28178	0,581412074
4	90	1,514133	0,426684895
rata-rata rmse		1,379742	0,67589

Dari Tabel 5 dapat diamati bahwa RMSE pada poros pitch tanpa kompensasi sebesar 1,379742 derajat dan dengan kompensasi sebesar 0,67589.

Tabel 6 Pengujian sudut poros yaw.

Percobaan	Sudut sebenarnya (derajat)	RMSE (derajat) tanpa kompensasi	RMSE (derajat) dengan kompensasi
1	30	1,297286	0,61452421
2	45	1,2164744	0,10761041
3	60	1,6888073	0,28307243
4	90	1,4059587	0,46144339
rata-rata rmse		1,4021316	0,366663

Dari Tabel 6 dapat diamati bahwa RMSE pada poros yaw tanpa kompensasi sebesar 1,4021316 derajat dan dengan kompensasi sebesar 0,366663.

Tabel 7 Pengujian sudut secara berurutan.

SUDUT	NILAI RMSE DENGAN KOMPENSASI			NILAI RMSE TANPA KOMPENSASI		
	ROLL	PITCH	YAW	ROLL	PITCH	YAW
		H		H		
30	23,63 112	7,400 327	3,657 535	14,74 733	13,83 772	3,280 619
45	21,84 482	41,76 317	18,40 01	15,14 488	53,66 22	1,118 544
60	28,62 921	62,74 856	13,41 848	23,33 848	76,88 879	10,48 961
90	18,08 739	168,1 757	10,21 154	14,55 005	190,5 353	8,788 569
rata-rata rmse	23,04 814	70,02 194	11,42 191	16,94 519	83,73 1	5,919 336

Dari Tabel 7 dapat diamati bahwa rata-rata RMSE pada pengujian secara berurutan dengan kompensasi pada poros yaw 11,42191, poros pitch 70,02194, dan poros roll 23,04814. Rata-rata RMSE pada pengujian secara berurutan tanpa kompensasi pada poros yaw 5,919336, poros pitch 83,731, dan poros roll 16,94519.

V PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

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

1. Nilai parameter sistem dari keluaran sensor *gyroscope* ADXRS150, yaitu kompensasi faktor skala untuk poros roll sebesar 0,0231, poros pitch sebesar 0,0694, poros yaw sebesar 0,0173 dan kompensasi bias untuk poros roll sebesar 0,1582, poros pitch sebesar 0,3302, poros yaw sebesar 0,134.
2. Faktor kalibrasi rata-rata pada poros roll tanpa kompensasi sebesar 0,2266 dan dengan kompensasi sebesar 8,3353, faktor kalibrasi rata-rata pada poros pitch tanpa kompensasi sebesar 0,2186 dan dengan kompensasi sebesar 2,9014, faktor kalibrasi rata-rata pada poros yaw tanpa kompensasi sebesar 0,174 dan dengan kompensasi sebesar 7,7189.
3. Nilai RMSE rata-rata pada pengujian sudut secara terpisah tanpa kompensasi untuk poros

roll sebesar 1,35306471 derajat, poros *pitch* sebesar 1,379742 derajat, dan poros *yaw* sebesar 1,4021316 derajat.

4. Nilai RMSE rata-rata pada pengujian sudut secara terpisah dengan kompensasi bias dan faktor skala untuk poros *roll* sebesar 0,611171 derajat, poros *pitch* sebesar 0,67589 derajat, dan poros *yaw* sebesar 0,366663 derajat.
5. Pada pengujian sudut secara terpisah dengan kompensasi bias dan faktor skala menghasilkan nilai RMSE rata-rata yang lebih kecil dibandingkan dengan tanpa adanya kompensasi.
6. Nilai RMSE rata-rata pada pengujian sudut secara berurutan tanpa kompensasi untuk poros *roll* sebesar 16,94519 derajat, poros *pitch* sebesar 83,731 derajat, dan poros *yaw* sebesar 5,919336 derajat.
7. Nilai RMSE rata-rata pada pengujian sudut secara berurutan dengan kompensasi untuk poros *roll* sebesar 23,04814 derajat, poros *pitch* sebesar 70,02194 derajat, dan poros *yaw* sebesar 11,42191 derajat.

5.2 SARAN

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

1. Pemrograman integral dapat dikembangkan dengan berbagai variasi metode pengintegralan.
2. Aplikasi *gyroscope* sebagai pendeteksi sudut dapat dikembangkan dengan perancangan instrumentasi yang dapat dibawa ke mana-mana (*portable*).
3. Untuk mengkompensasi keluaran *gyroscope*, dapat digunakan metode pengkompensasian yang lain.
4. Sensor *gyroscope* ADXRS150 memiliki tingkat sensitivitas yang sangat tinggi, sehingga segala hal yang memungkinkan terjadinya *error* pada sinyal keluaran perlu diminimalisasi, seperti kestabilan tegangan masukan dan koneksi antar komponen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aboshosha, Ashraf, *Employing a Recurrent Linear Model to Guide Mobile Robots Adaptively*, Computer Science Dept. (WSI), University of Tübingen, ubingen, Germany.
- [2] Heryanto, M.Ary dan Wianu Adi P., *Pemrograman Bahasa C untuk mikrokontroler ATMEGA8535*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2008.
- [3] Kyung, Sung Hong dan Sungsu Park, *Minimal-Drift Heading Measurement Using a MEMS Gyro for Indoor Mobile Robots*, Dept. of Aerospace Engineering, Sejong University, Seoul, 2008.

- [4] Mubarak, Asep, *Pendeteksi Rotasi Menggunakan Gyroscope Berbasis Mikrokontroler ATmega8535*, Tugas Akhir Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2009.
- [5] Priyadarshan, Pradosh dan Biswa Ranjan Mundari, *Serial Communication by Using UART*, Department of Electronics and Communication Engineering National Institute of Technology Rourkela.
- [6] Riyadi, Muhammad, *Aplikasi Filter Digital pada Pendeteksi Posisi*, Tugas Akhir Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2011.
- [7] Tjokronegoro, Harijono, *Identifikasi Parameter Sistem*, Teknik Fisika Institut Teknologi Bandung, 1996.
- [8] -----, *ADXRS150 Data Sheet*, <http://www.analog.com>, Maret 2004.
- [9] -----, *ATmega8535 Data Sheet*, <http://www.atmel.com>, Maret 2004.
- [10] -----, *Komunikasi USART AVR*, <http://www.PayZtronics.blogspot.com>, Agustus 2009.
- [11] -----, *New iMEMS Angular-Rate-Sensing Gyroscope*, <http://www.analog.com>, 2003.
- [12] -----, *Using Absolute Output iMEMS® Gyroscopes with Ratiometric ADCs*, <http://www.analog.com>, 2005.
- [13] -----, *Pengenalan C#*, <http://www.openit.net>, Januari 2010.
- [14] -----, *YLScsDrawing3d Library*, <http://www.codeproject.com>, Juni 2009.



M. Hasim As'ari
L2F005552

Lahir di Kendal pada tanggal 20 Februari 1987. Saat ini sedang berjuang untuk mendapatkan gelar sebagai Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas

Diponegoro Semarang konsentrasi bidang kontrol dan otomatisasi.

Mengetahui dan mengesahkan,
Pembimbing I Pembimbing II

Wahyudi, ST., MT. Iwan Setiawan, ST., MT.
NIP.196906121994031001 NIP.197309262000121001

Tanggal: _____ Tanggal: _____