

## Makalah Seminar Tugas Akhir

# Pendeteksi Rotasi Menggunakan *Gyroscope* Berbasis Mikrokontroler ATmega8535

Asep Mubarak<sup>[1]</sup>, Wahyudi, S.T, M.T<sup>[2]</sup>, Iwan Setiawan, S.T, M.T<sup>[2]</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

### Abstrak

Dalam suatu sistem navigasi dibutuhkan ketepatan dalam penentuan keberadaan dan pergerakan suatu benda. Salah satu bagian penting dalam sistem navigasi adalah pendeteksi rotasi. Banyak sekali instrumen yang dapat digunakan untuk mendeteksi rotasi dan salah satunya adalah sensor *gyroscope*. Sensor *gyroscope* memiliki kelebihan yaitu sensor ini tidak bersentuhan langsung secara fisik dengan lingkungan sekitar sehingga sangat cocok digunakan pada benda yang bergerak bebas.

Pada tugas akhir ini dilakukan perancangan dan pembuatan sistem pendeteksi rotasi menggunakan *gyroscope* berbasis mikrokontroler ATmega 8535 untuk mendeteksi sudut rotasi dari ketiga poros putar. Data berupa sudut diperoleh dari hasil integral terhadap keluaran *gyroscope* yang berupa sinyal kecepatan sudut. Selain itu digunakan filter digital berupa filter eksponensial dan filter Kalman untuk mengurangi noise dari sinyal keluaran *gyroscope*. Hasil dari kedua filter tersebut kemudian dibandingkan untuk mendapatkan hasil deteksi sudut dengan error terkecil.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada poros yaw dan poros pitch serta poros roll untuk putaran searah jarum jam didapatkan bahwa nilai sudut dengan error terkecil diperoleh dari sistem yang menggunakan filter eksponensial.

Kata kunci : rotasi, *gyroscope*, mikrokontroler ATmega 8535, filter

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Peranan elektronika di segala bidang menjadi semakin besar di abad ke-21 ini. Bermula dari penerapan rangkaian elektronika analog, kemudian digital dan kini hampir semua peralatan menggunakan sistem mikroprosesor.

Pada tugas akhir ini mikroprosesor digunakan untuk melakukan akuisisi data rotasi dengan memanfaatkan sensor *gyroscope* yang dijual bebas dipasaran. Banyak sekali sensor yang dapat digunakan untuk mendeteksi besaran sudut rotasi, namun pada tugas akhir ini digunakan sensor *gyroscope*. Hal ini dikarenakan sensor *gyroscope* memiliki kelebihan dibandingkan dengan sensor yang lain yaitu sensor ini tidak bersentuhan langsung secara fisik dengan lingkungan sekitar sehingga sangat cocok digunakan pada benda yang bergerak bebas.

Penentuan besaran sudut rotasi dapat dikembangkan menjadi sistem navigasi, yang mana dengan adanya sistem navigasi ini dapat diketahui keberadaan suatu benda bergerak secara tepat. Sistem navigasi biasa digunakan pada benda yang bergerak bebas seperti *mobile robot*, kendaraan bermotor, roket kendali dan lain-lain.

Mikrokontroler ATmega8535 diterapkan sebagai pusat pengolahan data untuk mendeteksi

besaran sudut rotasi. Mikrokontroler ini dipilih karena memiliki fitur-fitur yang cukup lengkap dan harga yang relatif terjangkau. Selain itu pemrograman mikrokontroler ini lebih fleksibel, yaitu dapat menggunakan bahasa tingkat rendah (*Assembly*) maupun bahasa tingkat tinggi (Bahasa C). Dengan fitur yang lengkap dan bahasa pemrograman yang mudah maka waktu implementasi akan lebih singkat dan penelusuran kesalahan akan menjadi lebih mudah, sehingga pengembangan lebih lanjut akan sangat mungkin dilakukan.

### 1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah merancang dan membuat sistem instrumentasi untuk mendeteksi sudut rotasi dengan menggunakan sensor *gyroscope* berbasis mikrokontroler ATmega 8535 dan antar muka komputer.

### 1.3 Pembatasan Masalah

Dalam pembuatan tugas akhir ini penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Pembuatan sistem instrumentasi ini menggunakan 3 buah sensor *gyroscope* yang masing-masing memiliki 1 derajat kebebasan.
2. Perangkat lunak *Borland Delphi 7.0* digunakan untuk membuat program

<sup>1</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP

<sup>2</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNDIP

monitoring sinyal keluaran sensor *gyroscope* dan penghitung sudut rotasi.

3. Dalam pemrosesan sinyal digunakan filter digital untuk mengurangi *noise*.
4. Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler ATmega 8535.
5. Perangkat lunak yang digunakan untuk memprogram mikrokontroler adalah *Code Vision AVR*.
6. Bahasa pemrograman pada mikrokontroler ATmega8535 menggunakan bahasa C standar ANSI.

## II. DASAR TEORI

### 2.1 Sensor Gyroscope

Secara umum hasil pengukuran kecepatan sudut sebuah benda dengan menggunakan sensor *gyroscope* pada sumbu horisontal dapat dinyatakan dengan persamaan (2.1)

$$\dot{\theta}_T(t) = \dot{\theta}(t) + n(t) + b(t) \dots\dots\dots(1)$$

Sinyal keluaran *gyroscope* secara umum mengandung sinyal kecepatan sudut ( $\dot{\theta}(t)$ ), *random noise* ( $n(t)$ ), dan *noise* karena perubahan temperatur ( $b(t)$ ).

Perubahan besaran sudut diperoleh dengan mengintegrasikan persamaan 1. Persamaan perubahan besaran sudut ditulis menjadi persamaan 2.

$$\theta_T(t) = \int (\dot{\theta}(t) + n(t) + b(t))dt \dots\dots\dots(2)$$

Persamaan 2 dapat ditulis kembali dengan sebuah parameter kalibrasi secara sederhana menjadi persamaan 3

$$\theta_T(t) = K \int (\dot{\theta}(t))dt \dots\dots\dots(3)$$

### 2.2 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 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 Mikrokontroler AVR ATmega8535

AVR (*Alf and Vegard's Risc Processor*) merupakan seri mikrokontroler CMOS 8-bit buatan Atmel, berbasis arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computer*). Hampir semua instruksi dieksekusi dalam satu siklus *clock*, berbeda dengan instruksi MCS51 yang membutuhkan 12 siklus *clock*. AVR mempunyai 32 register serbaguna, *Timer/Counter* fleksibel dengan mode *compare*, *interrupt* internal dan eksternal, serial UART, *programmable Watchdog Timer*, dan mode *power saving*. Beberapa di antaranya mempunyai ADC dan PWM internal. AVR juga mempunyai *In-System Programmable Flash on-chip* yang memungkinkan memori program untuk diprogram ulang dalam sistem menggunakan hubungan serial SPI. Susunan kaki ATmega8535 ditunjukkan pada Gambar 1.

(XCK/T0) PB0	1	40	PA0 (ADC0)
(T1) PB1	2	39	PA1 (ADC1)
(INT2/AIN0) PB2	3	38	PA2 (ADC2)
(OC0/AIN1) PB3	4	37	PA3 (ADC3)
(SS) PB4	5	36	PA4 (ADC4)
(MOSI) PB5	6	35	PA5 (ADC5)
(MISO) PB6	7	34	PA6 (ADC6)
(SCK) PB7	8	33	PA7 (ADC7)
RESET	9	32	AREF
VCC	10	31	GND
GND	11	30	AVCC
XTAL2	12	29	PC7 (TOSC2)
XTAL1	13	28	PC6 (TOSC1)
(RXD) PD0	14	27	PC5
(TXD) PD1	15	26	PC4
(INT0) PD2	16	25	PC3
(INT1) PD3	17	24	PC2
(OC1B) PD4	18	23	PC1 (SDA)
(OC1A) PD5	19	22	PC0 (SCL)
(ICP) PD6	20	21	PD7 (OC2)

Gambar 1 Susunan kaki ATmega8535  
Penjelasan dari masing-masing pin adalah sebagai berikut:

- a. VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai pin masukan catu daya.
- b. GND merupakan pin *ground*.
- c. *Port A* (PA7...PA0) merupakan terminal masukan analog menuju *A/D Converter*. *Port* ini juga berfungsi sebagai *port I/O* 8 bit dua arah (*bidirectional*), jika *A/D Converter* tidak diaktifkan.
- d. *Port B* (PB7...PB0) merupakan *port I/O* 8 bit dua arah (*bidirectional*) dengan resistor *pull-up* internal. *Port B* juga dapat berfungsi sebagai terminal khusus yaitu *Timer/Counter*, komparator analog, dan SPI.
- e. *Port C* (PC7..PC0) merupakan *port I/O* 8 bit dua arah (*bidirectional*) dengan resistor *pull-up* internal. *Port C* juga dapat berfungsi sebagai terminal khusus yaitu komparator analog, dan *Timer Oscillator*.
- f. *Port D* (PD7...PD0) adalah merupakan *port I/O* 8 bit dua arah (*bidirectional*) dengan resistor *pull-up* internal. *Port D* juga dapat berfungsi sebagai terminal khusus yaitu

komparator analog, interupsi eksternal, dan komunikasi serial.

- g. RESET merupakan pin yang digunakan untuk me-reset mikrokontroler.
- h. XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan clock eksternal.
- i. AVCC merupakan pin masukan tegangan untuk ADC.
- j. AREF merupakan pin masukan tegangan referensi ADC.

**2.4 FILTER**

Pada pemrosesan sinyal, filter merupakan alat yang digunakan untuk memisahkan sinyal yang diinginkan dari sinyal yang tidak diinginkan seperti derau. Prinsip kerja filter adalah melewatkan sinyal yang dikehendaki dan menahan sinyal lainnya yang tidak dikehendaki berdasarkan frekuensinya.

**2.4.1 FILTER KALMAN**

Filter Kalman digunakan untuk menyelesaikan permasalahan estimasi *state* pada suatu proses yang dapat dinyatakan dalam persamaan deferensial. Hubungan antara kecepatan sudut (*u*) dan sudut (*x*) serta noise (*w*) pada filter Kalman diperlihatkan pada persamaan 6.

$$x_{k+1} = x_k + Tu_k + w_k \dots\dots\dots(6)$$

Persamaan 6 dapat diobservasi dengan model pengukuran yang memetakan *state* *x* ke keluaran *y* seperti dituliskan pada persamaan 7.

$$y_k = x_k + v_k \dots\dots\dots(7)$$

Noise proses (*w*) dan noise pengukuran (*v*) merupakan noise yang saling bebas. Nilai estimasi *state*  $\hat{x}_k$  pada filter Kalman ditentukan dari estimasi *posteriori*  $\hat{x}_k^-$  serta selisih antara pengukuran sebenarnya *y<sub>k</sub>* dan estimasi pengukuran  $H\hat{x}_k^-$  seperti pada persamaan 8.

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(y_k - H\hat{x}_k^-)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(H_k x_k + v_k - H\hat{x}_k^-) \dots\dots\dots (8)$$

Selisih nilai antara pengukuran sebenarnya *y<sub>k</sub>* dan estimasi pengukuran disebut sebagai *residual* atau pengukuran *innovation*. Jika nilai *residual* adalah nol, maka hal itu menunjukkan bahwa hasil estimasi sama dengan hasil pengukuran. Nilai *K<sub>k</sub>* adalah faktor *gain* pada filter Kalman.

Pada filter Kalman dipilih nilai *K<sub>k</sub>* sehingga estimasi *posteriori* adalah optimal atau mempunyai *error* yang minimum. Nilai *P<sub>k</sub>* minimum diperoleh jika nilai *K<sub>k</sub>* dapat menyediakan estimasi yang mempunyai *covariance* minimum. Penyelesaian untuk

mendapatkan *P<sub>k</sub>* minimum ditunjukkan pada persamaan 9.

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^- \dots\dots\dots (9)$$

Nilai estimasi *priori* diberikan pada persamaan 10 yang diperoleh dengan menghilangkan *noise* *w<sub>k</sub>*

$$\hat{x}_{k+1}^- = A_k \hat{x}_k + B_k u_k \dots\dots\dots(10)$$

Nilai *covariance* dari *error* diberikan pada persamaan 11

$$P_{k+1}^- = A_k P_k A_k^T + Q_k \dots\dots\dots(11)$$

**2.4.2 FILTER EKSPONENSIAL**

Filter eksponensial merupakan filter linier rekursif sederhana. Filter eksponensial secara umum digunakan dalam analisis kawasan waktu. Persamaan filter eksponensial orde 2 dapat dilihat pada Persamaan 12.

$$y(n) = (1 - a)(x_n + a.x_{(n-1)}) + a.y_{(n-2)}^2 \dots\dots\dots (12)$$

Secara umum parameter *a* dapat ditentukan dengan persamaan 13.

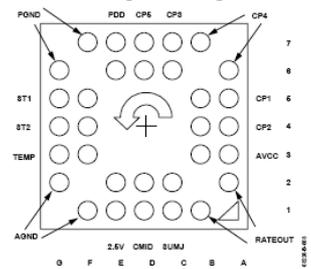
$$a = \frac{1}{(1 + 2\pi \cdot \frac{f_c}{f_s})} \dots\dots\dots(13)$$

Di sini *f<sub>c</sub>* adalah frekuensi *cut off* dan *f<sub>s</sub>* adalah frekuensi *sampling*.

**2.5 ADXRS150**

*Gyroscope* ADXRS150 dari Analog Device, merupakan *gyroscope* elektrik yang memiliki skala 150 °/s. ADXRS150 merupakan sensor kecepatan sudut dengan komponen elektronik terintegrasi yang di jual secara komersil. Sensor ini berukuran kecil dengan konsumsi daya rendah dan memiliki ketahanan yang baik terhadap guncangan dan getaran. Sensor ini merupakan terobosan baru yang menggabungkan sistem elektrik dan mekanik atau yang biasa disebut *integrated micro electro-mechanical system* (iMEMS).

Tegangan masukan untuk ADXRS150 adalah tegangan DC 5 volt sedangkan tegangan keluarannya adalah antara 0,25 sampai 4,75 volt. ADXRS150 memiliki sejumlah kaki yang masing-masing memiliki fungsi tertentu. Susunan kaki-kaki ADXRS150 ditunjukkan pada Gambar 2.

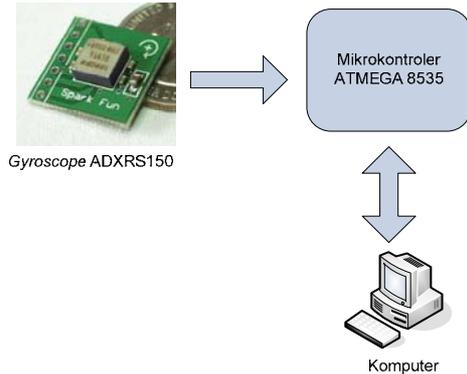


Gambar 2 Susunan kaki ADXRS150

### III. PERANCANGAN ALAT

#### 3.1 Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Perancangan perangkat keras pada alat pendeteksi rotasi dengan menggunakan *gyroscope* ini meliputi perancangan sistem minimum mikrokontroler ATmega8535 dan perancangan sensor *gyroscope* ADXRS150. Secara umum perancangan perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram blok perancangan pendeteksi rotasi dengan menggunakan *gyroscope*

Tiap-tiap bagian dari diagram blok sistem pada Gambar 3 dapat dijelaskan sebagai berikut :

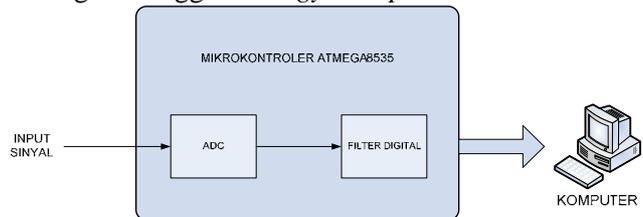
1. Sensor *gyroscope* ADXRS150 digunakan untuk memperoleh besaran kecepatan sudut dari ketiga poros putar.
2. Mikrokontroler ATmega 8535 digunakan menerima data dari sensor, mengubahnya menjadi data digital, memfilter data secara digital dan melakukan komunikasi serial dengan komputer.
3. Komputer digunakan untuk mengolah data digital kecepatan sudut menjadi besaran sudut dan menampilkan kedalam grafik.

Pada tugas akhir ini digunakan 3 buah sensor *gyroscope* ADXRS150 yang masing diletakkan pada ketiga poros putar (poros *roll*, *pitch* dan *yaw*). Sensor *gyroscope* ADXRS150 yang memiliki nilai kepekaan  $12,5 \text{ mV}/^\circ/\text{s}$  beroperasi pada tegangan 5 volt. Keluaran sensor ini berupa tegangan analog yang merepresentasikan besaran kecepatan sudut.

Data sensor akan dirubah kedalam bentuk digital 8 bit dengan nilai referensi 5 volt sehingga perubahan tegangan per bit yaitu  $\frac{5}{255} = 19,6 \text{ mV} / \text{bit}$ . Dengan mengetahui perubahan tegangan per bit, maka dapat diketahui perubahan kecepatan sudut per bit yaitu  $\frac{19,6}{12,5} = 1,568^\circ / \text{s} / \text{bit}$ .

#### 3.2 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

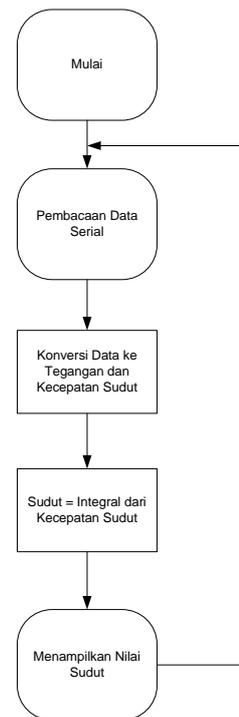
Perancangan perangkat lunak merupakan perancangan algoritma program untuk merealisasikan sistem pendeteksi rotasi dengan menggunakan *gyroscope*. Perancangan perangkat lunak pada pendeteksi rotasi meliputi perancangan ADC, perancangan sistem dengan filter eksponensial dan perancangan sistem dengan filter Kalman. Gambar 4 merupakan diagram skematik perancangan sistem pendeteksi rotasi dengan menggunakan *gyroscope*.



Gambar 4 Perancangan perangkat lunak sistem pendeteksi rotasi

##### 3.2.1 Perancangan sistem dengan filter eksponensial

Pada sistem ini digunakan filter eksponensial untuk menghilangkan *random noise* yang ada pada keluaran sensor *gyroscope*. Pada tugas akhir ini digunakan filter eksponensial orde dua dengan nilai konstanta  $a$  sebesar 0,9. Nilai konstanta  $a$  diperoleh dengan menggunakan persamaan 13. Filter eksponensial tersebut diaplikasikan pada mikrokontroler ATmega8535. Secara umum diagram alir perancangan program pada Delphi 7.0 dapat dilihat pada Gambar 5.



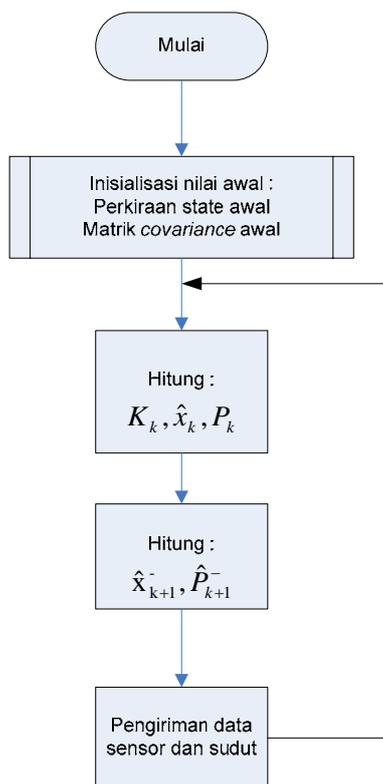
Gambar 5 Diagram alir program pada Delphi 7.0

Tampilan respon keluaran sensor *gyroscope* serta algoritma menghitung dan menampilkan nilai besaran sudut dari ketiga poros sensor diterapkan pada program akuisisi menggunakan bantuan perangkat lunak Borland Delphi 7.0.

### 3.2.2 Perancangan sistem dengan filter Kalman

Filter Kalman yang diaplikasikan pada mikrokontroler ATmega8535 tidak hanya menghilangkan *random noise* tetapi filter ini juga menghitung nilai besaran sudut dengan mengintegrasikan sinyal masukan filter. Tampilan respon keluaran sensor *gyroscope* serta tampilan nilai besaran sudut dari ketiga poros sensor diterapkan pada program akuisisi menggunakan bantuan perangkat lunak Borland Delphi 7.0.

Berdasarkan hubungan antara proses, pengukuran, dan filter Kalman, maka dapat dibuat diagram alir program seperti pada Gambar 6.



Gambar 6 Diagram alir program filter Kalman

### 3.2.3 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 pembacaan *gyroscope*.

Penentuan faktor kalibrasi dilakukan pada masing-masing poros putar dan pada tiap-tiap

poros ditentukan faktor kalibrasi untuk putaran searah jarum jam dan faktor kalibrasi untuk putaran berlawanan arah jarum jam.

#### A. Faktor kalibrasi sistem dengan filter eksponensial

Tabel 1 Faktor kalibrasi poros *roll* untuk putaran searah jarum jam dengan filter eksponensial.

Percobaan	Sudut tercatat (°)	Sudut sebenarnya (°)	Faktor kalibrasi
1	26,258	30	1,14340787
2	53,614	60	1,119466918
3	75,888	90	1,186040992
4	101,896	120	1,177793708
5	128,280	150	1,169628877
6	154,883	180	1,16245326
Faktor kalibrasi rata-rata			1,159798604

Tabel 2 Faktor kalibrasi poros *roll* untuk putaran berlawanan arah jarum jam dengan filter eksponensial.

Percobaan	Sudut tercatat (°)	Sudut sebenarnya (°)	Faktor kalibrasi
1	-20,705	-30	1,450324096
2	-44,579	-60	1,346684173
3	-67,104	-90	1,342760622
4	-90,774	-120	1,322143389
5	-118,14	-150	1,269704955
6	-142,20	-180	1,265777083
Faktor kalibrasi rata-rata			1,332899053

Dari Tabel 1 dan Tabel 2 diperoleh faktor kalibrasi rata-rata pada poros *roll* untuk putaran searah jarum jam sebesar 1,159798604, sedangkan faktor kalibrasi rata-rata pada poros *roll* untuk putaran berlawanan arah jarum jam sebesar 1,332899053.

Dengan cara yang sama seperti penentuan faktor kalibrasi pada poros *roll*, maka diperoleh faktor kalibrasi pada poros *pitch* untuk putaran searah jarum jam sebesar 1,245295218 dan sebesar 1,157582917 untuk putaran berlawanan arah jarum jam. Pada poros *yaw* faktor kalibrasi untuk putaran searah jarum jam sebesar 1,19794463 dan sebesar 1,250487313 untuk putaran berlawanan arah jarum jam.

## B. Faktor kalibrasi sistem dengan filter Kalman

Tabel 3 Faktor kalibrasi poros *roll* untuk putaran searah jarum jam dengan filter Kalman.

Percobaan	Sudut tercatat (°)	Sudut sebenarnya (°)	Faktor kalibrasi
1	39,42	30	0,762869503
2	79,22	60	0,757668728
3	121,12	90	0,743142442
4	159,08	120	0,754664604
5	197,54	150	0,759530815
6	237,64	180	0,757522117
Faktor kalibrasi rata-rata			0,755899702

Tabel 4 Faktor kalibrasi poros *roll* untuk putaran berlawanan arah jarum jam dengan filter Kalman.

Percobaan	Sudut tercatat (°)	Sudut sebenarnya (°)	Faktor kalibrasi
1	-43,8	-30	0,6857519
2	-89,62	-60	0,6702009
3	-132,3	-90	0,6803134
4	-175,62	-120	0,6833379
5	-217	-150	0,6913194
6	-257,7	-180	0,6986393
Faktor kalibrasi rata-rata			0,6849271

Dari Tabel 1 dan Tabel 2 diperoleh faktor kalibrasi rata-rata pada poros *roll* untuk putaran searah jarum jam sebesar 0,755899702, sedangkan faktor kalibrasi rata-rata pada poros *roll* untuk putaran berlawanan arah jarum jam sebesar 0,6849271.

Dengan cara yang sama seperti penentuan faktor kalibrasi pada poros *roll*, maka diperoleh faktor kalibrasi pada poros *pitch* untuk putaran searah jarum jam sebesar 0,730759656 dan sebesar 0,652173749 untuk putaran berlawanan arah jarum jam. Pada poros *yaw* faktor kalibrasi untuk putaran searah jarum jam sebesar 0,792797848 dan sebesar 0,766366799 untuk putaran berlawanan arah jarum jam.

## IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

### 4.1 Pengujian Perangkat Keras

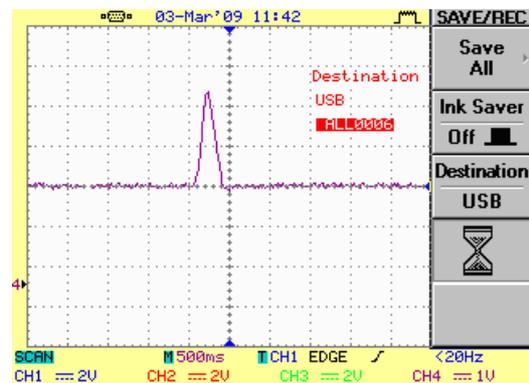
#### 4.1.1 Karakteristik Gyroscope ADXRS150

Pada pengujian karakteristik *gyroscope* ADXRS150 dilakukan pengujian tegangan *offset* dan pengujian respon keluaran sensor. Pengujian tegangan *offset* dilakukan dengan cara mengukur tegangan *offset* menggunakan multimeter.

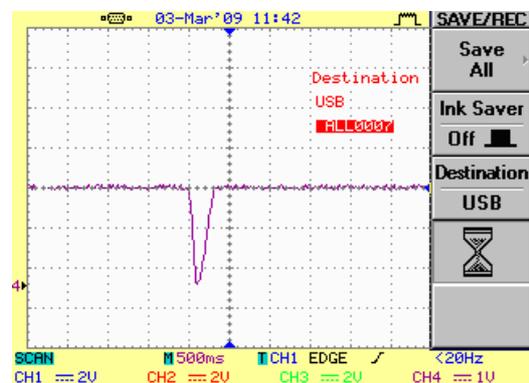
Tabel 5 Hasil pengujian tegangan *offset*

No.	$V_{\text{offset}}$ Poros <i>roll</i> (volt)	$V_{\text{offset}}$ Poros <i>pitch</i> (volt)	$V_{\text{offset}}$ Poros <i>yaw</i> (volt)
1	2,55	2,38	2,54
2	2,54	2,37	2,55
3	2,55	2,39	2,55
4	2,56	2,38	2,53
5	2,54	2,39	2,54
6	2,56	2,37	2,55
7	2,55	2,38	2,53
8	2,54	2,37	2,55
9	2,55	2,37	2,54
10	2,56	2,38	2,54
Jumlah	25,5	23,78	25,42
Rata-rata	2,55	2,378	2,542

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa tegangan *offset* rata-rata untuk poros *roll* sebesar 2,55, poros *pitch* sebesar 2,378 dan poros *yaw* sebesar 2,542. Tegangan *offset* rata-rata sumbu x dan sumbu z sudah sesuai dengan tegangan *offset* ideal yaitu sebesar 2,5 volt, sedangkan pada sumbu y terdapat selisih tegangan dengan tegangan *offset* ideal yaitu sebesar 0,122 volt.



a. putaran searah jarum jam



b. putaran berlawanan arah jarum jam

Gambar 7 Respon keluaran sensor *gyroscope* ADXRS150

Dari Gambar 7 terlihat bahwa bila putaran searah jarum jam maka keluaran tegangan analog sensor lebih besar dari tegangan *offset* sedangkan untuk

putaran berlawanan arah jarum jam maka keluaran tegangan analog lebih rendah dari tegangan *offset*.

## 4.2 Pengujian Perangkat Lunak

### 4.2.1 Pengujian Sudut dengan filter eksponensial

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

#### A. Pengujian Poros Roll

Tabel 6 Hasil pengujian sudut poros *roll* untuk putaran searah jarum jam dengan filter eksponensial

No	Sudut tercatat (°)	Sudut sebenarnya (°)	Error sudut (°)	Persentase Error (%)
1	10,424	10	0,42436	4,243
2	20,157	20	0,157402	0,787
3	30,181	30	0,181525	0,605
4	59,708	60	0,291884	0,486
5	89,289	90	0,710715	0,789
6	108,97	110	1,026321	0,933
7	139,38	140	0,617388	0,440
8	178,81	180	1,184926	0,658
Error rata-rata			0,574315	1,118

Tabel 7 Hasil pengujian sudut poros *roll* untuk putaran berlawanan arah jarum jam dengan filter eksponensial

No	Sudut tercatat (°)	Sudut sebenarnya (°)	Error sudut (°)	Persentase Error (%)
1	-9,743	-10	0,25694	2,569398
2	-19,94	-20	0,053907	0,269534
3	-30,25	-30	0,253666	0,845552
4	-60,59	-60	0,590962	0,984937
5	-90,86	-90	0,865536	0,961707
6	-116,9	-110	6,895815	6,268923
7	-149,0	-140	9,010279	6,435914
8	-191,3	-180	11,32778	6,293209
Error rata-rata			3,65686	3,078647

Dari Tabel 6 dan Tabel 7 dapat diamati bahwa *error* rata-rata pada poros *roll* untuk putaran searah jarum jam dengan menggunakan filter eksponensial sebesar 1,118019 % dengan tingkat kesalahan sudut 0,157402 ° – 1,184926 °. Untuk putaran berlawanan arah jarum jam *error* rata-rata sebesar 3,078647 % dengan tingkat kesalahan sudut 0,053907 ° – 11,32778 °.

#### B. Pengujian Poros Pitch

Dengan cara yang sama seperti pengujian sudut pada poros *roll*, maka diperoleh hasil pengujian sudut poros *pitch* dengan *error* rata-rata untuk putaran searah jarum jam menggunakan

filter eksponensial sebesar 0,784082 % serta tingkat kesalahan sudut 0,022043° – 1,365393°. Untuk putaran berlawanan arah jarum jam *error* rata-rata sebesar 0,958931 % dengan tingkat kesalahan sudut 0,130344° – 3,687319°.

#### C. Pengujian Poros Yaw

Dengan cara yang sama seperti pengujian sudut pada poros *roll*, maka diperoleh hasil pengujian sudut poros *yaw* dengan *error* rata-rata untuk putaran searah jarum jam menggunakan filter eksponensial sebesar 1,74794 % serta tingkat kesalahan sudut 0,044001° – 5,676269°. Untuk putaran berlawanan arah jarum jam *error* rata-rata sebesar 1,620241 % dengan tingkat kesalahan sudut 0,094352° – 4,951193°.

### 4.2.2 Pengujian Sudut dengan filter Kalman

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

#### A. Pengujian Poros Roll

Tabel 8 Hasil pengujian sudut poros *roll* untuk putaran searah jarum jam dengan filter Kalman

No	Sudut tercatat (°)	Sudut sebenarnya (°)	Error sudut (°)	Persentase Error (%)
1	9,96	10	0,04	0,4
2	20,06	20	0,06	0,3
3	30,81	30	0,81	2,7
4	62,27	60	2,27	3,783333
5	93,34	90	3,34	3,711111
6	118,96	110	8,96	8,145455
7	151,2	140	11,2	8
8	193,66	180	13,66	7,588889
Error rata-rata			5,0425	4,328598

Tabel 9 Hasil pengujian sudut poros *roll* untuk putaran berlawanan arah jarum jam dengan filter Kalman

No	Sudut tercatat (°)	Sudut sebenarnya (°)	Error sudut (°)	Persentase Error (%)
1	-10,25	-10	0,25	2,5
2	-21,02	-20	1,02	5,1
3	-31,17	-30	1,17	3,9
4	-62,26	-60	2,26	3,766667
5	-93,26	-90	3,26	3,622222
6	-108,1	-110	1,86	1,690909
7	-138,7	-140	1,3	0,928571
8	-177,3	-180	2,67	1,483333
Error rata-rata			1,72375	2,873963

Dari Tabel 8 dan Tabel 9 dapat diamati bahwa *error* rata-rata pada poros *roll* untuk putaran

searah jarum jam dengan menggunakan filter Kalman sebesar 4,328598 % dengan tingkat kesalahan sudut  $0,04^\circ - 13,66^\circ$ . Untuk putaran berlawanan arah jarum jam, *error* rata-rata sebesar 2,873963 % dengan tingkat kesalahan sudut  $0,25^\circ - 3,26^\circ$ .

### B. Pengujian Poros *Pitch*

Dengan cara yang sama seperti pengujian sudut pada poros *roll*, maka diperoleh hasil pengujian sudut poros *pitch* dengan *error* rata-rata untuk putaran searah jarum jam menggunakan filter Kalman sebesar 5,086806 % serta tingkat kesalahan sudut  $0,01^\circ - 7,96^\circ$ . Untuk putaran berlawanan arah jarum jam menggunakan filter Kalman, *error* rata-rata sebesar 7,680655 % dengan tingkat kesalahan sudut  $0,88^\circ - 11,57^\circ$ .

### C. Pengujian Poros *Yaw*

Dengan cara yang sama seperti pengujian sudut pada poros *roll*, maka diperoleh hasil pengujian sudut poros *yaw* dengan *error* rata-rata untuk putaran searah jarum jam menggunakan filter Kalman sebesar 5,074423 % serta tingkat kesalahan sudut  $0,7^\circ - 4,64^\circ$ . Untuk putaran berlawanan arah jarum jam menggunakan filter Kalman, *error* rata-rata sebesar 5,414692 % dengan tingkat kesalahan sudut  $0,38^\circ - 8,01^\circ$ .

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

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

1. Ketika gyroscope diputar searah jarum jam maka tegangan keluarannya lebih besar dari tegangan *offset*. Ketika gyroscope diputar berlawanan arah jarum jam maka tegangan keluarannya lebih kecil dari tegangan *offset*.
2. Hasil sudut terbaik pada poros *roll* untuk putaran searah jarum jam adalah hasil sudut dari sistem dengan filter eksponensial dengan *error* sebesar 1,118019 %, sedangkan untuk putaran berlawanan arah jarum jam adalah hasil sudut dari sistem dengan filter Kalman dengan *error* sebesar 2,873963 %.
3. Hasil sudut terbaik pada poros *pitch* untuk putaran searah jarum jam adalah hasil sudut dari sistem dengan filter eksponensial dengan *error* sebesar 0,784082 %, sedangkan untuk putaran berlawanan arah jarum jam adalah hasil sudut dari sistem dengan filter eksponensial dengan *error* sebesar 0,958931 %.
4. Hasil sudut terbaik pada poros *yaw* untuk putaran searah jarum jam adalah hasil sudut

dari sistem dengan filter eksponensial dengan *error* sebesar 1,74794 %, sedangkan untuk putaran berlawanan arah jarum jam adalah hasil sudut dari sistem dengan filter eksponensial dengan *error* sebesar 1,620241 %.

### 5.2 Saran

Sebagai masukan guna pengembangan lebih lanjut dari Tugas Akhir ini, maka penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Dapat digunakan sumber tegangan yang lebih stabil untuk meminimalisir *noise* dari sinyal keluaran *gyroscope* dan *error* sudut.
2. Pemrograman integral dapat dikembangkan dengan berbagai variasi metode pengintegralan.
3. Variasi metode filter digital yang lain dapat digunakan untuk mendapatkan sinyal data keluaran sensor yang lebih baik.
4. Aplikasi *gyroscope* sebagai pendeteksi sudut dapat dikembangkan dengan perancangan instrumentasi yang dapat dibawa ke mana-mana (*portable*).

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bateson, R.N., P.E., *Introduction to Control System Technology*, Prentice Hall, Ohio, 1993.
- [2] Bejo, A., *C&AVR Rahasia Kemudahan Bahasa C dalam Mikrokontroler ATmega 8535*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2008.
- [3] Brown, Robert Grover, "Introduction to Random Signals and Applied Kalman filtering", John Wiley & Son, third edition, Canada, 1997.
- [4] Groothuis, S., "Self-Balancing Robot 'Dirk'", Control Engineering University of Twente, Juni 2008.
- [5] Padiyar, K.R., *Power System Dynamics Stability and Control*, John Wiley & Sons, Singapore.
- [6] Simon, Dan, "Kalman Filtering", <http://academic.csuohio.edu>, 2001.
- [7] Sudjadi., *Teori dan Aplikasi Mikrokontroler Aplikasi pada Mikrokontroler AT89C51*, Graha Ilmu, Semarang, 2005.
- [8] Wardhana, L., *Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATmega 8535*, Andi Offset, Yogyakarta, 2006.
- [9] Welch, Greg & Gary Bishop, "An Introduction to The Kalman Filter", Departement of Computer Science University of North Carolina at Chapel Hill, 2006.

- [10] Widada, W., “Aplikasi Digital Exponential Filtering untuk Embedded Sensor Payload Roket”, Prosiding Semiloka Teknologi Simulasi dan Komputasi serta Aplikasi, 2005.
- [11] -----, *ATmega 8535 Data Sheet*, <http://www.atmel.com>, Maret 2004.
- [12] -----, *ADXR5150 Data Sheet*, <http://www.analog.com>, Maret 2004.
- [13] -----, *New iMEMS Angular-Rate-Sensing Gyroscope*, <http://www.analog.com>, 2003.
- [14] -----, *Using Absolute Output iMEMS® Gyroscopes with Ratiometric ADCs*, <http://www.analog.com>, 2005.

**Asep Mubarok (L2F 004 463)**



Lahir di Kota Bogor, 28 September 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. 132 086 662

Iwan Setiawan, S.T., M.T.  
NIP. 132 283 183

Tanggal: \_\_\_\_\_

Tanggal: \_\_\_\_\_