

# PEMBUATAN *PROTOTYPE* ALAT BANTU SIMULASI *ATTITUDE AND HEADING REFERENCE SYSTEM (AHRS)* PADA *AVIONIC LABORATORY* PT DIRGANTARA INDONESIA

Arya Dian Dwipanegara, ST., MT<sup>1</sup>, Aulia Rizky Zulviana<sup>2</sup>  
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Nurtanio Bandung

## ABSTRAK

Pada Avionic Laboratory PT Dirgantara Indonesia pengoperasian alat bantu simulasi *Attitude and Heading Reference Sistem (AHRS)* masih menggunakan cara manual yaitu menggerakkan dengan tangan. Cara ini kurang efisien karena kita tidak mengetahui sudut yang dihasilkan dari simulasi AHRS tersebut.

Untuk memudahkan *engineer test* yang melakukan simulasi AHRS pada pesawat maka penulis mencoba membuat *prototype* alat bantu simulasi AHRS atau *tilt table* dengan mengubah sistem kerja secara mekanik menjadi sistem elektrik. Cara kerja alat yaitu motor servo akan menggerakkan alat simulasi atau *tilt table* untuk AHRS. Pengaturan motor servo dilakukan dengan memasukkan nilai sudut menggunakan *keypad* yang berfungsi sebagai masukan *aileron* dan *elevator* pada pesawat.

Pengoperasian *prototype* alat bantu simulasi AHRS dipengaruhi integrasi motor servo dengan mekanik kurang maksimal sehingga terdapat perbedaan nilai sudut masukan dan keluaran yang sangat besar. Nilai lebar pulsa PWM yang dihasilkan linear dengan nilai sudut yang dimasukkan. Semakin besar nilai sudut maka nilai lebar pulsa semakin besar juga.

## Pendahuluan

Pesawat terbang adalah alat transportasi udara yang lebih berat dari udara, bersayap tetap dengan tenaga sendiri. Pesawat terbang sebenarnya merupakan alat transportasi di dunia yang paling aman. Pesawat dibuat dengan persyaratan (*requirement*) yang ketat. Hanya saja terdapat faktor lainnya yang berperan dalam keselamatan penerbangan. Faktor-faktor lainnya tersebut adalah cuaca, kesalahan pilot, pengabaian prosedur, budaya dan ekonomi. Pesawat udara yang beroperasi diperlukan adanya informasi tentang pesawat. Operasi tersebut sangat berguna untuk membuat pesawat menjadi lebih aman.

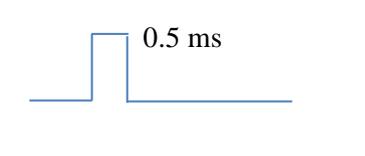
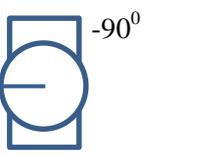
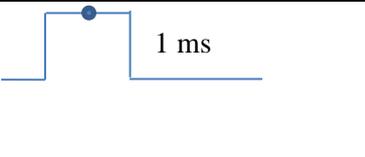
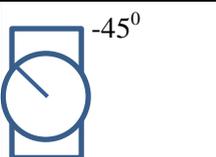
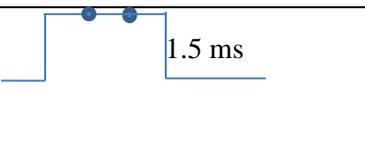
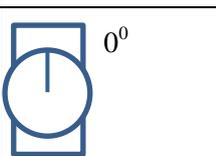
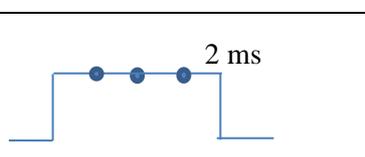
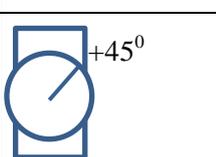
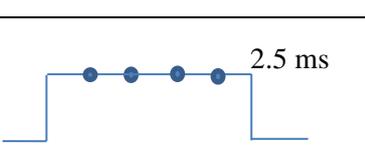
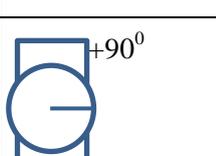
*Attitude and Heading Reference System (AHRS)* merupakan sensor yang menghasilkan data-data dari perubahan sikap pesawat. *Attitude* terdiri dari *roll* (mengguling) dan *pitch* (mendongak). Sedangkan *heading* adalah arah pesawat relatif terhadap magnet bumi. Data sikap pesawat dihasilkan oleh sensor-sensor

*attitude* dan *heading* yang bisa terdiri dari beberapa sensor terpisah atau dikemas dalam satu paket sensor sikap. *Output* dari sensor ini adalah data *heading* dan *attitude*. Di *Avionic Laboratory* PT Dirgantara Indonesia, pengoperasian pada saat simulasi *tilt table* AHRS masih menggunakan cara manual yaitu menggerakkan dengan tangan.

Pada penelitian ini, penulis akan membuat *prototype* alat bantu simulasi AHRS (*tilt table*) dengan mengubah sistem kerja secara mekanik menjadi sistem elektrik. Pengaturan motor servo akan menggerakkan alat bantu simulasi (*tilt table*) untuk AHRS. Pengaturan motor servo dilakukan dengan menginputkan nilai sudut menggunakan *keypad*. Sistem ini memerlukan mikrokontroler untuk mengkonversi nilai sudut menjadi sistem kendali *Pulse Width Modulation (PWM)*. Motor servo akan berputar sesuai dengan sudut yang diinputkan. Dan hasilnya akan ditampilkan pada LCD 16x2.

**Motor Servo**

Secara umum terdapat 2 jenis motor servo yaitu motor servo standard dan motor servo *continuous*. Servo motor tipe standar hanya mampu berputar 180 derajat. Sedangkan Servo motor *continuous* dapat berputar sebesar 360 derajat. Pengendalian gerakan batang motor servo dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Pulse Width Modulation* (PWM). Seperti pada gambar 1, bahwa dengan *pulsa* 1.5 ms pada periode selebar 20 ms, maka sudut dari sumbu motor akan berada pada posisi tengah. Semakin lebar *pulsa OFF* maka akan semakin besar gerakan sumbu ke arah jarum jam dan semakin kecil *pulsa OFF* maka akan semakin besar gerakan sumbu ke arah yang berlawanan dengan jarum jam. Untuk menggerakkan motor servo ke kanan atau ke kiri, tergantung dari nilai *delay* yang kita berikan seperti ilustrasi berikut :<sup>(12)</sup>

Input Pulse Width (T=20 ms)	Servo Position
 0.5 ms	 -90°
 1 ms	 -45°
 1.5 ms	 0°
 2 ms	 +45°
 2.5 ms	 +90°

Gambar 1 Pensinyalan Motor Servo

Setelah didapat nilai lebar *pulsa* seperti pada gambar 1, kita dapat menghitung lebar

*pulsa* setiap sudut yang kita inginkan dengan rumus persamaan linier. Dengan memasukkan nilai lebar *pulsa* maksimum untuk sudut +90° dan nilai lebar *pulsa* minimum untuk sudut -90°. Maka dicarilah rumus persamaan lebar *pulsa* atau T(B). Dalam perumusan T(B) ini memanfaatkan formulasi garis lurus, hal ini dikarenakan nilai lebar *pulsa* T(B) linear terhadap nilai sudut B derajat. Adapun rumus persamaan linear sebagai berikut :

$$\frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} = \frac{(y - y_1)}{(y_2 - y_1)} \dots \dots \dots 1$$

Dimana :

- X = B atau sudut motor servo
- X<sub>1</sub> = Sudut Minimum Motor Servo
- X<sub>2</sub> = Sudut Maksimum Motor Servo
- Y<sub>1</sub> = Minimum Pulse
- Y<sub>2</sub> = Maksimum Pulse
- Y = Lebar *Pulsa* Sudut B
- B = Nilai Sudut (derajat)
- T(B) = Lebar *Pulsa* sudut B (ms)

Apabila penggunaan rumus linear ini disesuaikan dengan permasalahan mencari lebar *pulsa* untuk mendapat sudut B, maka akan didapat sebuah persamaan 2 :<sup>(1)</sup>

$$\frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} = \frac{(y - y_1)}{(y_2 - y_1)}$$

$$\frac{(B - (-90))}{(90 - (-90))} = \frac{(T(B) - Min. Pulse)}{(Max. Pulse - Min. Pulse)}$$

$$\frac{(B + 90)}{180} = \frac{(T(B) - 0.5)}{(2.5 - 0.5)}$$

$$\frac{(B + 90)}{180} = \frac{(T(B) - 0.5)}{2}$$

$$(B + 90)x2 = (T(B) - 0.5)x180$$

$$2B + 180 = 180T(B) - 90$$

$$\frac{2B + 180 + 90}{180} = T(B)$$

$$\frac{2B + 270}{180} = T(B) \dots \dots \dots 2$$

**Pulse Width Modulation (PWM)**

*Pulse Width Modulation* atau PWM adalah salah satu teknik pemodulasian sinyal dimana besar *duty cycle pulsa* dapat diubah-ubah. Pembangkitan *pulsa* dengan menggunakan kontrol mikrokontroler juga menggunakan cara perbandingan dua buah nilai. Pembangkitan PWM pada mikrokontroler adalah dengan membandingkan dua buah variable yang tersimpan dalam memori mikrokontroler. Yaitu variabel *Timer Counter Register* (TCNTx) dengan *Output Compare Register* atau OCRxx (salah satu contohnya). Cara yang dapat di gunakan untuk membangkitkan sinyal pwm adalah dengan menggunakan *timer 1* pada mikrokontroler. Terlebih dahulu mencari nilai dari variable *Input Capture Register Low Byte* (ICR1L) dan *Input Capture Register High Byte* (ICR1H). Nilai tersebut adalah untuk mengatur frekuensi dari pwm yang diinginkan yaitu dengan rumus :

$$TOP = \frac{f.clk}{N \times f.pwm} \dots \dots \dots 3$$

- Dimana :
- f.clk : Crystal yang digunakan
  - f.pwm : Frekuensi yang diinginkan
  - N : Perscaller (yang digunakan 1, 8, 256, 1023)
  - TOP : Nilai maksimal dari PWM atau nilai ICR1L dan ICR1H.

**Gerak Dasar Pesawat**

Pada dasarnya, pesawat terbang mempunyai gerak dasar pesawat yang fungsinya agar pesawat dapat bergerak stabil pada saat terbang di udara. Adapun ketiga gerak dasar pesawat itu adalah sebagai berikut :

*a. Pitching*

*Pitching* merupakan gerakan mengangguk atau gerakan keatas dan kebawah dari *nose* pesawat. Apabila *stick* digerakkan kebelakang, maka *elevator up*

atau keatas dan akan mengakibatkan *nose* pesawat bergerak keatas. Apabila *stick* digerakkan kedepan, maka *elevator down* atau turun dan akan mengakibatkan *nose* pesawat bergerak turun kebawah.

*b. Rolling*

*Rolling* merupakan gerakan berguling (*roll*) dari pesawat, *rolling* bergerak pada sumbu *longitudinal* pesawat. Apabila *stick* digerakkan ke kanan, maka *aileron* sebelah kanan akan naik keatas dan *aileron* sebelah kiri *wing* akan turun kebawah. Hal ini akan menyebabkan pesawat akan *rolling* ke sebelah kanan. Begitupula sebaliknya, apabila *stick* digerakkan ke kiri, maka *aileron* sebelah kiri akan naik dan *aileron* kanan akan turun. Hal ini akan menyebabkan pesawat akan *rolling* ke sebelah kiri.

*c. Yawing*

*Yawing* merupakan gerakan menggeleng atau *nose* pesawat bergerak ke kanan dan ke kiri. *Yawing* bergerak pada sumbu *vertical* pesawat. Apabila pedal kanan diinjak, maka *rudder* akan bergerak kekanan dan *nose* pesawat akan mengarah ke kanan. Dan apabila pedal kiri diinjak, maka *rudder* akan bergerak ke kiri dan *nose* pesawat akan mengarah ke kiri.

**Fungsi dan Cara Kerja Sistem / Alat**

Alat yang dirancang dan direalisasikan pada penelitian ini yaitu pembuatan *prototype* alat bantu simulasi *Attitude and Heading Reference System* (AHRS) pada Avionic Laboratory PT Dirgantara Indonesia dengan menggunakan motor servo untuk menggerakkan alat simulasi AHRS, dan menggunakan mikrokontroler ATmega 16 sebagai pengendalinya.

Motor Servo yang digunakan adalah MG995. Motor servo akan bergerak ketika mendapat *input-an* dari *keypad* sebagai sensor yaitu data *pitch* dan *roll*. Kita dapat meng-*inputkan* nilai sudut yang diinginkan, setelah itu sudut tersebut akan diproses oleh mikrokontroler dan akan diteruskan ke motor servo. Kemudian motor servo akan bergerak sesuai dengan nilai yang di-*inputkan*, dan akan ditampilkan di LCD. Sumber *supply* yang dibutuhkan

mikrokontroler yaitu 5 VDC. Sehingga, *supply* 220 VAC atau sumber PLN diturunkan menjadi 12 VAC dengan *trafo stepdown*. Kemudian disearahkan dengan *diode bridge* menjadi 12 VDC. Agar tegangan tetap stabil 12 VDC, diperlukan IC *regulator* LM7812 dan transistor TIP3055 untuk menguatkan arus agar *regulator* tegangan tidak cepat panas. Keluaran *supply* 12 VDC di *regulator* kembali dengan LM7805 dan tegangan menjadi 5 VDC. Sehingga tegangan 5 VDC dapat digunakan supply mikrokontroler.

### Spesifikasi Sistem

Spesifikasi sistem atau alat yang akan dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

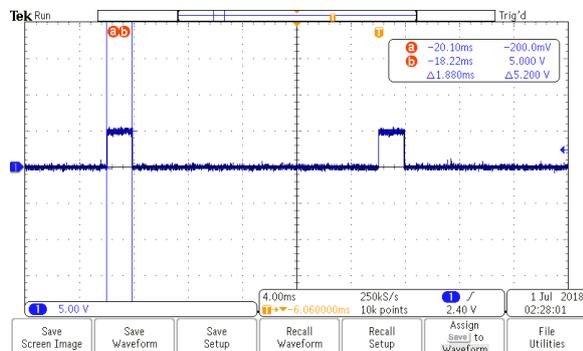
- Maksimal sudut *pitch* dan *roll* :  $180^0$  ( $-90^0$  sampai  $+90^0$ )
- Jenis alat : *Portable*
- Sensor : *Keypad*
- Pengendali : Mikrokontroler Atmega 16
- Keluaran : Tampilan pada LCD 16x2
- Supply* : 220 VAC

### Pengujian Pembangkitan Pulse PWM

Pada penelitian ini, *Pulse Width Modulation* (PWM) digunakan untuk menyulut sudut terhadap motor servo. Pada gambar 3 merupakan hasil gelombang test penyulutan PWM dari mikrokontroler pada pin OCR1A dan OCR1B.

Pada tabel 1 dan table 2 hasil pengujian tidak jauh berbeda dengan hasil teori.

Tabel 1 Hasil Pengujian Pulse PWM Pada



Gambar 3 Hasil Gelombang Test Penyulutan PWM

### PORTD.4

Sudut (Input)	Arah	Pulse PWM (ms)		Error Pulse PWM (%)
		Teori	Praktek	
$-90^0$	Down	0,50	0,64	28,00
$-80^0$	Down	0,61	0,72	17,82
$-70^0$	Down	0,72	0,88	21,85
$-60^0$	Down	0,83	0,96	15,20
$-50^0$	Down	0,94	1,08	14,35
$-40^0$	Down	1,06	1,08	2,32
$-30^0$	Down	1,17	1,2	2,86
$-20^0$	Down	1,28	1,24	2,96
$-10^0$	Down	1,39	1,44	3,68
$0^0$	Down/UP	1,50	1,48	1,33
$10^0$	Up	1,61	1,6	0,69
$20^0$	Up	1,72	1,76	2,19
$30^0$	Up	1,83	1,84	0,36
$40^0$	Up	1,94	1,88	3,31
$50^0$	Up	2,06	1,96	4,65
$60^0$	Up	2,17	2,12	2,15
$70^0$	Up	2,28	2,2	3,41
$80^0$	Up	2,39	2,28	4,56
$90^0$	Up	2,50	2,44	2,40

Tabel 2 Hasil Pengujian Pulse PWM Pada PORTD.5

Sudut (Input)	Arah	Pulse PWM (ms)		Error Pulse PWM (%)
		Teori	Praktek	
$-90^0$	Left	0,50	0,64	28,00
$-80^0$	Left	0,61	0,72	17,82
$-70^0$	Left	0,72	0,84	16,31
$-60^0$	Left	0,83	0,96	15,20
$-50^0$	Left	0,94	1,08	14,35
$-40^0$	Left	1,06	1,2	13,68
$-30^0$	Left	1,17	1,28	9,71
$-20^0$	Left	1,28	1,4	9,57
$-10^0$	Left	1,39	1,52	9,44
$0^0$	Left/Right	1,50	1,6	6,67
$10^0$	Right	1,61	1,68	4,28
$20^0$	Right	1,72	1,72	0,13
$30^0$	Right	1,83	1,76	4,00
$40^0$	Right	1,94	1,92	1,26
$50^0$	Right	2,06	2	2,70

Sudut (Input)	Arah	Pulse PWM (ms)		Error Pulse PWM (%)
		Teori	Praktek	
60 <sup>0</sup>	Right	2,17	2,08	4,00
70 <sup>0</sup>	Right	2,28	2,24	1,66
80 <sup>0</sup>	Right	2,39	2,32	2,88
90 <sup>0</sup>	Right	2,50	2,44	2,40

### Hasil Pengukuran

Pada penelitian ini, pengukuran sudut pada *tilt table* dilakukan untuk mengetahui performa sistem apakah sistem telah bekerja dengan baik dan sesuai rencana awal yaitu sistem *tilt table* dapat bergerak sesuai dengan sudut yang kita masukan. Tabel 3 dan tabel 4 ini menunjukkan hasil pengukuran sudut pada *tilt table* yang digerakkan oleh motor servo.

Tabel 3 Data Hasil Pengukuran Sudut Pada *Tilt Table Pitch*

Sudut (Input)	Arah	Sudut Output ( <sup>0</sup> ) Percobaan ke- 1	% Error Percobaan Ke-1
-90 <sup>0</sup>	Down	-71,8	20,2
-80 <sup>0</sup>	Down	-71,7	10,4
-70 <sup>0</sup>	Down	-69,2	1,1
-60 <sup>0</sup>	Down	-59,6	0,7
-50 <sup>0</sup>	Down	-49,4	1,2
-40 <sup>0</sup>	Down	-38,6	3,5
-30 <sup>0</sup>	Down	-29,6	1,3
-20 <sup>0</sup>	Down	-20,2	1,0
-10 <sup>0</sup>	Down	-11,6	16,0
0 <sup>0</sup>	Down/UP	-2,8	--
10 <sup>0</sup>	Up	3,9	61,0
20 <sup>0</sup>	Up	12	40,0
30 <sup>0</sup>	Up	20,7	31,0
40 <sup>0</sup>	Up	29,2	27,0
50 <sup>0</sup>	Up	37,8	24,4
60 <sup>0</sup>	Up	46,4	22,7
70 <sup>0</sup>	Up	54,8	21,7
80 <sup>0</sup>	Up	67,8	15,3
90 <sup>0</sup>	Up	72,4	19,6

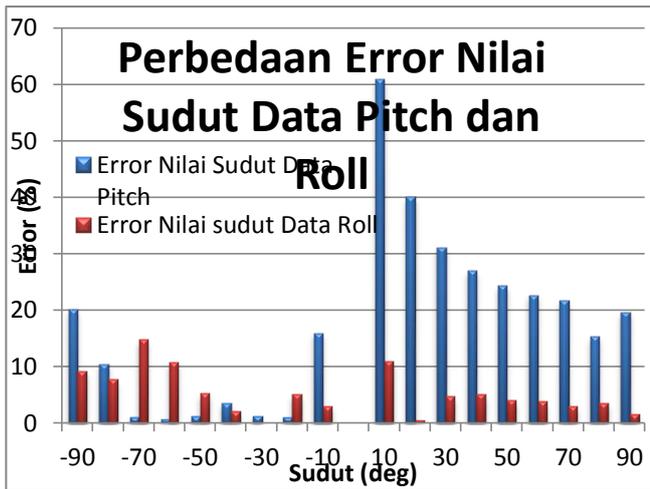
Tabel 4 Data Hasil Pengukuran Sudut Pada *Tilt Table Roll*

Sudut (Input)	Arah	Sudut Output ( <sup>0</sup> ) Percobaan ke- 1	% Error Percobaan Ke-1
-90 <sup>0</sup>	Left	-86,6	3,8
-80 <sup>0</sup>	Left	-86,7	8,4
-70 <sup>0</sup>	Left	-78,1	11,6
-60 <sup>0</sup>	Left	-64,7	7,8
-50 <sup>0</sup>	Left	-51,9	3,8
-40 <sup>0</sup>	Left	-39,3	1,8
-30 <sup>0</sup>	Left	-27,3	9,0
-20 <sup>0</sup>	Left	-17,8	11,0
-10 <sup>0</sup>	Left	-8,6	14,0
0 <sup>0</sup>	Left/Right	0,02	--
10 <sup>0</sup>	Right	9,8	2,0
20 <sup>0</sup>	Right	19,9	0,5
30 <sup>0</sup>	Right	20,7	31,0
40 <sup>0</sup>	Right	41,8	4,5
50 <sup>0</sup>	Right	52,4	4,8
60 <sup>0</sup>	Right	63,3	5,5
70 <sup>0</sup>	Right	72,9	4,1
80 <sup>0</sup>	Right	84,4	5,5
90 <sup>0</sup>	Right	87,1	3,2

### Analisis

Pada penelitian ini, pengujian seluruh sistem dilakukan untuk mengetahui performa sistem apakah sistem telah bekerja dengan baik dan sesuai rencana awal. Pada tabel 1 dan 2 dapat dilihat bahwa nilai lebar pulsa yang dihasilkan linear dengan nilai sudut yang dimasukkan. Semakin besar nilai sudut yang dimasukkan maka nilai lebar pulsa semakin besar.

Pada tabel 3, dapat dilihat bahwa nilai sudut *output* jauh berbeda dari sudut *input*. Sehingga *error* yang dihasilkan sangat besar. Sudut *output* pada saat percobaan didapatkan dengan pengukuran menggunakan *inclinometer*. Pada tabel 4, dapat dilihat bahwa nilai sudut *output* tidak jauh berbeda dari sudut *input*. Sehingga *error* yang dihasilkan tidak begitu besar. Pada gambar 4 merupakan grafik perbedaan presentase *error* nilai sudut pengukuran antara data *pitch* dan *roll*. Adanya perbedaan antara nilai sudut



Gambar 4 Grafik Perbedaan Error Nilai Sudut Pengukuran Antara Data Pitch dan Roll

*input* dengan *output* ini diakibatkan integrasi motor servo dengan desain mekanik yang kurang maksimal. Namun, secara fungsional *prototype* alat bantu simulasi AHRS dapat bekerja dengan baik.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan realisasi maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Berdasarkan pengujian pembangkitan *Pulse* PWM didapatkan hasil pengujian tidak jauh berbeda dengan perhitungan secara teori. Rata-rata nilai error antara hasil pengujian dan teori yaitu 7.057 % dan 8.63%.
- Nilai lebar pulsa PWM yang dihasilkan linear dengan nilai sudut yang dimasukkan. Semakin besar nilai sudut yang dimasukkan maka nilai lebar pulsa semakin besar.
- Error hasil pengujian rangkaian DC *power supply* antara 2.9% dan 5.5%.
- Adanya perbedaan antara nilai sudut *input* dan *output* saat pengujian alat bantu simulasi AHRS di *Avionic Laboratory* PT Dirgantara Indonesia yang sangat besar ini diakibatkan *friction* atau gesekan pada rangkaian dengan mekanik.

### Saran

Pada penelitian ini tidak lepas dari berbagai macam kelemahan didalamnya.

Untuk memperbaiki kekurangan-kekurangan serta sebagai masukan untuk perbaikan sistem menjadi lebih sempurna ke depannya, maka diberikan beberapa saran dan harapan sebagai berikut :

- Agar sistem dapat berjalan lancar dan sesuai dengan perencanaan maka perlu diperhatikan dalam pemilihan komponen yang akan digunakan pada sistem. Karakteristik komponen perlu diperhatikan dan spesifikasinya, agar tidak ada *trouble* saat pengujian.
- Perencanaan sistem yang lebih tepat dan perlu memperhitungkan *friction* atau gesekan antar komponen.
- Desain mekanik dan pemilihan motor yang lebih baik sehingga error dapat di *minimize*.

### Daftar Pustaka

- Sujarwata. “*Pengendali Motor Servo Berbasis Mikrokontroler Basic Stamp 2SX Untuk Mengembangkan sistem Robotika*”. Semarang, Proyek Akhir FMIPA UNNES. 2013.
- Achyarnurandi, <http://www.achyarnurandi.net/2013/07/servo-motor-bagian-2-tutorial-formulasi.html>. Diakses 07 Juli 2018 Pukul 16.00 WIB.
- Grandis Prima Havilandi. “*Rancang bangun Rangkaian Boost Converter Terkontrol Berbasis PI-Fuzzy Logic Controller Untuk Menyuplai Motor DC pada Mobil Listrik (Subjudul : Software)*”. Surabaya, Proyek Akhir PENS-ITS. 2012.
- Anonim, “*ATMEGA16 DATA SHEET (PDF)*”. ATMEL Corporation. <https://www.gmc.cz/data/attachments/dsh.958-112.1.pdf>. Diakses pada tanggal 16 Agustus 2018 pukul 20.00 WIB
- Anonim, “*LMB162ABC LCD Module User Manual (PDF)*”. Diakses tanggal 2 September 2016 Pukul 17.15 WIB.
- Anonim, “*Membrane Keypad 16 Key (Matrix 4x4) (PDF)*”. Diakses pada tanggal 16 Agustus 2018 pukul 20.00 WIB

7. Rochmawati, “*Rancang Bangun Suatu Sistem Pemanfaatan Sumber Energi Tenaga Surya Sebagai Pendukung Sumber PLN untuk Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroller (Software)*”, Surabaya, Proyek Akhir PENS-ITS, 2011.
8. Zainal Arifin. “*Portable Solar Charger*”. Proyek Akhir PENS-ITS. 2009.
9. Anonim, “*www.nasa.gov (axes control surface k-4)*” diakses tanggal 17 Maret 2018 Pukul 13.59 WIB.
10. Avishal Akbar, “*Rancang Bangun Solar Tracking System Dual Axis Sebagai Pencari Posisi Optimal Panel Surya Menggunakan Kontrol Azimuth And Elevation Pada Aplikasi Rumah Mandiri*”. Surabaya, Proyek Akhir PENS 2017.
11. Anonim, “*MG995 High Speed Metal Gear Dual Ball Bearing Servo (PDF)*”. Diakses tanggal 13 Maret 2018 Pukul 19.49 WIB.
12. Pitvande Yanuar Hidayat., “*Rancang Bangun Suatu Sistem Pemanfaatan Sumber Energi Tenaga Surya Sebagai Pendukung Sumber PLN untuk Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroller (Hardware)* “. Surabaya, Proyek Akhir PENS-ITS 2011.