

**PERANCANGAN KONTROLER PENGGANTI *ELECTRONIC CONTROL UNIT*  
UNTUK MENGATUR POSISI SUDUT *FLAP* PADA MODEL MINIATUR PESAWAT**

**N219**

**SKRIPSI**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**



**Disusun oleh :**

**HAKIKI BAGUS PUTRO WICAKSONO  
NIM. 105060300111004 - 63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
MALANG  
2014**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PERANCANGAN KONTROLER PENGGANTI *ELECTRONIC CONTROL UNIT*  
UNTUK MENGATUR POSISI SUDUT *FLAP* PADA MODEL MINIATUR  
PESAWAT N219**

**SKRIPSI**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**



**Disusun oleh:**

**HAKIKI BAGUS PUTRO WICAKSONO  
NIM. 105060300111004 - 63**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh :**

**Pembimbing 1**

**Pembimbing 2**

**Ir. Purwanto, MT  
NIP. 19540424 198601 1 001**

**Ir. Bambang S. MT  
NIP. 19621211 198802 1 001**

## LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN KONTROLER PENGGANTI *ELECTRONIC CONTROL UNIT*  
UNTUK MENGATUR POSISI SUDUT *FLAP* PADA MODEL MINIATUR  
PESAWAT N219

### SKRIPSI

Disusun oleh:

**HAKIKI BAGUS PUTRO WICAKSONO**  
105060300111004 - 63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 12 Agustus 2014

### MAJELIS PENGUJI

Ir. Moch. Rusli, Dipl. Ing  
NIP. 196301041987011001

M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 19741203 200012 1 001

Rahmadwati, ST., MT., Ph.D  
NIP. 197711022006042003

Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 19741203 200012 1 001

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji hanya bagi Allâh Subhanahu Wa Taâla, Rabb alam semesta. Dialah Allâh, Tuhan Yang Maha Satu, Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Dialah Sebaik baik Penolong dan Sebaik baik Pelindung. Shalawat dan salâm kepada Nabi Muhammad Rasulullâh Shallallâhu Alaihi Wa Salâm, Sang pembawa kabar gembira dan sebaik baik suri tauladan bagi yang mengharap Rahmat dan Hidayah-Nya.

Sungguh hanya melalui Pertolongan dan Perlindungan Allâh SWT semata sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Dengan seizin Allâh SWT, di kesempatan yang baik ini saya ingin menghaturkan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar besarnya atas bantuan sehingga terselesainya skripsi ini kepada:

- Keluarga tercinta, kedua orang tua Yaminadi dan Siti Julaikah yang selalu memberikan kasih sayang dan doanya yang tiada akhir. Serta kakakku tercinta Octa Fani yang selalu memberikan dukungan.
- Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Purwanto MT selaku KKDK Teknik Kontrol sekaligus sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan pengarahan, bimbingan, nasehat, saran dan motivasinya.
- Bapak Ir. Bambang S. MT selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, nasehat, saran, masukan dan motivasinya.
- Ibu Dr. Erni Yudaningtyas, ST., MT. selaku Ka. Lab Sistem Kontrol yang telah banyak memberikan kesempatan, dukungan, nasehat dan pengarahan yang telah diberikan.

- Laboratorium Sistem Kontrol Teknik Elektro Universitas Brawijaya atas segala alat serta sarana dan prasarana yang dimanfaatkan penulis dalam melakukan penelitian.
- Teman – teman bersama Yudha dan Faisol terima kasih telah berbagi kesenangan, pelajaran hidup, serta canda dan tawa.
- Teman - teman tim teknis, Luthfi, mas Bas, Vicky, Erwan, Samid, Faisol yang telah memberikan pengetahuan, ilmu dan kemampuannya untuk membantu kelancaran penulis.
- Teman – teman seperjuangan dan ngopi, Yudha, Faisol, Lutfi, Ferdy, Adin, Fitrah, Reza, Agwin, Azis, Erwan, Amer, Oncol, Sapi, Dadar, Fery, Abu, Zenma dan Yudi yang telah memberi banyak inspirasi dan nasehat.
- Keluarga besar angkatan 2010 “MAGNET” atas do'a, semangat, serta dukungan yang diberikan pada penulis.
- Keluarga Laboratorium Sistem Kontrol Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Mbak Eka, Mas Adit, Mas Adeck, Dina, Ayu, Hamu, Garneta, Sendok, Ade, Dito, Hakiki, dan Khairul, terima kasih telah memberikan banyak bantuan serta pengetahuan dalam belajar dan berkreasi.
- Teman - teman Divisi Mikrokontroler, terima kasih telah memberi berbagai pengalaman dan pengetahuan.
- Teman - teman tim robot KRI, KRPAI, dan KRSI yang telah membantu dalam peminjaman alat serta sarana dan prasarana.
- Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Sekiranya Allâh SWT mencatat amalan ikhlas kami dan semua pihak yang turut membantu sehingga skripsi ini terselesaikan. Akhirnya, kami menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna namun semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Allâhumma Amîn.

Malang, 11 Agustus 2014

Penulis

**DAFTAR ISI**

<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>ABSTRAK</b> .....	x
<b>BABI PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Pesawat Terbang N-219 .....	5
2.2 Sayap Pesawat ( <i>Wings</i> ) .....	7
2.3 <i>Flaps</i> .....	7
2.4 Kontroler .....	8
2.5 Kontroler PID.....	9
2.5.1 Kontroler Proporsional.....	9
2.5.2 Kontroler Integral.....	10
2.5.3 Kontroler Diferensial.....	10
2.5.4 Kontroler Proporsional Integral Diferensial.....	11
2.5.5 Metode Perancangan PID Menggunakan Metode <i>Ziegler Nichols</i> .....	12
2.6 Mikrokontroler.....	15
2.6.1 Mikrokontroler ATmega328 .....	16
2.6.2 Arduino Uno.....	17
2.7 Motor DC Linier.....	18
2.8 Rangkaian Pengkondisi Sinyal.....	18
2.9 Potensiometer Linier .....	18
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	20
3.1 Studi Literatur .....	20
3.2 Perancangan Sistem.....	20
3.3 Realisasi Pembuatan Sistem .....	21



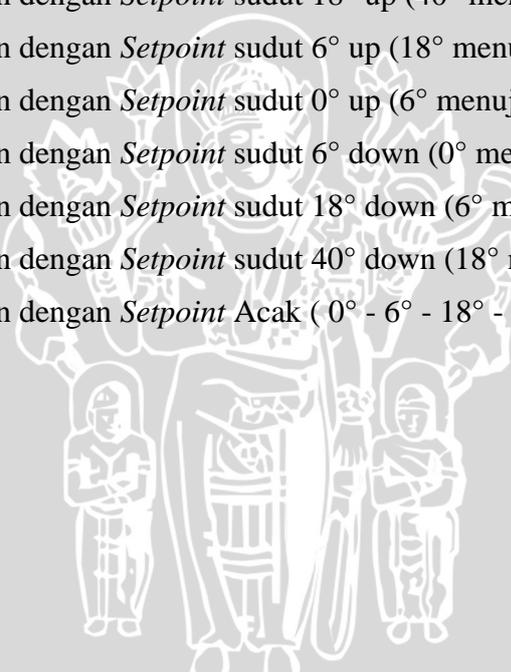
3.4	Pengujian dan Analisa Data .....	21
3.5	Pengambilan Kesimpulan dan Saran .....	22
<b>BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT.....</b>		<b>23</b>
4.1	Spesifikasi Sistem .....	23
4.2	Blok Diagram Sistem .....	24
4.3.	Prinsip Kerja Sistem .....	24
4.4	Perancangan Perangkat Keras .....	26
4.4.1	Spesifikasi Alat.....	26
4.4.2	Potensiometer Linier .....	29
4.4.3	<i>Driver</i> DFRobot Arduino L298N .....	29
4.4.4	Motor DC.....	31
4.4.5	Konfigurasi I/O Arduino Uno.....	33
4.4.6	Perancangan Kontroler .....	34
4.5	Perancangan Perangkat Lunak.....	37
4.5.1	Flowchart Sistem Keseluruhan .....	37
<b>BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS.....</b>		<b>38</b>
5.1	Pengujian Potensiometer Linier.....	38
5.2	Pengujian Driver Motor DC.....	40
5.3	Pengujian Kecepatan Motor DC.....	41
5.4	Pengujian Tanpa Kontroler .....	42
5.5	Pengujian Sistem Secara Keseluruhan .....	45
<b>BAB VI PENUTUP.....</b>		<b>55</b>
6.1	Kesimpulan .....	55
6.2	Saran.....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>56</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Profil Pesawat Terbang N-219 .....	6
Gambar 2.2	Komponen <i>flaps</i> pada sayap pesawat terbang .....	7
Gambar 2.3	<i>Flap selector</i> pada <i>cockpit</i> .....	8
Gambar 2.4	Diagram Blok Kontroler Proposional .....	10
Gambar 2.4	Diagram Blok Kontroler Proposional .....	10
Gambar 2.5	Diagram Blok Kontroler Integral .....	10
Gambar 2.6	Diagram Blok Kontroler Differensial .....	11
Gambar 2.7	Diagram Blok Kontroler PID .....	11
Gambar 2.8	Kurva Respon Unit Step yang Menunjukkan 25% <i>Maximum Overshoot</i> ..	12
Gambar 2.9	Respon Plant Terhadap Masukan Berupa Unit Step .....	12
Gambar 2.10	Kurva Respon yang Berbentuk S .....	13
Gambar 2.11	Sistem Loop Tertutup dengan Kontroler Proporsional .....	14
Gambar 2.12	Osilasi Berkesinambungan dengan Periode <i>Pcr</i> .....	15
Gambar 2.13	Konfigurasi <i>Pin</i> ATmega328 .....	17
Gambar 2.14	Skema Arduino Uno .....	17
Gambar 2.15	Motor DC Linier .....	18
Gambar 2.16	Potensiometer .....	19
Gambar 2.17	Skematik Potensiometer .....	19
Gambar 4.1	Skema Keseluruhan Sistem .....	23
Gambar 4.2	Diagram Blok Sistem .....	24
Gambar 4.3	Rangka model miniatur .....	27
Gambar 4.4	Potensiometer linier sejajar dengan motor DC .....	27
Gambar 4.5	Model miniatur pesawat N-219.....	27
Gambar 4.6	Ukuran pesawat N-219.....	28
Gambar 4.7	Rangkaian Potensiometer .....	29
Gambar 4.8	Potensiometer Pada Sistem .....	29
Gambar 4.9	Skematik Rangkaian Driver motor DC DFRobot Arduino L298N .....	30
Gambar 4.10	Grafik Karakteristik Motor DC .....	31
Gambar 4.11	Grafik Kecepatan Motor DC Terhadap Sinyal PRBS .....	32
Gambar 4.12	Grafik Simulasi <i>Model Output</i> dengan <i>Best Fit</i> 67.69% .....	33
Gambar 4.13	Skematik I/O Arduino Uno .....	34
Gambar 4.14	Grafik Simulasi Respon Sistem Tanpa Kontroler .....	35

Gambar 4.15 <i>Flowchart</i> Keseluruhan Sistem .....	37
Gambar 5.1 Pengujian Potensiometer .....	39
Gambar 5.2 Grafik Hubungan Antara Tegangan dan Sudut .....	40
Gambar 5.3 Diagram Blok Pengujian <i>Driver</i> Motor DC .....	41
Gambar 5.4 Rangkaian Pengujian Sistem .....	43
Gambar 5.5 Rangkaian Pengujian Sistem Tanpa Kontroler .....	43
Gambar 5.6 Blok Diagram Sistem Tanpa Kontroler .....	44
Gambar 5.7 Rangkaian Pengujian Sistem Mnggunakan Kontroler .....	44
Gambar 5.8 Pengujian Sistem tanpa Kontoler dengan Masukan <i>Unit Step</i> .....	44
Gambar 5.9 Pengujian Sistem menggunakan Kontoler dengan Masukan <i>Unit Step</i> ....	45
Gambar 5.10 Model Miniatur Pesawat N-219 Secara Keseluruhan .....	46
Gambar 5.11 Hasil Respon dengan <i>Setpoint</i> sudut 40° down (0° menuju 40°) .....	47
Gambar 5.12 Hasil Respon dengan <i>Setpoint</i> sudut 18° up (40° menuju 18°) .....	48
Gambar 5.13 Hasil Respon dengan <i>Setpoint</i> sudut 6° up (18° menuju 6°) .....	49
Gambar 5.14 Hasil Respon dengan <i>Setpoint</i> sudut 0° up (6° menuju 0°) .....	50
Gambar 5.15 Hasil Respon dengan <i>Setpoint</i> sudut 6° down (0° menuju 6°) .....	51
Gambar 5.16 Hasil Respon dengan <i>Setpoint</i> sudut 18° down (6° menuju 18°) .....	52
Gambar 5.17 Hasil Respon dengan <i>Setpoint</i> sudut 40° down (18° menuju 40°) .....	53
Gambar 5.18 Hasil Respon dengan <i>Setpoint</i> Acak ( 0° - 6° - 18° - 40° - 6° ) .....	54



**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Aturan Penalaan Ziegler-Nichols Berdasarkan Respon Unit Step dari Plan...	14
Tabel 2.2 Aturan Dasar Ziegler-Nichols Berdasarkan Critical Gain $K_{cr}$ dan Critical Period $P_{cr}$ .....	15
Tabel 4.1 Fungsi Pin DFRobot Arduino L298N .....	30
Tabel 4.2 Fungsi Pin Arduino Uno.....	34
Tabel 4.3 Rumus parameter PID <i>ziegler-nichols</i> 1 .....	35
Tabel 5.1 Data Hasil Pengujian Potensiometer .....	39
Tabel 5.2 Hasil Pengujian <i>Driver</i> Motor DC .....	41
Tabel 5.3 Hasil Pengujian <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM) .....	42
Tabel 5.4 Data Sudut Motor DC.....	46
Tabel 5.5 Hasil 4 Pengujian.....	54



## ABSTRAK

**Hakiki Bagus Putro Wicaksono**, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2014, Perancangan Kontroler Pengganti *Electronic Control Unit* untuk Mengatur Posisi Sudut *Flap* pada Model Miniatur Pesawat N219, Dosen Pembimbing: Ir. Purwanto. MT., Ir. Bambang S. MT

Pesawat menjadi salah satu alat transportasi yang paling diminati para pengguna alat transportasi umum karena cepat, nyaman dan sekarang harganya semakin murah. Salah satu produk terbaru dari PT. Dirgantara Indonesia adalah Pesawat Terbang N-219 untuk menjadi salah satu pesawat terbang yang ekonomis dan dapat melakukan penerbangan di daerah timur Indonesia yang memiliki landasan terbang pendek. Namun didalam *flap control system* terdapat *electronic control unit* untuk mengendalikan posisi sudut flap yang memiliki harga cukup mahal. Salah satu solusi yang dapat ditawarkan adalah perancangan kontroler pengganti *electronic control unit*. Aksi kontrol yang dapat digunakan pada *flap control system* adalah aksi kontrol *PID (Proportional Integral Differential)*. Salah satu keuntungan kontrol PID adalah banyak digunakan di industri dan memiliki respon yang halus. Pada skripsi ini digunakan metode *Ziegler Nichlos* untuk mencari nilai parameter  $K_p$  (Konstanta Proporsional),  $K_i$  (Konstanta Integral) dan  $K_d$  (Konstanta Diferensial). Dalam perencanaan pembuatannya digunakan Arduino Uno, potensiometer linier, motor DC (*Direct Current Motor*), komunikasi *USB (Universal Serial Bus)*. Dari hasil pengujian terhadap aplikasi kontroler PID ini didapat  $K_p = 2.88$ ,  $K_i = 1.44$ ,  $K_d = 1.2$  dan menunjukkan bahwa respon sistem mempunyai *ess (error steady state)* sebesar 2.709-8.89%. Sedangkan  $T_s$  (*Time settling*) untuk sudut  $0^\circ - 6^\circ = 15.93$  s, sudut  $0^\circ - 18^\circ = 47.85$  s, sudut  $0^\circ - 40^\circ = 106.2$  s.

**Kata kunci:** *Flap Control System, Ziegler Nichols, PID, Arduino Uno, Motor DC.*

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pesawat merupakan salah satu alat transportasi modern yang banyak digunakan manusia pada saat ini. Benda yang mampu mengangkut barang lebih banyak dan lebih cepat dari alat transportasi lainnya. Pesawat pertama kali diterbangkan pada tahun 1903, pesawat itu dinamakan *Flyer* dan diterbangkan oleh Orville Wright dan Wilbur Wright di Amerika Serikat.

Indonesia memiliki perusahaan yang memproduksi pesawat terbang yaitu PT. Dirgantara Indonesia yang didirikan pada tahun 1976. Salah satu produk terbaru dari PT. Dirgantara Indonesia adalah Pesawat Terbang N-219. Pesawat terbang ini memiliki fungsi sebagai pesawat terbang sipil perintis. Dalam perkembangannya sampai saat ini, N-219 direncanakan untuk menjadi salah satu pesawat terbang yang ekonomis dan dapat melakukan penerbangan di daerah timur Indonesia yang jarang memiliki landasan terbang. Dengan ukuran pesawat yang kecil dan hanya bisa mengangkut 19 penumpang ditambah dengan muatan barang diharapkan pesawat terbang jenis N-219 ini dapat lepas landas dan terbang di landasan yang pendek, sehingga sesuai dengan keadaan di daerah timur Indonesia.

N-219 dirancang sama dengan pesawat modern lain, yaitu memiliki *Flap Control System* yang didesain secara otomatis dengan menggunakan *Electronic Control Unit*. Dimana *Electronic Control Unit* tersebut yang mengatur posisi sudut *flap* setelah pilot menentukan posisi mana yang dibutuhkan saat itu. Tetapi biaya yang dibutuhkan untuk membeli *Electronic Control Unit* cukup besar jika harus digunakan pada pesawat yang ditargetkan ekonomis ini.

Mahalnya harga untuk sebuah *Electronic Control Unit* pada *Flap System* menjadi salah satu tantangan tersendiri bagi tim pengembang pesawat terbang N-219 untuk menciptakan kontroler yang akan digunakan pada *Flap Control System* tanpa menggunakan *Electronic Control Unit*. Dengan keadaan tersebut akan

dikembangkan kontroler pengganti yang memiliki fungsi sama dengan *Electronic Control Unit*.

Penelitian ini membahas tentang kontroler pengganti *Electronic Control Unit* yang berfungsi dalam pengendalian posisi sudut *flap* pada *Fix Wing*. Perubahan posisi *flap* berfungsi dalam membantu pesawat saat posisi *cruise*, *take-off*, *approach* dan *landing*. Kontroler ini dirancang dengan menggunakan komponen elektronik yang cukup sederhana seperti relay, transistor, potensio, resistor, dll. Keuntungan dari kontroler pengganti ini terletak pada harganya yang diperhitungkan lebih murah tanpa mengurangi fungsi seperti pada *Electronic Control Unit* sebelumnya. Diharapkan kontroler ini dapat digunakan untuk mengontrol posisi sudut *flap* pada pesawat N-219, dengan demikian akan lebih mendukung dalam konsep pesawat N-219 adalah pesawat yang murah.

## 1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang disebutkan pada latar belakang, maka ditetapkan rumusan masalah sebagai berikut :

- 1) Bagaimana merancang dan membuat kontroler pengganti *Electronic Control Unit* untuk mengendalikan posisi sudut *flap* pada model miniatur pesawat N-219 ?
- 2) Bagaimana merancang hardware dan software kontroler pengganti *Electronic Control Unit* untuk mengendalikan posisi sudut *flap* pada model miniatur pesawat N-219 ?

## 1.3 Batasan Masalah

Karena luasnya objek pengkajian maka perlu dilakukan pembatasan masalah agar pembahasan lebih terfokus pada rumusan masalah. Adapun batasan masalah pada skripsi ini adalah :

- 1) *Flap* yang digunakan adalah *flap* yang diadaptasi dari *flap* pesawat N-219.
- 2) Digunakan 1 motor DC yang bergerak secara linier.
- 3) Pengaturan yang dilakukan adalah pengaturan maju dan mundur motor DC linier untuk menentukan posisi *flap* yang diinginkan.

- 4) Untuk mengubah posisi *flap* digunakan *flap selector* dengan 4 posisi sudut  $0^{\circ}$ ,  $6^{\circ}$ ,  $18^{\circ}$  dan  $40^{\circ}$ .
- 5) Data yang digunakan adalah data ketinggian, ukuran pesawat dan posisi sudut *flap* yang diadaptasi dari data yang di dapat dari PT. Dirgantara Indonesia.
- 6) Sensor yang digunakan adalah Potensiometer Linier.
- 7) Pembahasan mekanik dan model matematis tidak dibahas secara mendalam, pembahasan ditekankan pada penggunaan kontroler PID pada sistem.

#### 1.4 Tujuan

Untuk merancang kontroler pengganti yang dapat mengontrol posisi sudut *flap* pada pesawat N-219 dan memiliki fungsi yang sama seperti *Electronic Control Unit* tetapi memiliki harga yang lebih murah.

#### 1.5 Sistematika Pembahasan

Skripsi ini terdiri dari enam bagian dengan sistematika sebagai berikut:

##### BAB I Pendahuluan

Menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.

##### BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perancangan dan pembuatan alat.

##### BAB III Metodologi Penulisan

Menjelaskan tentang metodologi penelitian yang terdiri dari studi literatur, perancangan alat, pembuatan alat, pengujian alat, serta pengambilan kesimpulan dan saran.

##### BAB IV Perancangan dan Pembuatan Alat

Menjelaskan tentang perancangan dan pembuatan alat yang meliputi prinsip kerja alat, perancangan perangkat keras, dan perangkat lunak.

#### **BAB V Pengujian dan Analisis**

Membahas hasil pengujian sistem yang sudah dibuat, serta analisis hasil yang diperoleh.

#### **Bab VI Kesimpulan dan Saran**

Menjelaskan tentang pengujian alat dan analisa yang meliputi pengujian bagian blok sistem dan pengujian sistem secara keseluruhan.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Untuk memudahkan dalam memahami cara kerja rangkaian maupun dasar-dasar perencanaan dari sistem yang dibuat, maka perlu adanya penjelasan dan uraian mengenai teori penunjang yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini.

Teori penunjang yang akan dijelaskan dalam bab ini adalah:

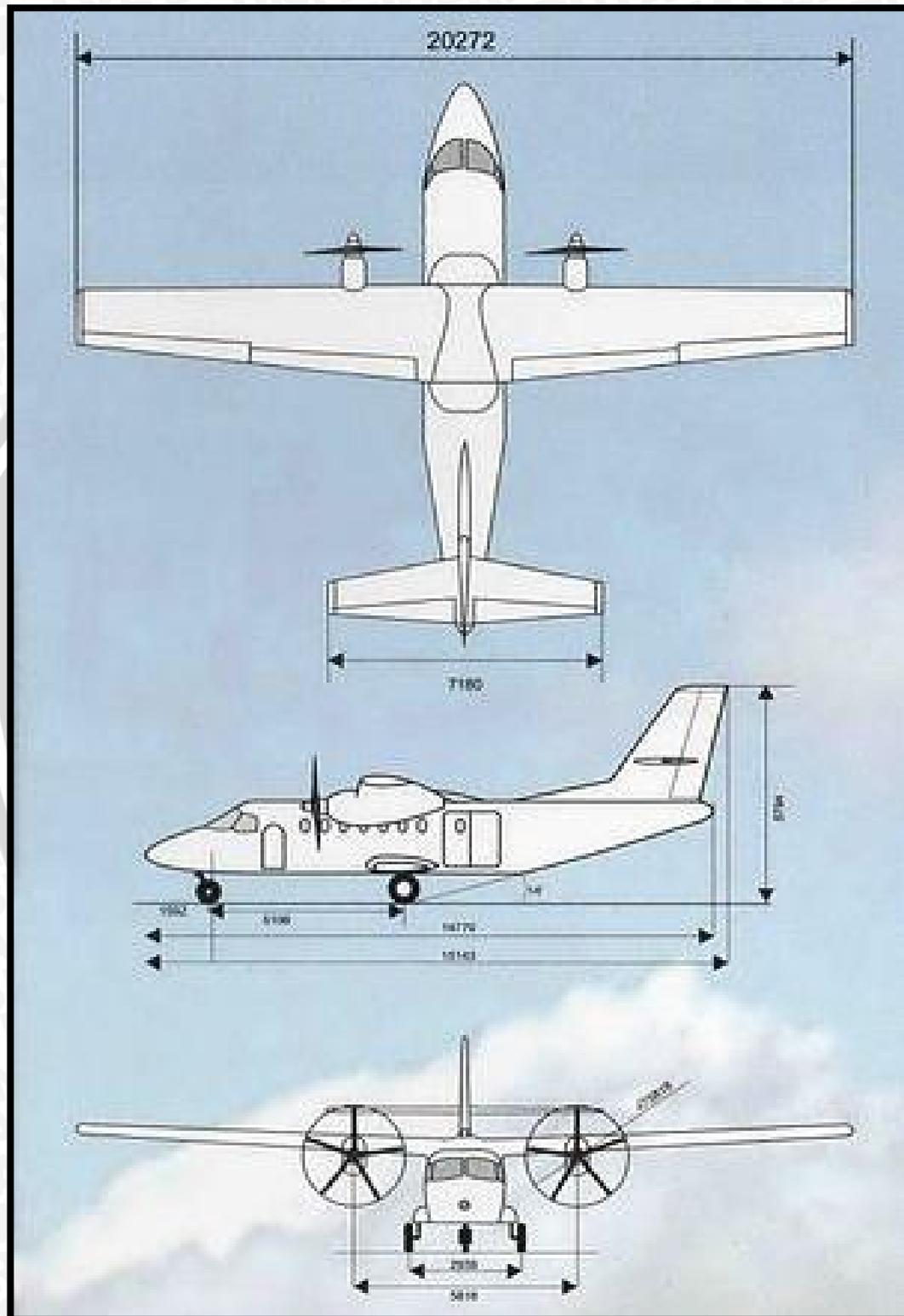
- Pesawat Terbang N-219
- Sayap Pesawat (*Wing*)
- Flaps
- Motor DC Linier
- Kontroler
- Rangkaian Pengkondisi Sinyal
- Potensiometer Linier

#### 2.1 Pesawat Terbang N-219

Pesawat Terbang N-219 adalah pesawat terbang komuter multi fungsi bermesin dua yang dirancang dan diproduksi oleh PT Dirgantara Indonesia dengan tujuan untuk dioperasikan di daerah-daerah terpencil. Pesawat terbang ini terbuat dari logam dan material lainnya yang dirancang untuk mengangkut penumpang maupun kargo. Pesawat terbang yang dibuat dengan memenuhi persyaratan FAR 23 (pengaturan dan regulasi dalam pesawat terbang) ini dirancang memiliki volume kabin terbesar di kelasnya dan pintu fleksibel yang memastikan bahwa pesawat ini dapat digunakan untuk mengangkut penumpang dan kargo.

Pesawat terbang ini memiliki dua mesin *turbo-propeller* dengan 5 bilah kipas pada setiap mesin. Memiliki desain dengan sayap yang dipasang pada bagian atas badan pesawat terbang dan roda pendaratan yang berkonfigurasi segitiga. Pesawat terbang yang dioperasikan oleh 1 pilot, 1 co-pilot ini dapat mengangkut hingga 19 penumpang. Kompartemen bagasi akan terletak pada dua bagian, pada

bagian hidung depan pesawat dan pada badan pesawat bagian bawah. Berikut adalah profil pesawat N-219, seperti pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1 Profil Pesawat Terbang N-219**

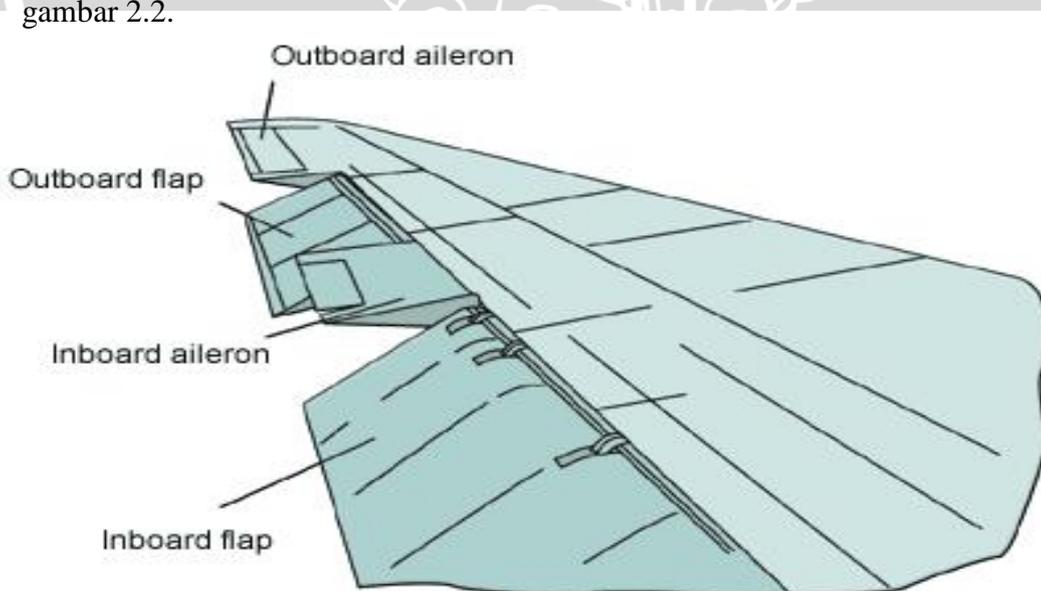
Sumber: Modul kerja PT.DI

## 2.2 Sayap Pesawat (*Wing*)

Fungsi utama dari sayap pesawat terbang adalah untuk menghasilkan kekuatan atau gaya angkat aerodinamis saat melakukan lepas landas dan untuk menjaga pesawat terbang seimbang saat di udara. Selain itu, ada dua manfaat lain dari sayap pada pesawat terbang yaitu menghasilkan gaya cengkram saat lepas landas dan mendarat. Pada sayap juga terdapat *flaps* dan *aileron* yang memberikan kontrol lateris pada pesawat terbang.

## 2.3 Flaps

Komponen *flaps* adalah salah satu permukaan kontrol sekunder yang terhubung dengan sayap pada tepi belakang dengan engsel sebagai penghubung. Jika *flaps* di gerakan turun (bertambahnya sudut antara *flaps* dan sayap) maka kecepatan anjlog (*stall speed*) akan turun sehingga menyebabkan pesawat terbang dapat lepas landas. Pada saat pesawat terbang akan mendarat, hal ini berguna ketika pesawat terbang mendekati landasan pacu (*approaching*), menjaga agar pesawat tidak kehilangan keseimbangan (*stall*). Komponen *flaps* juga dapat ditemukan di tepi depan sayap pada beberapa pesawat terbang terutama pesawat jet berkecepatan tinggi. Berikut tampilan sayap pada pesawat terbang, seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Komponen *flaps* pada sayap pesawat terbang

Sumber : Modul Kerja PT. DI

Pada Pesawat Terbang N-219, komponen pengendali sekunder *flaps* berguna untuk mengurangi kecepatan anjlog (*stall speed*) dengan menambahkan nilai dari *camber* (lengkungan ke atas pada bagian tengah sayap), dengan demikian nilai koefisien gaya angkat akan bertambah dan hal ini akan menambah luas dari permukaan sayap. Komponen *flaps* pada sayap kiri dan kanan selalu bergerak searah, jika *flap* kiri bergerak turun maka *flap* kanan juga akan bergerak turun dengan besar sudut yang sama. Pilot dapat mengatur posisi sudut dari *flaps* dengan menggunakan *flap selector* seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Flap selector pada cockpit  
Sumber : PT. Dirgantara Indonesia

#### 2.4 Kontroler

Sistem pengendalian dirancang untuk melakukan dan menyelesaikan tugas tertentu. Syarat utama sistem pengendalian adalah harus stabil. Di samping kestabilan mutlak, maka sistem harus memiliki kestabilan secara relatif, yakni tolak ukur kualitas kestabilan sistem dengan menganalisis sampai sejauh mana batas-batas kestabilan sistem tersebut jika dikenai gangguan (Ogata K.,1997). Selain itu analisis juga dilakukan untuk mengetahui bagaimana kecepatan sistem dalam merespons *input*, dan bagaimana peredaman terhadap adanya lonjakan (*over shoot*).

Suatu sistem dikatakan stabil jika diberi gangguan maka sistem tersebut akan kembali ke keadaan *steady state* di mana *output* berada dalam keadaan tetap seperti tidak ada gangguan. Sistem dikatakan tidak stabil jika *output*nya berosilasi terus menerus ketika dikenai suatu gangguan. Karena suatu sistem pengendalian

biasanya melibatkan penyimpanan energi maka *output* sistem ketika diberi suatu *input*, tidak dapat mengikuti *input* secara serentak, tapi menunjukkan respons transien berupa suatu osilasi teredam sebelum mencapai *steady state*.

Dalam sistem pengendalian terdapat 2 macam *loop*:

1. Pengendalian dengan *loop* terbuka

Sistem kontrol *loop* terbuka adalah sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengontrolan. Jadi pada sistem kontrol *loop* terbuka, keluaran tidak diukur atau diumpun balik untuk dibandingkan dengan masukan.

2. Pengendalian dengan *loop* tertutup

Sistem kontrol *loop* tertutup adalah sistem kontrol yang keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan. Disebut juga sistem kontrol yang menggunakan umpan balik untuk memperkecil kesalahan sistem.

## 2.5 Kontroler PID (Proporsional Integral Deferenisial)

### 2.5.1 Kontroler Proporsional (P)

Kontroler proporsional adalah sebuah kontroler yang memiliki karakteristik mempercepat respon. Hubungan antara keluaran kontroler  $m(t)$  dan sinyal kesalahan penggerak  $e(t)$  ditunjukkan pada persamaan 2.1:

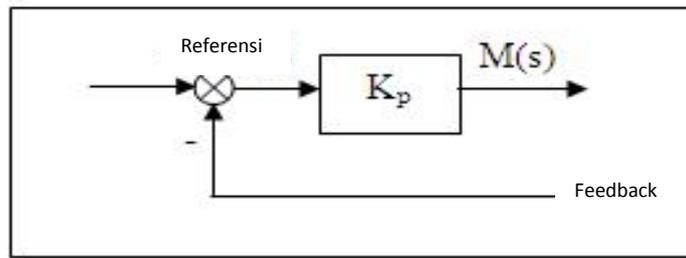
$$m(t) = K_p e(t) \quad (2.1)$$

atau, dalam besaran transformasi Laplace ditunjukkan pada persamaan 2.2

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \quad (2.2)$$

Dimana  $K_p$  adalah kepekaan proporsional atau penguatan.

Apapun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apapun bentuk daya penggeraknya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur (Ogata K.,1997). Diagram blok kontroler proporsional ditunjukkan pada Gambar 2.4.



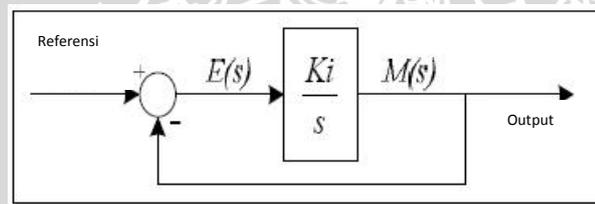
Gambar 2.4 Diagram Blok Kontroler Proporsional  
 Sumber : OgataK., 1997

### 2.5.2 Kontroler Integral (I)

Kontroler integral memiliki kemampuan untuk mengurangi *offset* yang ditinggalkan oleh kontroler proporsional. Harga keluaran kontroler  $m(t)$  diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak  $e(t)$ . Persamaan kontroler  $K_i$  ditunjukkan dalam persamaan 2.3.(Ogata K.,1997).

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i e(t) \tag{2.3}$$

$K_i$  adalah penguatan integral. Gambar 2.5 menunjukkan diagram blok kontroler integral.



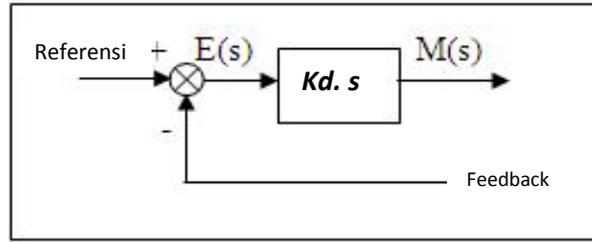
Gambar 2.5 Diagram Blok Kontroler Integral  
 Sumber : OgataK., 1997

### 2.5.3 Kontroler Differensial (D)

Kontroler ini digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respons transien sebuah sistem kontrol dengan cara memperbesar *phase lead* terhadap penguatan kontrol dan mengurangi *phase lag* penguatan tersebut (Ogata K.,1997). Kontroler differensial tidak dapat mengeluarkan *output* bila tidak ada perubahan *input*, selain itu kontroler differensial tidak dapat digunakan untuk proses yang mengandung *noise*. Hubungan antara keluaran kontroler  $m(t)$  dan sinyal kesalahan penggerak  $e(t)$  dinyatakan pada persamaan 2.4 :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_d \cdot s \tag{2.4}$$

$K_d$  adalah penguatan differensial. Gambar 2.6 menunjukkan diagram blok kontroler differensial.



Gambar 2.6 Diagram Blok Kontroler Differensial  
 Sumber : OgataK., 1997

**2.5.4 Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID)**

Gabungan aksi kontrol proporsional, integral, dan differensial mempunyai keunggulan dibandingkan dengan masing-masing dari tiga aksi kontrol tersebut. Masing – masing kontroler P, I, maupun D berfungsi untuk mempercepat reaksi sistem, menghilangkan *offset*, dan mendapatkan energi ekstra ketika terjadi perubahan *load*.

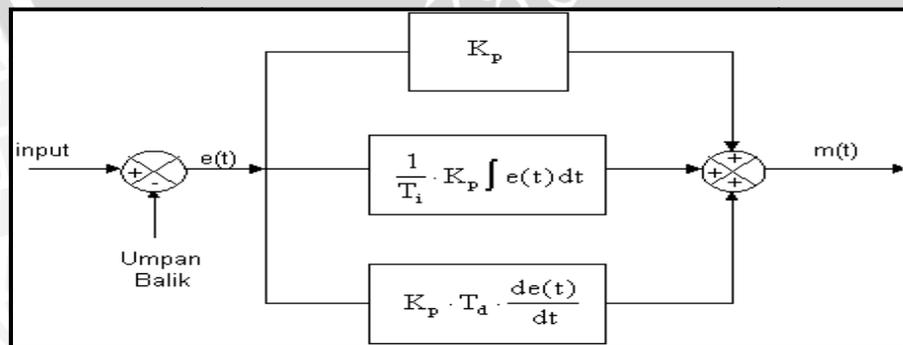
Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan dalam persamaan 2.5 :

$$m(t) = Kp \cdot e(t) + \frac{Kp}{Ti} \cdot e(t)dt + Kp \cdot Td \frac{de(t)}{dt} \tag{2.5}$$

Dalam transformasi Laplace dinyatakan dalam persamaan 2.6 :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kp \left( 1 + \frac{1}{Ti \cdot s} + Td \cdot s \right) \tag{2.6}$$

Ti adalah waktu integral dan Td adalah waktu derivatif. Gambar 2.7 menunjukkan diagram blok kontroler PID.



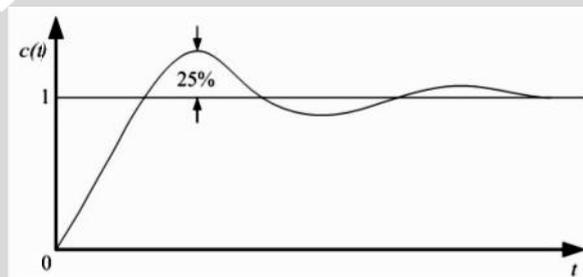
Gambar 2.7 Diagram Blok Kontroler PID  
 Sumber : OgataK., 1997



### 2.5.5 Metode Perancangan Kontroler Proporsional Integral Deferenensial (PID) Menggunakan Metode Ziegler-Nichols

Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari gain proporsional  $K_p$ , waktu integral  $T_i$ , dan waktu derivatif  $T_d$  berdasarkan karakteristik respon transien dari *plant* yang diberikan. Penentuan parameter kontroler PID atau penalaan kontroler PID tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan plan. (Ogata, K., 1997)

Terdapat dua metode yang disebut dengan aturan penalaan Ziegler-Nichols, pada kedua metode tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu untuk mencapai 25% *maximum overshoot* pada respon unit step, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.8

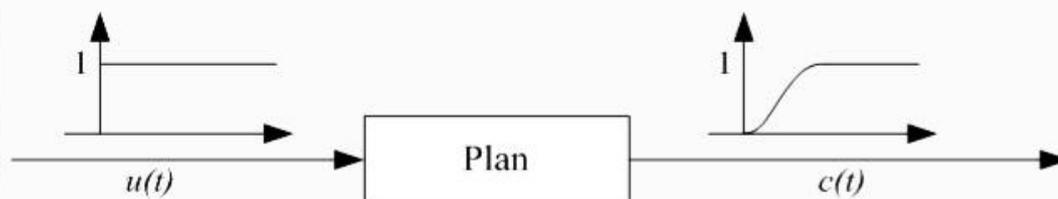


Gambar 2.8 Kurva Respon Unit Step yang Menunjukkan 25% Maximum Overshoot

Sumber: Ogata, K., 1997

#### a). Metode Pertama

Metode pertama atau sering disebut metode kurva reaksi, respon dari plan dapat dapat diperoleh secara eksperimental dengan masukan berupa unit step, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.9

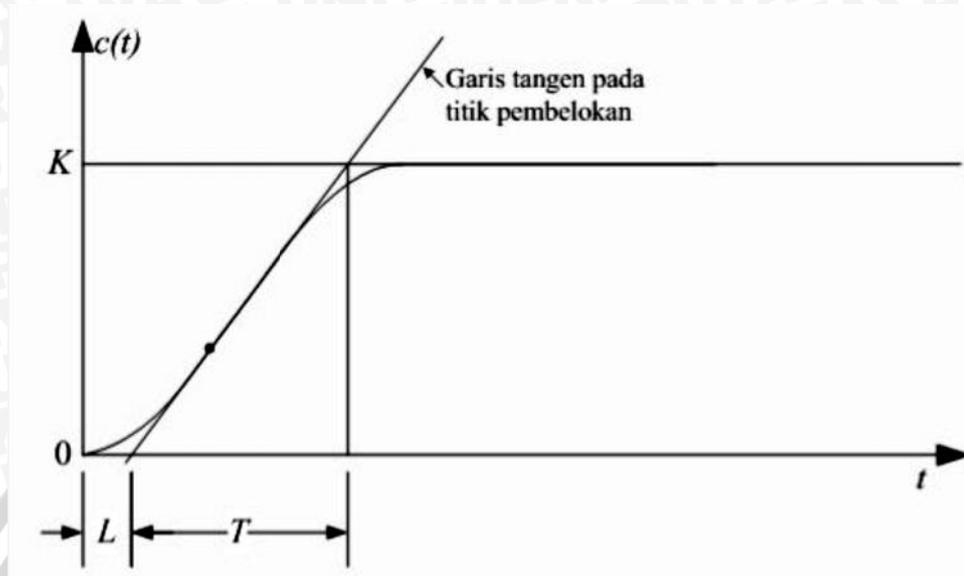


Gambar 2.9 Respon Plant Terhadap Masukan Berupa Unit Step

Sumber: Ogata, K. 1997

Jika dalam plan tersebut terdapat integrator atau *dominan complex-conjugate poles*, maka kurva respon unit step berbentuk seperti huruf S, seperti

dalam Gambar 2.10 jika respon tidak memberikan bentuk kurva S, maka metode ini tidak berlaku. (Ogata, K., 1997).



**Gambar 2.10 Kurva Respon yang Berbentuk S**

Sumber: Ogata, K. 1997

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda  $L$  dan konstanta waktu  $T$ . Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis tangen pada titik pembelokan dari kurva S, dan menentukan perpotongan antara garis tangen dengan sumbu waktu  $t$  dan sumbu  $c(t) = K$ , seperti yang telah ditunjukkan dalam Gambar 2.10 Fungsi alih  $C(s)/U(s)$  dapat dilakukan pendekatan dengan sistem orde satu dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1}$$

Sumber: Ogata, K. 1997

Ziegler dan Nichols menyarankan untuk menentukan nilai-nilai dari  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$  berdasarkan pada formula yang ditunjukkan dalam Tabel 2.1. (Ogata, K., 1997).

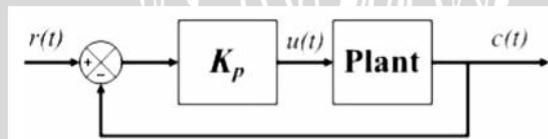
Tabel 2.1. Aturan Penalaan Ziegler-Nichols Berdasarkan Respon Unit Step Dari Plan

Tipe Kontroler	$\frac{K_p}{K_p}$	$\frac{T_i}{T_i}$	$\frac{T_d}{T_d}$
P	$\frac{K_p}{K_p}$	$\frac{T_i}{T_i}$	0
PI	$0,9 \frac{T_i}{L}$	$\frac{T_i}{6,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T_i}{L}$		$0,5 L$

Sumber: Ogata, K. 1997

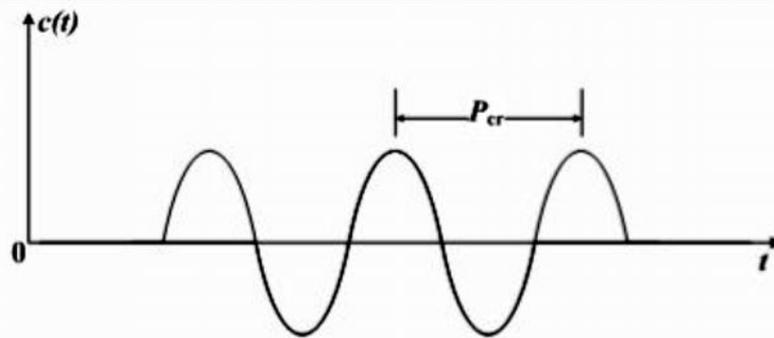
b). Metode Kedua

Dalam metode kedua ziegler-nichols, mula-mula yang dilakukan adalah membuat  $T_i = \infty$  dan  $T_d = 0$ . Kemudian hanya dengan menggunakan tindakan kontrol proporsional, harga ditingkatkan dari nol ke suatu nilai kritis  $K_{cr}$ , disini mula-mula keluaran memiliki osilasi yang berkesinambungan (Jika keluaran tidak memiliki osilasi berkesinambungan untuk nilai  $K_p$  manapun yang telah diambil, maka metode ini tidak berlaku). Dari keluaran yang berosilasi secara berkesinambungan, penguatan kritis  $K_{cr}$  dan periode  $P_{cr}$  dapat ditentukan. Diagram blok sistem loop tertutup dengan kontroler proporsional dapat dilihat dalam Gambar 2.11. dan untuk osilasi berkesinambungan dengan periode  $P_{cr}$  dapat dilihat dalam gambar 2.12. Ziegler dan Nichols menyarankan penyetelan nilai parameter  $K_p, T_i, T_d$  dan berdasarkan rumus yang diperlihatkan dalam Tabel 2.2 (Ogata, K., 1997).



Gambar 2.11 Sistem Loop Tertutup dengan Kontroler Proporsional

Sumber: Ogata, K., 1997



Gambar 2.12 Osilasi Berkesinambungan dengan Periode  $P_{cr}$   
 Sumber: Ogata, K., 1997

Tabel 2.2 Aturan Dasar Ziegler-Nichols Berdasarkan Critical Gain  $K_{cr}$  dan Critical Period  $P_{cr}$

Tipe Kontroler	$K_P$	$T_i$	$T_d$
P	$0.5 K_{cr}$		0
PI	$0.45 K_{cr}$	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	$0.60 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

Sumber: Ogata, K., 1997

## 2.6 Mikrokontroler

Mikrokontroler populer yang pertama dibuat oleh Intel pada tahun 1976, yaitu mikrokontroler 8-bit Intel 8748. Mikrokontroler tersebut adalah bagian dari keluarga mikrokontroler MCS-48. Sebelumnya, Texas instruments telah memasarkan mikrokontroler 4-bit pertama yaitu TMS 1000 pada tahun 1974. TMS 1000 yang mulai dibuat sejak 1971 adalah mikrokomputer dalam sebuah chip, lengkap dengan RAM dan ROM.

Pengendali mikro (*microcontroller*) adalah sistem mikroprosesor lengkap yang terkandung di dalam sebuah chip. Mikrokontroler berbeda dari mikroprosesor serba guna yang digunakan dalam sebuah PC, karena sebuah mikrokontroler umumnya telah berisi komponen pendukung sistem minimal mikroprosesor, yakni memori dan antarmuka I/O.

Berbeda dengan CPU serba-guna, mikrokontroler tidak selalu memerlukan memori eksternal, sehingga mikrokontroler dapat dibuat lebih murah dalam kemasan yang lebih kecil dengan jumlah pin yang lebih sedikit.

Sebuah *chip* mikrokontroler umumnya memiliki fitur:

- a) *central processing unit* - mulai dari prosesor 4-bit yang sederhana hingga prosesor kinerja tinggi 64-bit.
- b) input/output antarmuka jaringan seperti *port serial* (UART)
- c) antarmuka komunikasi serial lain seperti I<sup>2</sup>C, *Serial Peripheral Interface* and *Controller Area Network* untuk sambungan sistem
- d) periferal seperti *timer* dan *watchdog*
- e) RAM untuk penyimpanan data
- f) ROM, EPROM, EEPROM atau *Flash memory* untuk menyimpan program komputer
- g) pembangkit *clock* - biasanya berupa resonator rangkaian RC
- h) pengubah analog-ke-digital

### 2.6.1 Mikrokontroler ATmega328

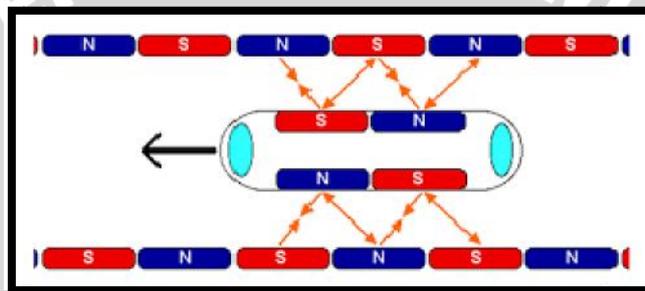
Atmel ATmega328 adalah mikrokontroler CMOS 8-bit berdaya rendah berbasis AVR yang arsitektur RISCnya telah ditingkatkan. Hampir semua instruksi dieksekusi dalam satu siklus *clock*, mempunyai *throughput* mendekati 1 MIPS per MHz membuat desainer sistem untuk mengoptimasi konsumsi daya versus kecepatan proses.

Atmel ATmega328 memiliki beberapa fitur antara lain 8Kbytes *In-system Programmable Flash with Read-While-Write*, 1K bytes EEPROM, 2K bytes SRAM, 23 jalur I/O untuk tujuan umum, 32 *working registers* untuk tujuan umum, tiga *timer/counter* yang fleksibel dengan *compare mode*, internal dan *external interrupt*, sebuah serial *programmable USART*, sebuah *byte-oriented 2-wire Serial Interface*, sebuah port SPI serial, sebuah 6-channel 10-bit ADC, sebuah *Watchdog Timer* yang *programmable* dengan internal osilator. Seperti dalam Gambar 2.15.



## 2.7 Motor DC Linier

Motor DC linier adalah motor elektrik yang menghasilkan output berupa gaya linier, sama halnya dengan motor elektrik lainnya motor linier memiliki rotor dan stator. Dalam desain motor linier ini, gaya dihasilkan dari medan magnet yang bergerak secara linier, yang bekerja pada konduktor dalam medan magnet. Semua jenis konduktor, bisa berupa loop, koil, atau selembar logam yang ditempatkan di medan magnet akan memiliki arus yang terinduksi sehingga menghasilkan medan magnetik yang berlawanan. Dua medan magnetik yang berlawanan akan saling menolak. Jika hal ini terus dilakukan secara linear, maka akan menghasilkan gerakan linear.



Gambar 2.15 Motor DC Linier

Sumber: [waliteknologi.blogspot.com](http://waliteknologi.blogspot.com)

## 2.8 Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Rangkaian pengkondisi sinyal merupakan rangkaian untuk merubah level tegangan, dari level rendah ke tinggi dan juga sebaliknya. Sangat banyak penerapan rangkaian pengkondisi sinyal, salah satu yang paling sering digunakan adalah permasalahan yang sering terjadi antara tegangan keluaran dari sensor dengan tegangan masukan untuk mikrokontroler. Tegangan keluaran dari sensor berkisar 0-3.3 volt, tegangan masukan untuk mikrokontroler 5 volt dengan demikian Rangkaian pengkondisi sinyal harus menaikkan tegangan keluaran sensor hingga mencapai 5 volt.

## 2.9 Potensiometer Linier

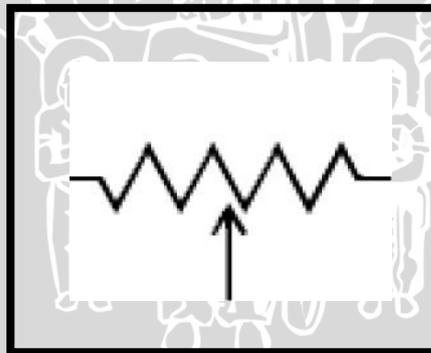
Potensiometer Linier adalah Resistor tiga terminal dengan sambungan geser yang membentuk pembagi tegangan dapat disetel. Jika hanya dua terminal yang digunakan (salah satu terminal tetap dan terminal geser), Potensiometer Linier berperan sebagai resistor variabel. Potensiometer linier memiliki kepresisian

dan perubahan resistansi yang linier yang terdapat antara tiga kakinya apabila terjadi perderajat pergeseran pada poros potensiometer linier tersebut. Potensiometer Linier biasanya digunakan untuk menunjukkan level atau sering juga digunakan sebagai indikator. Bisa juga digunakan untuk mengendalikan peranti elektronik seperti pengendali suara pada penguat. Potensiometer yang dioperasikan oleh suatu mekanisme dapat digunakan sebagai transduser, misalnya sebagai sensor joystick. Berikut tampilan dan skematik potensiometer linier, seperti pada gambar 2.16 dan 2.17.



**Gambar 2.16 Potensiometer**

Sumber : Wikipedia.org



**Gambar 2.17 Skematik Potensiometer**

Sumber : Wikipedia.org

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian yang terdapat di bab pendahuluan maka diperlukan langkah-langkah untuk menyelesaikan masalah tersebut. Metode yang digunakan dapat diuraikan sebagai berikut :

#### 3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan agar dapat memahami komponen penyusun sistem. Studi literatur yang dilakukan tentang *flight control, flap system*, rangkaian elektrik, Potensiometer Linier, motor elektrik linier, , rangkaian pengkondisi sinyal.

#### 3.2 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta rangkaian elektronik pendukungnya, hal ini dimaksudkan agar sistem pada model miniatur pesawat N-219 tersebut dapat berjalan sesuai dengan deskripsi awal yang telah direncanakan. Perancangan sistem yang dilakukan meliputi:

- Penentuan motor DC yang digunakan dalam model miniatur pesawat N-219
- Penentuan spesifikasi sistem yang akan dibuat, meliputi :
  - a. Penentuan deskripsi kerja sistem secara keseluruhan.
  - b. Mencari parameter PID menggunakan metode *Ziegler-Nichols I*
- Perancangan program pada Arduino Uno sebagai pusat pengontrol sistem.

### 3.3 Realisasi Pembuatan Sistem

Untuk merealisasikan alat atau sistem yang telah dirancang sebelumnya maka perlu diperhatikan beberapa tahapan dalam pembuatan alat tersebut, diantaranya yaitu :

- Penyempurnaan mekanik model miniatur pesawat N-219 secara keseluruhan yang meliputi penentuan batasan sudut putar motor DC serta pemasangan sensor dan motor.
- Pembuatan rangkaian elektronika meliputi rangkaian potensiometer dan penguat tegangan.
- Pembuatan program pengontrolan menggunakan Arduino Uno.

### 3.4 Pengujian dan Analisa Data

Setelah semua komponen pada alat sudah terhubung sesuai dengan diagram blok sistem yang telah dirancang dan perangkat lunak untuk mendukung sistem telah dibuat, maka diadakan pengujian dan analisa alat. Metode pengujian alat adalah sebagai berikut :

- Pengujian pada sensor yang digunakan :  
Pengujian pada sensor dilakukan untuk mengetahui kelinieran potensiometer yang akan digunakan sebagai sensor. Pengujian dilakukan dengan cara mengukur tegangan keluaran dan resistansi dengan multimeter setiap perubahan  $2^{\circ}$  pada potensiometer menggunakan penggaris busur.
- Pengujian Motor DC  
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai torsi yang terdapat pada motor DC. Pengujian dilakukan menggunakan catu daya 12VDC dan *tachometer*.
- Pengujian tanpa Kontroler  
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kinerja sistem secara keseluruhan dan mengamati respons terhadap setpoint ketika tanpa kontroler. Dengan begitu kita dapat menentukan bahwa sistem ini perlu diberikan pengontrolan atau tidak.

- Mengadakan pengujian sistem secara keseluruhan.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kinerja sistem secara keseluruhan dan mengamati respons kontroler terhadap setpoint berbeda dan ketika diberi setpoint secara acak.

### 3.5 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan diambil berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian sistem secara keseluruhan. Jika hasil yang didapatkan telah sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya, maka sistem kendali tersebut telah berhasil memenuhi harapan dan tentunya memerlukan pengembangan lebih lanjut untuk penyempurnaan.



## BAB IV

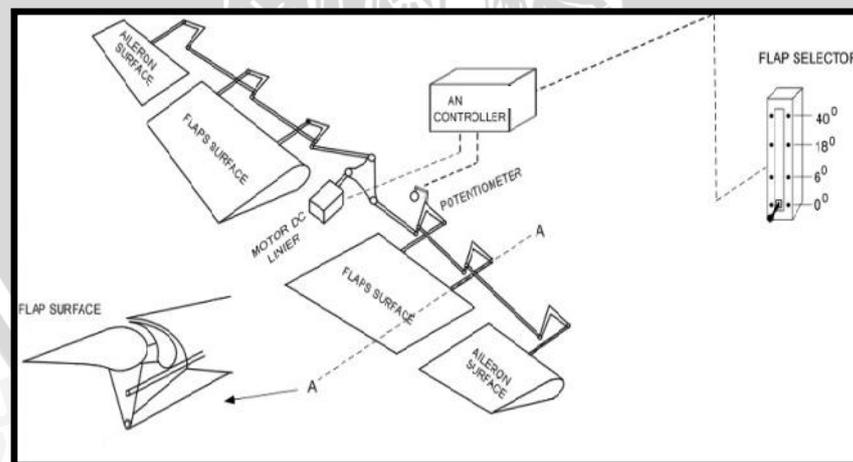
### PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan dan pembuatan dalam skripsi ini bertujuan untuk merancang beberapa perangkat maupun alat secara keseluruhan. Perancangan perangkat tersebut meliputi perancangan perangkat keras maupun perancangan perangkat lunak. Sedangkan pembuatan bertujuan untuk menghasilkan semua perangkat pendukung maupun alat secara keseluruhan.

#### 4.1 Spesifikasi Sistem

Spesifikasi alat yang di rancang adalah sebagai berikut:

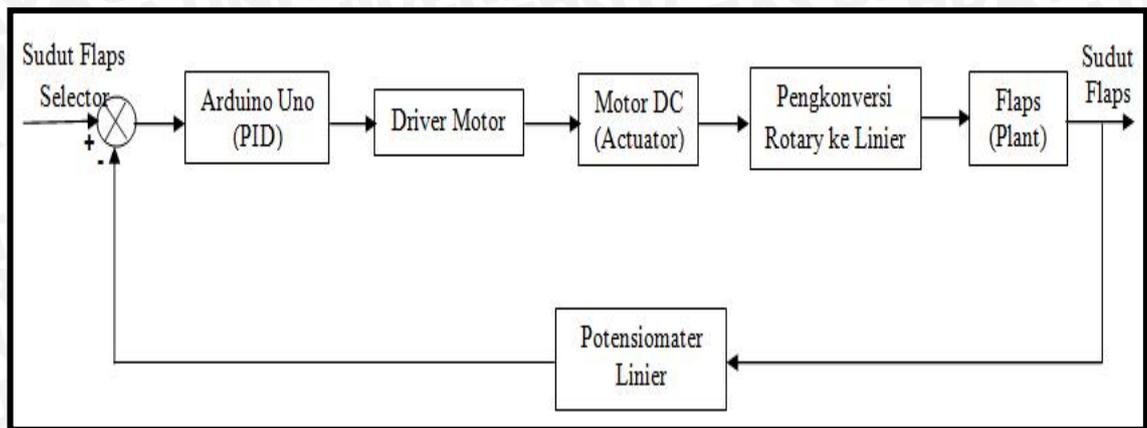
1. Motor DC 12V yang dirancang agar bergerak linier.
2. RPM maksimum yang dihasilkan motor DC yaitu 2280.
3. Ukuran model miniatur pesawat diadaptasi dari ukuran sebenarnya dari pesawat N-219.
4. Arduino Uno berbasis mikrokontroler ATmega328.
5. Menggunakan Potensiometer Linier 10k ohm sebagai sensor.
6. Motor DC dengan tegangan masukan 12 V dan memiliki torsi sebesar 13.6 kg-cm.
7. Skema perancangan sistem dapat dilihat dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Skema Keseluruhan Sistem

## 4.2 Diagram Blok Sistem

Diagram balok sistem yang dirancang ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.2 Diagram Blok Sistem

Keterangan dari blok diagram diatas adalah sebagai berikut :

- *Set point* sistem berupa sudut yang dipilih menggunakan saklar atau *flap selector*.
- Ada 4 posisi sudut yang digunakan sebagai *Set point* yaitu  $0^{\circ}$  untuk posisi *cruise*,  $6^{\circ}$  untuk posisi *take-off*,  $18^{\circ}$  untuk posisi *approach*,  $40^{\circ}$  untuk posisi *landing*.
- Pusat pengendalian sistem menggunakan Arduino Uno yang memberikan sinyal keluaran berupa *pulse width modulation* (PWM) ke *driver* DFRobot Arduino L298N, untuk menggerakkan motor DC.
- Motor yang digunakan adalah motor DC yang bergerak secara linier dan berfungsi sebagai aktuator.
- Sebagai *feed back* digunakan sensor potensiometer linier untuk mengetahui posisi sudut *flap* yang sebenarnya.

## 4.3 Prinsip Kerja Sistem

Cara kerja sistem adalah sebagai berikut :

- Catu daya sebesar + 5 Volt digunakan sebagai catu sensor potensiometer linier. Catu daya 12 Volt digunakan sebagai catu motor DC.
- Port komunikasi antara Arduino Uno dan PC menggunakan perantara kabel USB dengan kecepatan transfer data sebesar 9600 bps.

- Potensiometer sebagai sensor posisi *flap* pada model miniatur pesawat N-219. Potensiometer akan memberikan keluaran berupa level tegangan yang berubah-ubah sesuai dengan posisi *flap*.
- Masukan sistem berasal dari *flap selector* (saklar). *Flap selector* berfungsi sebagai penentu posisi sudut yang akan dituju sesuai dengan kebutuhan.
- Terdapat dua keadaan umum posisi flap yaitu posisi Up dan Down, masing-masing posisi umum tersebut terdapat tiga posisi khusus. Pada posisi up terdapat posisi  $0^{\circ}$ ,  $6^{\circ}$ ,  $18^{\circ}$  sedangkan pada posisi down terdapat posisi  $6^{\circ}$ ,  $18^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ . Penentuan posisi sudut diadaptasi dari data yang didapat dari PT. Dirgantara Indonesia.
- Untuk menggerakkan flap ke posisi down dengan sudut yang telah ditentukan M2 pada driver motor harus berlogika rendah atau 0, keadaan itu dapat kita rancang di dalam program. Saat *setpoint* ditentukan down maka motor DC yang telah dirancang untuk bergerak linier akan menarik flap surface agar flap dapat mencapai setpoint yang ditentukan, setelah mencapai sudut yang ditentukan Arduino akan membaca nilai error sama dengan nol yang didapat dari selisih antara setpoint dan keluaran potensiometer linier dan posisi sudut itu akan dipertahankan.
- Untuk menggerakkan flap ke posisi up dengan sudut yang telah ditentukan M2 pada driver motor harus berlogika tinggi atau 1, keadaan itu dapat kita rancang di dalam program. Saat *setpoint* ditentukan up maka motor DC yang telah dirancang untuk bergerak linier akan mendorong flap surface agar flap dapat mencapai setpoint yang ditentukan, setelah mencapai sudut yang ditentukan Arduino akan membaca nilai error samadengan nol yang didapat dari selisih antara setpoint dan keluaran potensiometer linier dan posisi sudut itu akan dipertahankan.

#### 4.4 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Berdasarkan diagram blok perancangan alat yang telah disusun, perangkat keras meliputi model miniatur pesawat N-219, rangkaian catu daya, *driver* motor, motor DC, potensiometer linier, penentuan parameter penguatan kontroler, modul Arduino Uno. Di bawah ini adalah penjelasan masing-masing rangkaian penyusun keseluruhan alat.

##### 4.4.1 Spesifikasi Alat

Spesifikasi model miniatur pesawat N-219 adalah sebagai berikut :

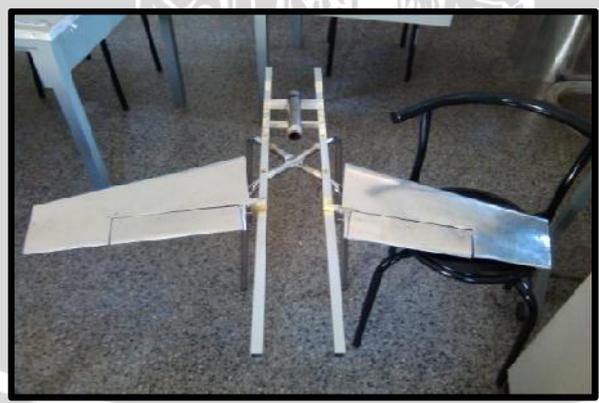
- Model miniatur pesawat N-219 yang dibuat memiliki ukuran yang diadaptasi dari ukuran pesawat sebenarnya.
- Pergerakan flap pada model miniatur pesawat N-219 menggunakan motor DC yang bergerak secara linier dan bahan yang digunakan adalah pipa alumunium sebagai rangka dan lembar alumunium sebagai kulitnya.
- Potensiometer yang digunakan adalah potensiometer linier 10 K $\Omega$  yang dipasang sejajar dengan motor DC.
- Rangka model miniatur pesawat N-219 dapat dilihat dalam Gambar 4.3.
- Pemasangan potensiometer sejajar dengan motor DC dapat dilihat dalam Gambar 4.4.
- Model miniatur flap pesawat N-219 dapat dilihat dalam Gambar 4.5.
- Ukuran pesawat N-219 dapat dilihat dalam Gambar 4.6.



Gambar 4.3 Rangka model miniatur



Gambar 4.4 Potensiometer linier sejajar dengan motor DC

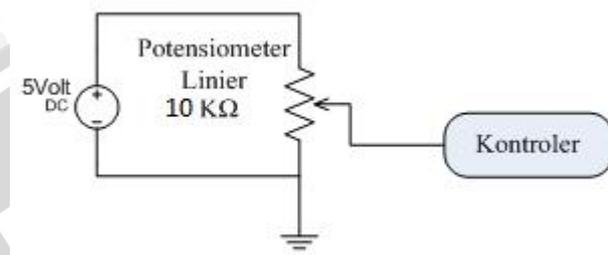


Gambar 4.5 Model miniatur pesawat N-219



#### 4.4.2 Potensiometer Linier

Potensiometer linier digunakan sebagai pengukur posisi sudut putaran motor DC. Penempatan sensor ini tepat sejajar dengan motor DC, jadi setiap perubahan sudut putar dari motor DC akan ikut mempengaruhi perubahan resistansi pada kaki potensiometer linier. Sistem perancangan dan hasil perancangan potensiometer linier ditunjukkan pada gambar 4.7 dan 4.8.



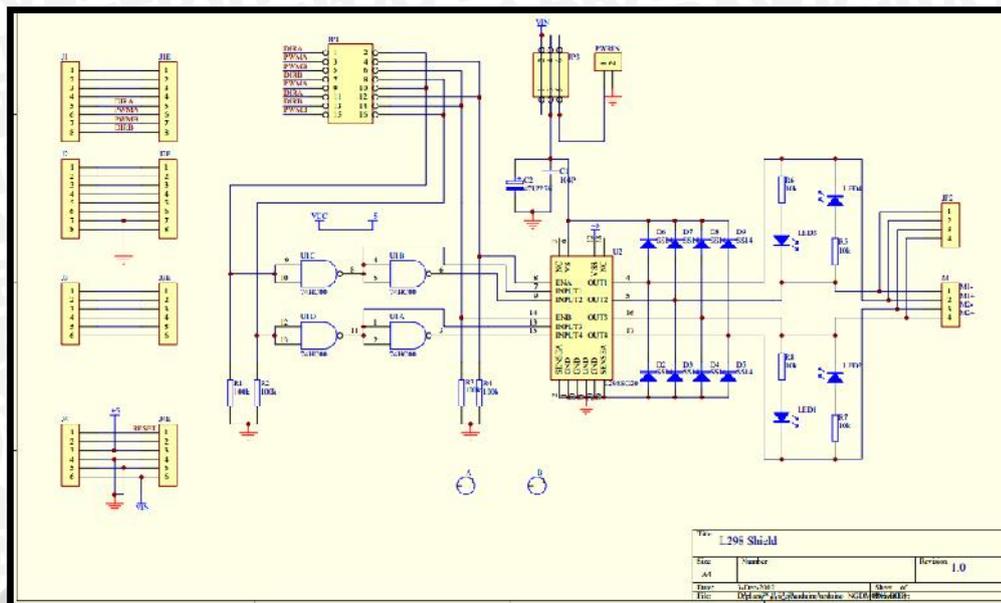
Gambar 4.7 Rangkaian Potensiometer



Gambar 4.8 Potensiometer Pada Sistem

#### 4.4.3 Driver DFRobot Arduino L298N

Modul pengendali motor DC digunakan untuk mengendalikan putaran motor DC yang menjadi penggerak pompa. Rangkaian ini dihubungkan dengan Arduino Uno. *Driver* pengendali pada perancangan ini menggunakan modul pengendali motor DC DFRobot Arduino L298N yaitu sebuah perangkat keras berupa rangkaian yang berfungsi untuk menggerakkan motor DC. Rangkaian skematik *driver* motor DC DFRobot Arduino L298N ditunjukkan pada Gambar 4.9.



**Gambar 4.9 Skematik Rangkaian Driver motor DC DFRobot Arduino L298N**  
 Sumber : *Datasheet DFRobot Arduino L298N*

Header pada driver motor DC DFRobot Arduino L298N berfungsi sebagai input untuk antarmuka dengan input-output digital serta output analog dari DFRobot Arduino L298N. Berikut deskripsi dari masing-masing pin ditunjukkan pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1 Fungsi Pin DFRobot Arduino L298N**

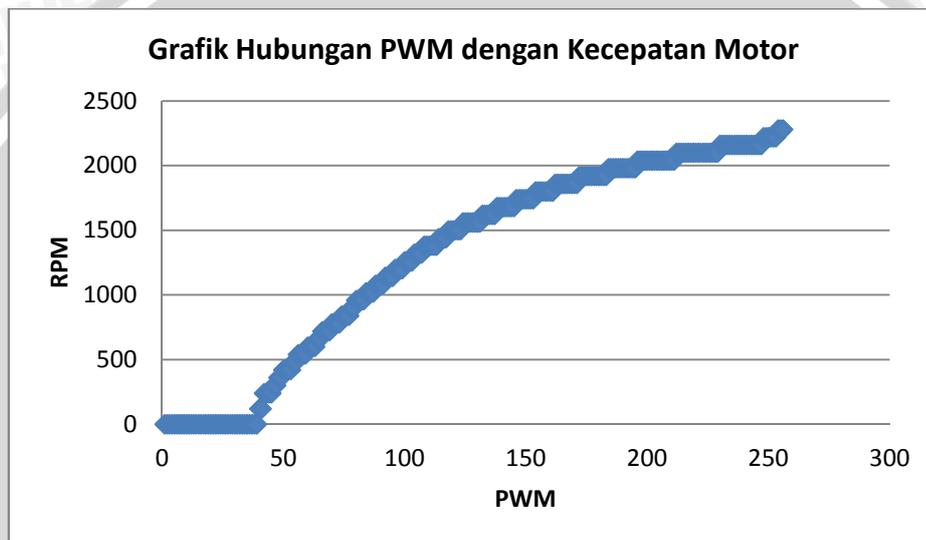
Pin		Function			
Digital 4		Motor 2 Direction control			
Digital 5		Motor 2 PWM control			
Digital 6		Motor 1 PWM control			
Digital 7		Motor 1 Direction control			
E1	M1	E2	M2		
L	X	L	X	Motor 1 Disabled	Motor 2 Disabled
H	H	H	H	Motor 1 Backward	Motor 2 Backward
PWM	X	PWM	X	PWM Speed control	PWM Speed control

Sumber : *Datasheet DFRobot Arduino L298N*



#### 4.4.4 Motor DC

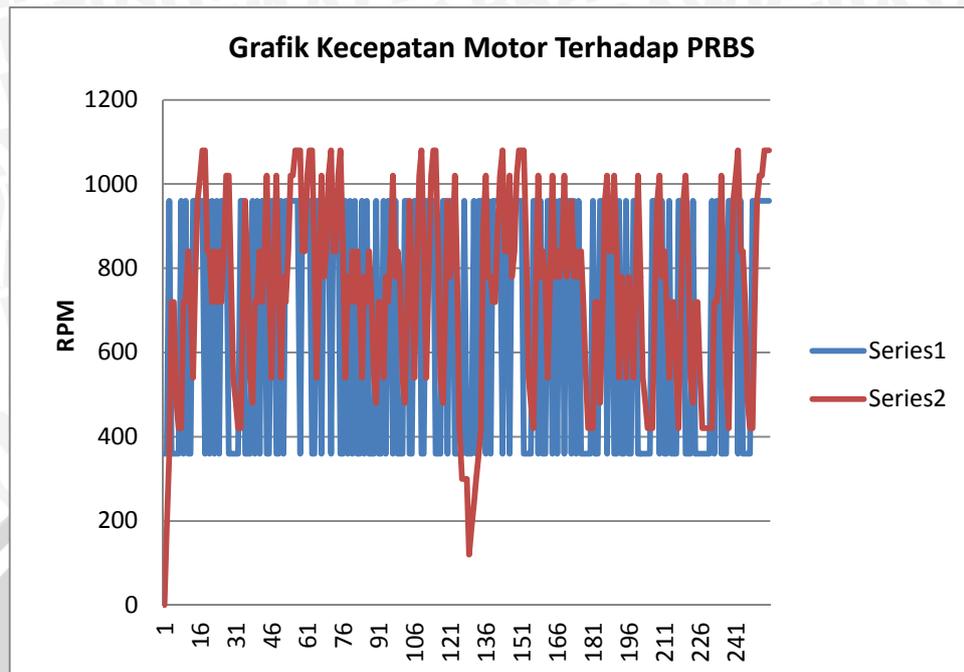
Pengendalian motor DC menggunakan rangkaian Arduino Uno sebagai pengolah dan memberikan data berupa *Pulse width Modulation* (PWM) agar motor bergerak. Motor DC yang digunakan pada perancangan ini tidak diketahui karakteristiknya, sehingga yang perlu dilakukan adalah melakukan pengujian dengan menggunakan rangkaian *optocoupler*. Karakteristik motor DC pada perancangan ini didapatkan dengan cara memberi masukan unit *step*. Hasil kecepatan motor terhadap PWM ditunjukkan dalam Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik Karakteristik Motor DC

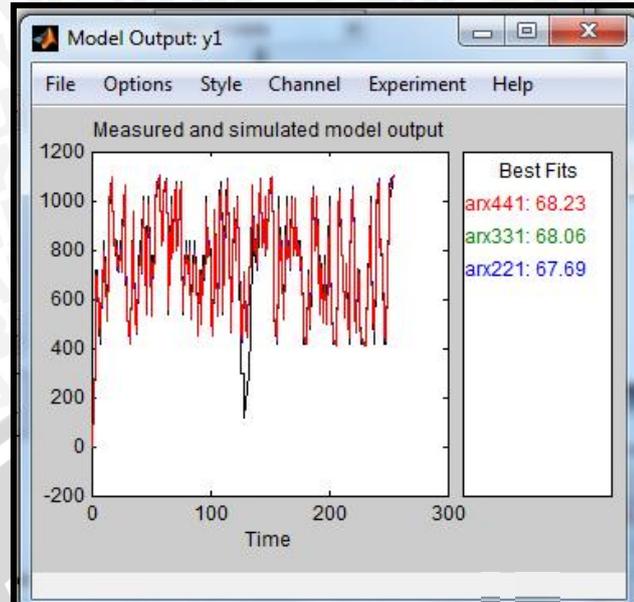
Fungsi alih motor didapatkan melalui pemodelan dengan cara membangkitkan sinyal *Pseudo Random Binary Sequence* (PRBS). Langkah yang dilakukan untuk membangkitkan sinyal PRBS adalah sebagai berikut :

1. Mencari nilai yang linear dari hasil kecepatan motor terhadap PWM pada Gambar 4.10
2. Memasukkan nilai dari grafik yang telah dicuplik pada Gambar 4.10 untuk membangkitkan sinyal PRBS. Hasil dari keluaran motor terhadap sinyal PRBS yang telah dibangkitkan ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik Kecepatan Motor DC Terhadap Sinyal PRBS

3. Setelah didapatkan sinyal PRBS selanjutnya adalah melakukan identifikasi dengan menggunakan MATLAB.
4. Digunakan identifikasi yaitu sistem identifikasi yang ada pada MATLAB. Data sinyal PRBS yang tadi telah disimpan kemudian diimport pada blok *system identification tool* sistem model yang digunakan adalah *Auto Regressive with Exogenous Input* (ARX) dan estimasi parameter yang sesuai adalah 2 2 1 dengan *best fit* sebesar 67.69 % yang ditunjukkan dalam Gambar 4.12



Gambar 4.12 Grafik Simulasi Model Output dengan Best Fit 67.69%

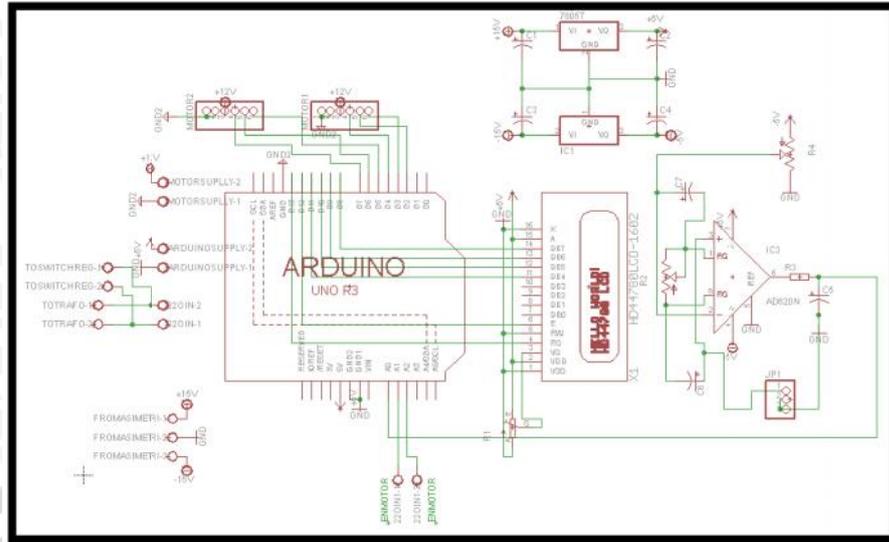
5. Dari hasil identifikasi, fungsi alih motor  $\frac{Y(s)}{U(s)}$  yang didapat adalah :

$$f_s = \frac{-0.0363s + 2.193}{s^2 + 2.682s + 1.91}$$

(4.8)

#### 4.4.5 Konfigurasi I/O Arduino Uno

Pada alat ini digunakan Arduino Uno sebagai pusat pengolah utama dalam melakukan proses pengendalian. Konfigurasi I/O dari Arduino Uno ditunjukkan dalam Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Skematik I/O Arduino Uno  
 Sumber: Arduino.cc

Fungsi masing masing pin Arduino Uno dapat dilihat dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Fungsi Pin Arduino Uno

No.	Pin	Fungsi
1	A0	Digunakan sebagai jalur masukan dari potensiometer linier
2	D2	Digunakan sebagai input setpoint 40
3	D4	Digunakan sebagai input setpoint 18
4	D8	Digunakan sebagai input setpoint 6
5	D12	Digunakan sebagai input setpoint 0

#### 4.4.6 Perancangan Kontroler

Memenuhi tujuan performansi loop yang diinginkan, maka perlu ditambahkan kontroler pada sistem tersebut. Kontroler yang dipilih ialah kontroler Proporsional Integral Differensial (PID). Setelah didapatkan fungsi alih sistem yaitu

$$f_s = \frac{-0.0363s+2.193}{s^2+2.9724s+19.454}$$

selanjutnya adalah menentukan letak simpul loop tertutup.

Respon sistem terhadap masukan fungsi unit *step* dapat dilihat pada Gambar 4.14.





Gambar 4.14 Grafik Simulasi Respon Sistem Tanpa Kontroler

Dari respon yang didapat, sistem memiliki *error steady state* sebesar 20% sehingga diperlukan kontroler untuk memperbaiki sistem. Setelah mendapatkan respon dari fungsi alih aktuator plan, maka langkah selanjutnya adalah menentukan identifikasi sistem, sebagai berikut :

- a) Menentukan nilai L dan T, dimana L merupakan waktu tunda dan T merupakan waktu kerja sistem.
- b) Menentukan parameter kontroler PID berdasarkan metode pertama Ziegler-Nichols (metode loop tertutup)

Respon sistem menghasilkan nilai  $L = 1$  dan  $T = 2.4$ . Metode perancangan kontroler PID Ziegler-Nichols tuning 1 sebagai berikut :

Tabel 4.3. Rumus parameter PID *ziegler-nichols* 1

Parameter PID	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$T/L$	-	0
PI	$0.9 T/L$	$L/0.3$	0
PID	$1.2 T/L$	$2L$	$0.5L$

Sumber: Ogata, K. 1997

Dari tabel 1 didapatkan nilai  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  yaitu dengan masing-masing bernilai :

$$K_p = 1.2 T/L = 1.2 \times 2.4/1 = 2.88$$

$$T_i = 2L = 2 \times 1 = 2$$

$$T_d = 0.5L = 0.5 \times 1 = 0.5$$

Nilai – nilai pengutan  $K_i$  dan  $K_d$  dapat dicari dengan rumus :

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{2.88}{2} = 1.44$$

$$K_d = K_p \times T_d = 2.4 \times 0.5 = 1.2$$

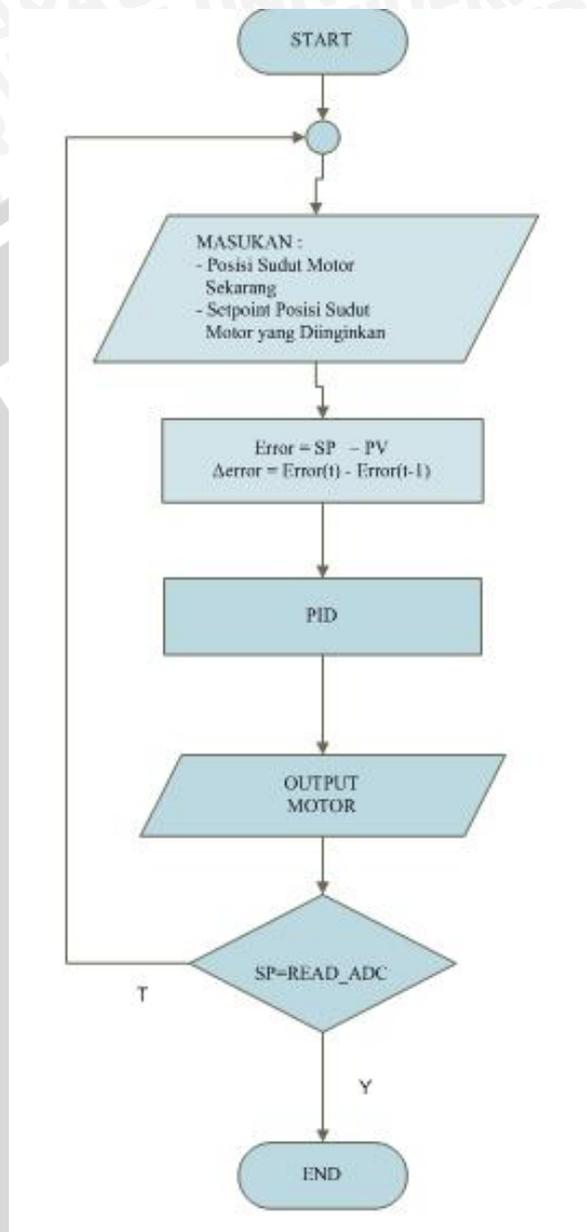
Setelah didapatkan nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  hasil perhitungan, kemudian dilakukan pengujian terhadap sistem, dan parameter yang sesuai dengan sistem.



## 4.5 Perancangan Perangkat Lunak

### 4.5.1 Flowchart Sistem Keseluruhan

Flowchart keseluruhan sistem ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.15 Flowchart Keseluruhan Sistem

## BAB V

### PENGUJIAN DAN ANALISIS

Tujuan pengujian sistem ini adalah untuk menentukan apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem ini meliputi pengujian setiap blok maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap blok ini dilakukan untuk menemukan letak kesalahan dan mempermudah analisis pada sistem apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perancangan. Pengujian dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu :

1. Pengujian potensiometer linier
2. Pengujian driver motor DC
3. Pengujian kecepatan motor DC
4. Pengujian tanpa kontroler
5. Pengujian keseluruhan sistem

#### 5.1. Pengujian Potensiometer Linier

##### a. Tujuan

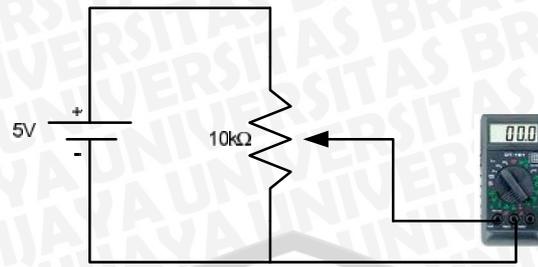
Mengetahui tingkat kelinieran dari potensiometer dalam membaca perubahan sudut putar motor DC.

##### b. Peralatan yang digunakan

- Potensiometer Linier.
- Multimeter.
- Penggaris busur.
- Catu daya 5 volt.

##### c. Langkah pengujian

1. Merangkai peralatan seperti pada Gambar 5.1
2. Potensiometer diputar dari  $0^\circ$  sampai  $40^\circ$
3. Mencatat dan menggambar data tegangan keluaran tiap  $2^\circ$  dari potensiometer untuk melihat kelinierannya.



Gambar 5.1. Pengujian Potensiometer

d. Hasil Pengujian

Tegangan keluaran dari potensiometer ditulis dalam persamaan

$$V_{output} = \frac{R_{potensiometer}}{R_{total}} \times V_{input} \tag{5.1}$$

Serta error pada pengujian potensiometer ditulis dalam persamaan

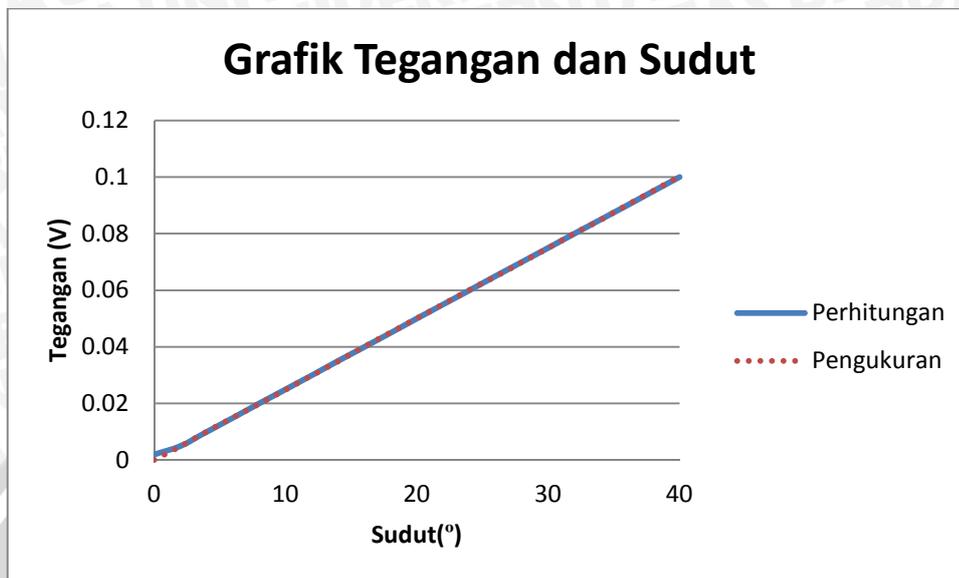
$$\text{Error} = \frac{\text{tegangan pengukuran} - \text{tegangan perhitungan}}{\text{tegangan pengukuran}} \times 100\% \tag{5.2}$$

data hasil pengujian potensiometer ditunjukkan dalam Tabel 5.1 berikut

Tabel 5.1 Data Hasil Pengujian Potensiometer

Posisi Sudut	Nilai Resistansi (ohm)	Tegangan Perhitungan (V)	Tegangan Terukur (V)	Error (%)
0 <sup>0</sup>	0.003	0.002	0.0019	5.00
2 <sup>0</sup>	5.800	0.005	0.0049	2.00
4 <sup>0</sup>	11.111	0.01	0.0101	1.00
6 <sup>0</sup>	16.998	0.015	0.0151	0.66
8 <sup>0</sup>	22.500	0.02	0.0199	0.50
10 <sup>0</sup>	28.000	0.025	0.0249	0.40
12 <sup>0</sup>	33.636	0.030	0.0299	0.33
14 <sup>0</sup>	39.102	0.035	0.0349	0.29
16 <sup>0</sup>	44.900	0.040	0.0401	0.25
18 <sup>0</sup>	50.300	0.045	0.0451	0.22
20 <sup>0</sup>	55.860	0.050	0.0501	0.20
22 <sup>0</sup>	61.426	0.055	0.0551	0.182
24 <sup>0</sup>	67.000	0.060	0.0601	0.167
26 <sup>0</sup>	72.628	0.065	0.0649	0.154
28 <sup>0</sup>	78.014	0.070	0.0699	0.143
30 <sup>0</sup>	83.640	0.075	0.0749	0.133
32 <sup>0</sup>	89.096	0.080	0.0801	0.125
34 <sup>0</sup>	94.742	0.085	0.0849	0.118
36 <sup>0</sup>	100.318	0.090	0.0901	0.111
38 <sup>0</sup>	105.864	0.095	0.0951	0.105
40 <sup>0</sup>	111.600	0.10	0.1002	0.100

Data dalam Tabel 5.1 dapat digambarkan menjadi bentuk grafik seperti dalam Gambar 5.2



Gambar 5.2. Grafik Hubungan Antara Tegangan dan Sudut

## 5.2. Pengujian Driver Motor DC

### a. Tujuan

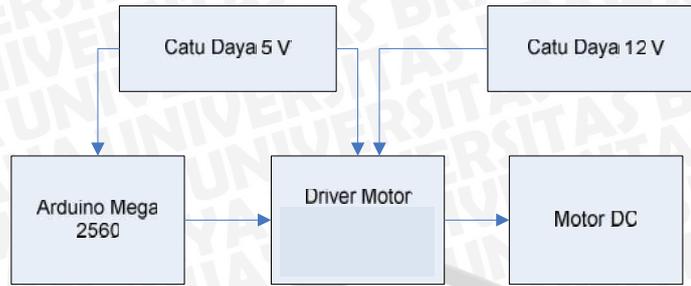
Mengetahui *output driver* motor apabila diberi *input* yang berbeda-beda.

### b. Peralatan yang digunakan

- Modul Arduino Uno
- *Driver* motor
- Motor DC
- Catu daya 5V dan 12V

### c. Langkah pengujian

1. Merangkai peralatan seperti dalam Gambar 5.3
2. Mengisi mikrokontroler dengan program yang mengeluarkan data keluaran biner dengan keluaran HIGH dan LOW
3. Mengaktifkan catu daya 5 volt dan 12 volt
4. Mencatat pergerakan motor DC



Gambar 5.3 Diagram Blok Pengujian *Driver Motor DC*

d. Hasil pengujian

Tabel 5.2 Hasil Pengujian *Driver Motor DC*

No	Logika Keluaran (M2)	Arah Putaran Motor DC
1	LOW	Searah Jarum Jam
2	HIGH	Berlawanan Arah Jarum jam

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5.2 dapat diketahui bahwa motor DC akan berputar searah jarum jam ketika M2 diberi logika *LOW*, dan apabila diberi logika *HIGH* maka motor akan berputar berlawanan arah jam. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa rangkaian *driver* motor DC ini dapat berjalan dengan baik pada sistem yang direncanakan.

5.3. Pengujian Kecepatan Motor DC

Tujuan

Untuk mengetahui letak posisi akhir sudut *flap* yang diinginkan yang telah digerakkan oleh motor DC.

b. Peralatan yang digunakan

- Modul Arduino Uno
- Optocoupler
- Piringan berlubang 64

c. Langkah pengujian

Mengukur kecepatan motor dengan nilai *Pulse Width Modulation* (PWM) yang berbeda, sehingga didapatkan kecepatan yang diinginkan.



d. Hasil pengujian

Hasil pengujian kecepatan motor dengan nilai *Pulse Width Modulation* (PWM) yang ditentukan ditunjukkan pada Tabel 5.3

**Tabel 5.3. Hasil Pengujian *Pulse Width Modulation* (PWM)**

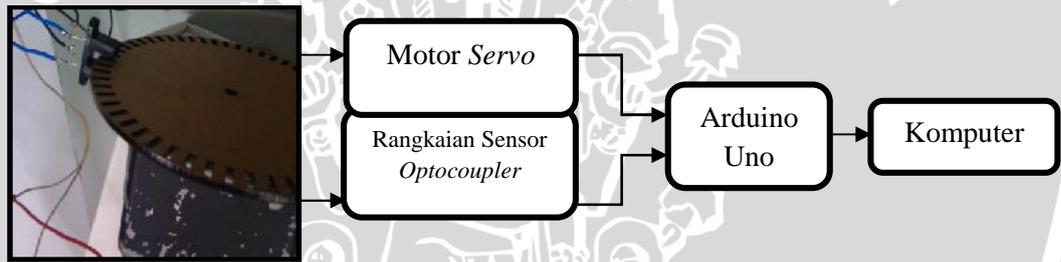
PWM	V MK (volt)	V Motor (volt)	RPM
10	0.215	0.28	0
20	0.410	0.61	0
30	0.410	0.61	0
40	0.795	1.29	120
50	0.984	1.63	420
60	1.176	2.08	600
70	1.351	2.76	780
80	1.542	2.87	960
90	1.752	3.45	1140
100	1.944	4.60	1260
110	2.136	5.50	1380
120	2.329	6.20	1500
130	2.522	6.70	1560
140	2.715	7.40	1680
150	2.907	7.77	1740
160	3.102	8.20	1800
170	3.292	8.54	1860
180	3.488	8.94	1920
190	3.660	9.20	1980
200	3.870	9.53	2040
210	4.050	9.90	2040
220	4.250	9.95	2100
230	4.420	10.10	2160
240	4.600	10.38	2160
250	4.780	10.54	2220
255	4.900	10.67	2280

#### 5.4. Pengujian Tanpa Kontroler

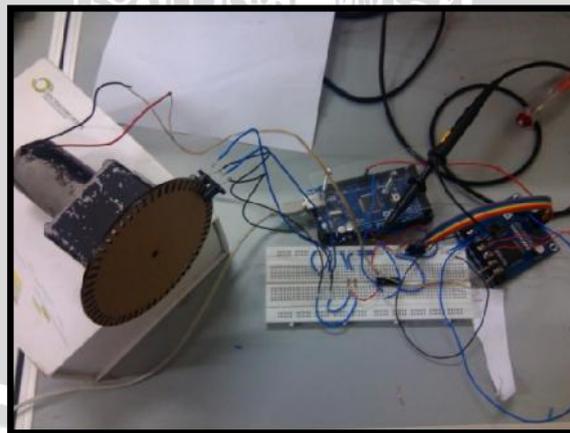
a. Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana perbedaan respon sistem terhadap *setpoint* ketika tanpa kontroler dengan menggunakan kontroler, sehingga dapat ditentukan bahwa sistem memerlukan sebuah sistem pengontrolan.

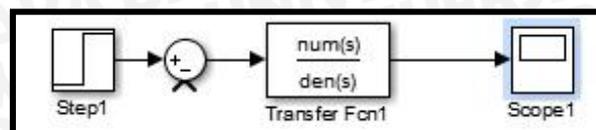
- b. Peralatan yang digunakan
  - Software Matlab
  - Arduino Uno
  - Motor DC
  - Optocoupler
  - Komputer
  - Program dan software Arduino.
- c. Langkah Pengujian
  1. Merangkai peralatan seperti Gambar 5.4 dan Gambar 5.5.
  2. Mengunduh program PRBS (*Pseudo Random Binary Sequence*) pada software Arduino ERW 1.0.5 untuk mendapatkan nilai fungsi alih motor.
  3. Menyusun blok diagram pada software simulink matlab untuk mensimulasikan sistem tanpa menggunakan dan menggunakan kontroler.
  4. Mengamati hasil keluaran sistem dengan menggunakan masukan *unitstep*.



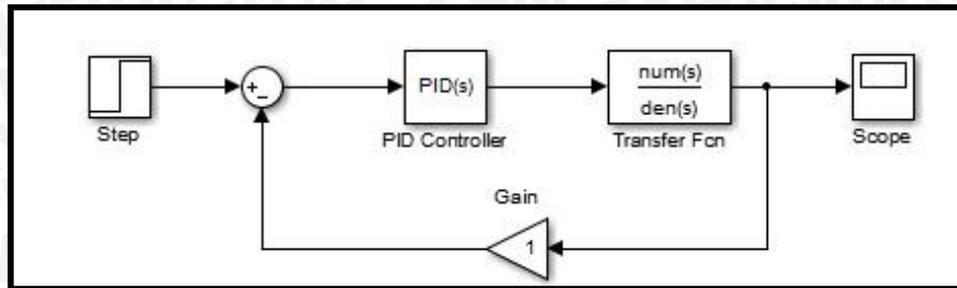
Gambar 5.4 Rangkaian Pengujian Sistem



Gambar 5.5 Rangkaian Pengujian Sistem Tanpa Kontroler



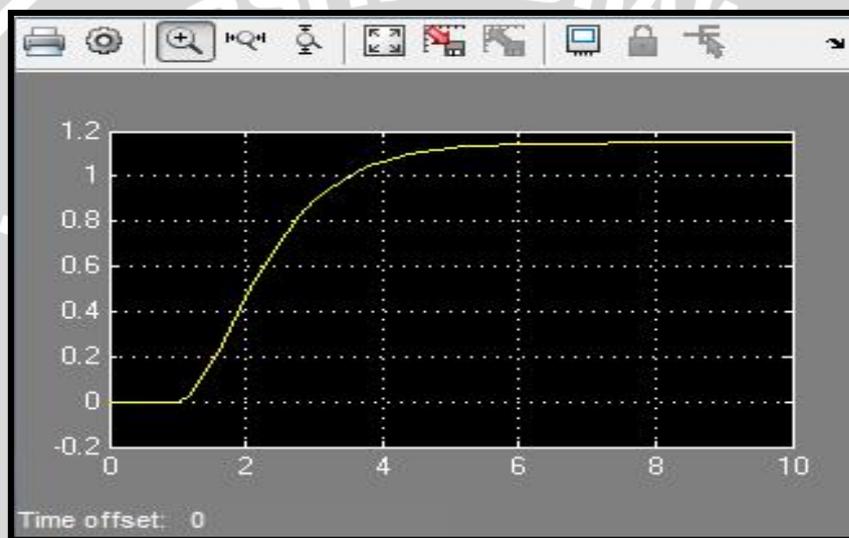
Gambar 5.6 Blok Diagram Sistem Tanpa Kontroler



Gambar 5.7 Rangkaian Pengujian Sistem Mnggunakan Kontroler

d. Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan hasil respon sistem pada *simulink matlab*. Grafik hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 5.8

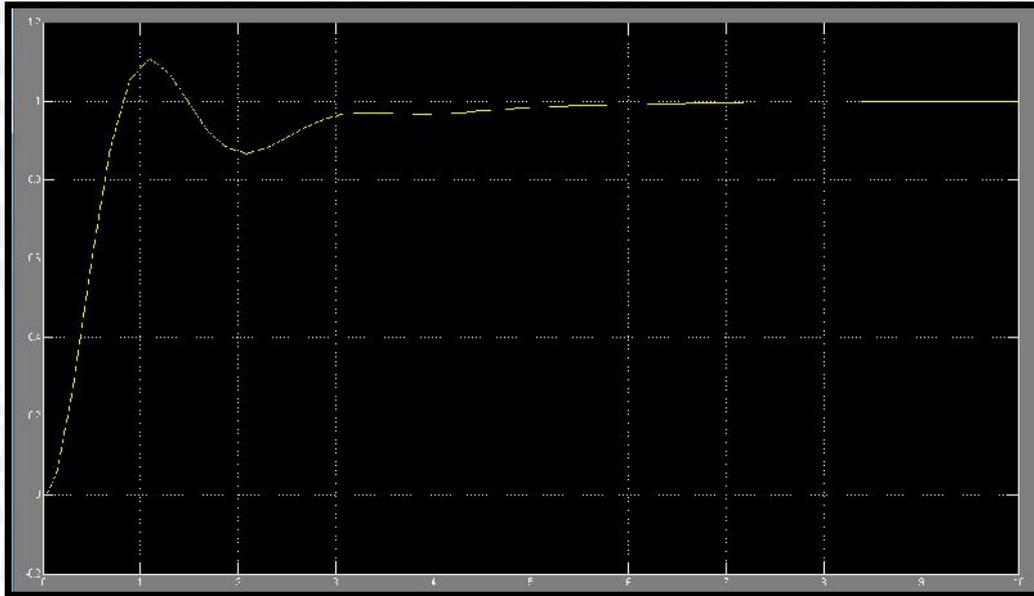


Gambar 5.8 Pengujian Sistem tanpa Kontoler dengan Masukan Unit Step

Dalam grafik diatas, sistem masih belum mencapai nilai dari *setpoint* yang ditentukan.

$$\begin{aligned}
 \% \text{ ess} &= \frac{|1.2 - 1|}{1} \times 100\% \\
 &= 0.2 \times 100\% \\
 &= 20\%
 \end{aligned}$$

Grafik respon sistem dengan kontroler dapat dilihat pada Gambar 5.9



Gambar 5.9 Pengujian Sistem menggunakan Kontroler dengan Masukan *Unit Step*

## 5.5. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

### a. Tujuan

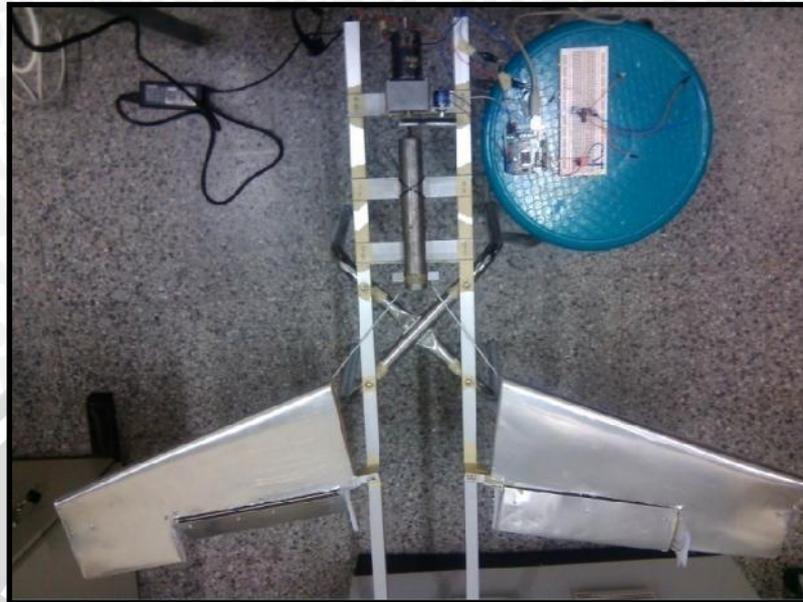
Pengujian dilakukan untuk mengetahui bagaimana respon keseluruhan sistem pengendalian posisi sudut *flap* pada model miniatur pesawat N-219 dapat bekerja dengan baik sesuai dengan *setpoint* yang diharapkan dengan parameter PID yang dicari menggunakan metode *Ziegler-nichols*  $K_p = 2.88$ ,  $K_i = 1.44$ ,  $K_d = 1.2$ .

### b. Peralatan Pengujian

- Model miniatur pesawat N-219
- Arduino Uno
- Potensiometer Linier
- Motor DC
- Catu Daya 12V
- Driver motor menggunakan *DFRobot Arduino L298N*

### c. Langkah Pengujian

Pengujian alat ini dilakukan dengan cara menjalankan model miniatur pesawat N-219 dengan cara memasukkan nilai *set point* pada posisi sudut yang dituju, penyusunannya seperti yang ditunjukkan gambar 5.10.



**Gambar 5.10 Model Miniatur Pesawat N-219 Secara Keseluruhan**

Nilai *set point* untuk masing-masing garasi berupa nilai ADC yang ditunjukkan dalam Tabel 5.4

**Tabel 5.4 Data Sudut Motor DC**

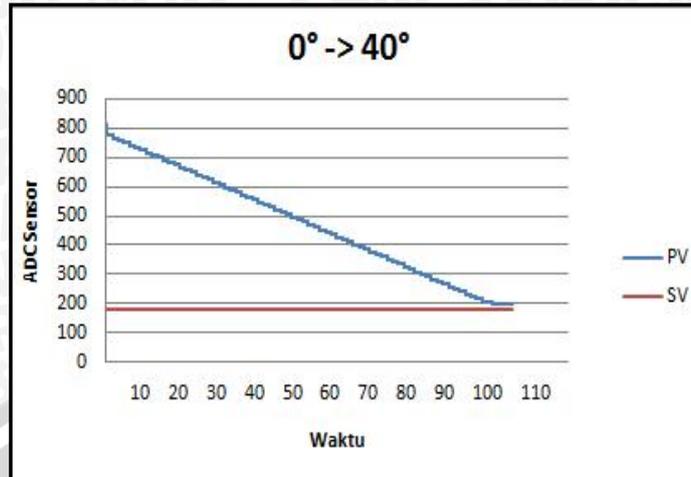
Flap Selector	Motor DC		
	ADC	Vin(V)	Sudut(°)
1	180	0.925	40
2	600	2.95	18
3	716	3.413	6
4	812	3.97	0

d. Hasil Pengujian

Setelah dilakukan pengujian, didapatkan hasil respon keluaran sistem dengan *setpoint* berbeda.

- Pengujian dengan *Setpoint* sudut 40° down (0° menuju 40°)

Grafik respon dengan *setpoint* sudut 40° down (0° menuju 40°) ditunjukkan dalam Gambar 5.11



Gambar 5.11 Hasil Respon dengan *Setpoint* sudut 40° down (0° menuju 40°)

Dalam keadaan *steady*, sistem dapat stabil tanpa terjadi osilasi. Namun dengan pembacaan sensor potensiometer linier yang tidak sesuai dengan jarak sebenarnya, maka *error* pada *setpoint* sudut 40° down (0° menuju 40°) adalah :

$$\begin{aligned}
 \% \text{ error} &= \frac{|PV - SP|}{SP} \times 100\% \\
 &= \frac{|196 - 180|}{180} \times 100\% \\
 &= 0.0889 \times 100\% \\
 &= 8.89\%
 \end{aligned}$$

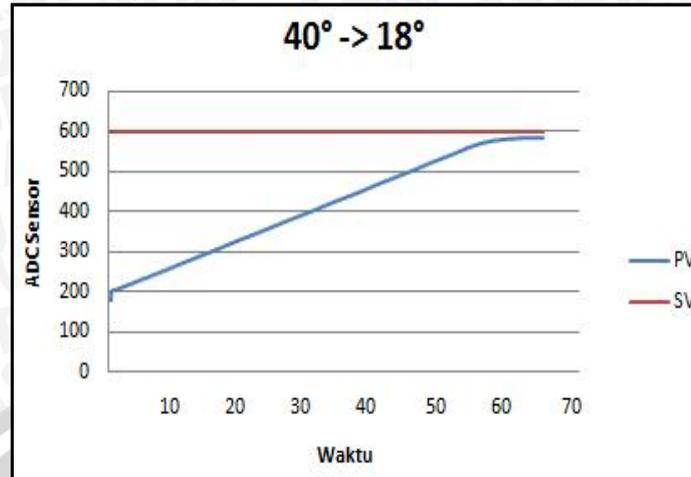
Keterangan: SV = Setpoint (masukan)

PV = Preset value (keluaran sensor)

Setelah dilakukan lima kali pengujian didapat nilai *ess* 8.89%, dikarenakan terlalu kecilnya nilai yang dibaca oleh sensor sehingga didapat *error* yang cukup besar. Nilai *ess* yang berada diatas 5% hanya terjadi pada *setpoint* sudut 40°.

- Pengujian dengan *Setpoint* sudut 18° up (40° menuju 18°)

Grafik respon dengan *setpoint* sudut 18° up (40° menuju 18°) ditunjukkan dalam Gambar 5.12



Gambar 5.12 Hasil Respon dengan Setpoint sudut 18° up (40° menuju 18°)

Dalam keadaan *steady*, sistem dapat stabil tanpa terjadi osilasi. Namun dengan pembacaan sensor potensiometer linier yang tidak sesuai dengan jarak sebenarnya, maka *error* pada *setpoint* sudut 18° up (40° menuju 18°) adalah :

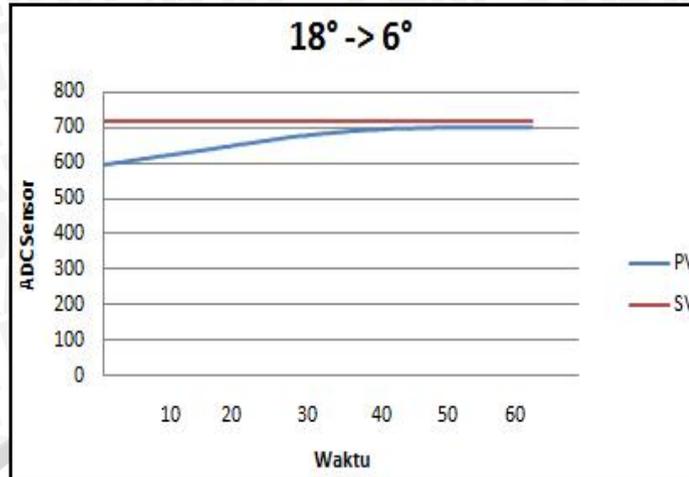
$$\begin{aligned}
 \% \text{ error} &= \frac{|PV - SP|}{SP} \times 100\% \\
 &= \frac{|582 - 600|}{600} \times 100\% \\
 &= 0.03 \times 100\% \\
 &= 3\%
 \end{aligned}$$

Keterangan: SV = Setpoint (masukan)  
 PV = Preset value (keluaran sensor)

Berdasarkan Gambar 5.12, terlihat bahwa *ess* yang didapat sebesar 3% dan kontroler telah mampu mengikuti setpoint yang diinginkan dengan *ess* dibawah 5%.

- Pengujian dengan Setpoint sudut 6° up (18° menuju 6°)

Grafik respon dengan *setpoint* sudut 6° up (18° menuju 6°) ditunjukkan dalam Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Hasil Respon dengan Setpoint sudut 6° up (18° menuju 6°)

Dalam keadaan *steady*, sistem dapat stabil tanpa terjadi osilasi. Namun dengan pembacaan sensor potensiometer linier yang tidak sesuai dengan jarak sebenarnya, maka *error* pada *setpoint* sudut 6° up (18° menuju 6°) adalah :

$$\begin{aligned}
 \% \text{ error} &= \frac{|PV - SP|}{SP} \times 100\% \\
 &= \frac{|695 - 716|}{716} \times 100\% \\
 &= 0.0293 \times 100\% \\
 &= 2.93\%
 \end{aligned}$$

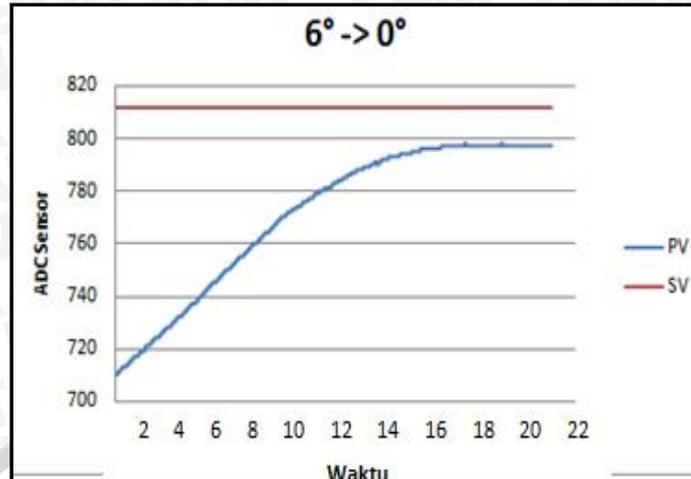
Keterangan: SV = Setpoint (masukan)

PV = Preset value (keluaran sensor)

Berdasarkan Gambar 5.13, terlihat bahwa *ess* yang didapat sebesar 2.93% dan kontroler telah mampu mengikuti setpoint yang diinginkan dengan *ess* dibawah 5%.

- Pengujian dengan *Setpoint* sudut 0° up (6° menuju 0°)

Grafik respon dengan *setpoint* sudut 0° up (6° menuju 0°) ditunjukkan dalam Gambar 5.14.



Gambar 5.14 Hasil Respon dengan Setpoint sudut 0° up (6° menuju 0°)

Dalam keadaan *steady*, sistem dapat stabil tanpa terjadi osilasi. Namun dengan pembacaan sensor potensiometer linier yang tidak sesuai dengan jarak sebenarnya, maka *error* pada setpoint sudut 0° up (6° menuju 0°) adalah :

$$\begin{aligned}
 \% \text{ error} &= \frac{|PV - SP|}{SP} \times 100\% \\
 &= \frac{|790 - 812|}{812} \times 100\% \\
 &= 0.02709 \times 100\% \\
 &= 2.709\%
 \end{aligned}$$

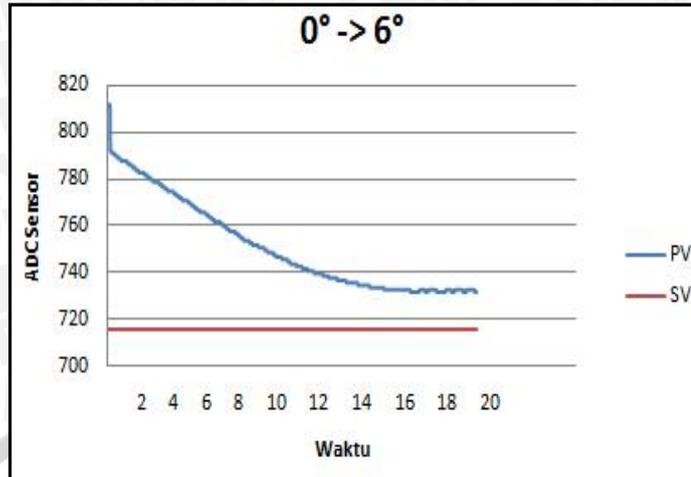
Keterangan: SV = Setpoint (masukan)

PV = Preset value (keluaran sensor)

Berdasarkan Gambar 5.14, terlihat bahwa *ess* yang didapat sebesar 2.709% dan kontroler telah mampu mengikuti setpoint yang diinginkan dengan *ess* dibawah 5%.

- Pengujian dengan Setpoint sudut 6° down (0° menuju 6°)

Grafik respon dengan setpoint sudut 6° down (0° menuju 6°) ditunjukkan dalam Gambar 5.15.



Gambar 5.15 Hasil Respon dengan *Setpoint* sudut 6° down (0° menuju 6°)

Dalam keadaan *steady*, sistem dapat stabil tanpa terjadi osilasi. Namun dengan pembacaan sensor potensiometer linier yang tidak sesuai dengan jarak sebenarnya, maka *error* pada *setpoint* sudut 6° down (0° menuju 6°) adalah :

$$\begin{aligned}
 \% \text{ error} &= \frac{|PV - SP|}{SP} \times 100\% \\
 &= \frac{|737 - 716|}{716} \times 100\% \\
 &= 0.0293 \times 100\% \\
 &= 2.93\%
 \end{aligned}$$

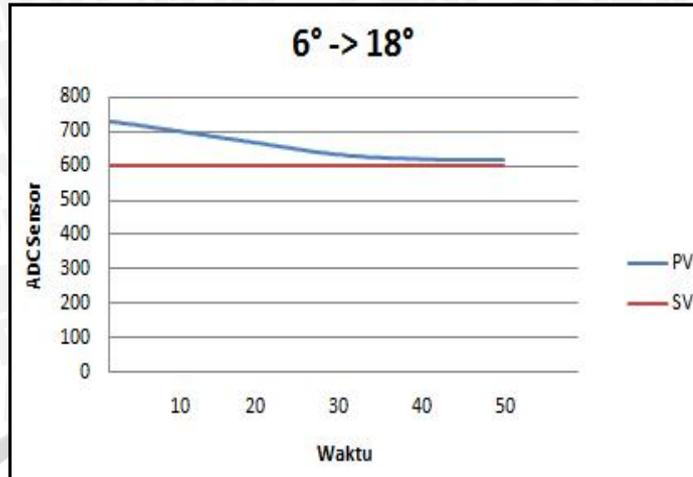
Keterangan: SV = Setpoint (masukan)

PV = Preset value (keluaran sensor)

Berdasarkan Gambar 5.15, terlihat bahwa *ess* yang didapat sebesar 2.93% dan kontroler telah mampu mengikuti setpoint yang diinginkan dengan *ess* dibawah 5%.

- Pengujian dengan *Setpoint* sudut 18° down (6° menuju 18°)

Grafik respon dengan *setpoint* sudut 18° down (6° menuju 18°) ditunjukkan dalam Gambar 5.16.



Gambar 5.16 Hasil Respon dengan *Setpoint* sudut 18° down (6° menuju 18°)

Dalam keadaan *steady*, sistem dapat stabil tanpa terjadi osilasi. Namun dengan pembacaan sensor potensiometer linier yang tidak sesuai dengan jarak sebenarnya, maka *error* pada *setpoint* sudut 18° down (6° menuju 18°) adalah :

$$\begin{aligned}
 \% \text{ error} &= \frac{|PV - SP|}{SP} \times 100\% \\
 &= \frac{|618 - 600|}{600} \times 100\% \\
 &= 0.03 \times 100\% \\
 &= 3\%
 \end{aligned}$$

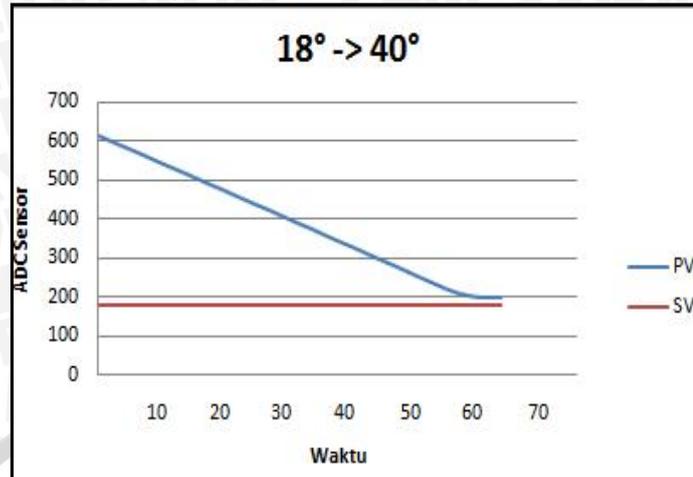
Keterangan: SV = Setpoint (masukan)

PV = Preset value (keluaran sensor)

Berdasarkan Gambar 5.16, terlihat bahwa *ess* yang didapat sebesar 3% dan kontroler telah mampu mengikuti setpoint yang diinginkan dengan *ess* dibawah 5%.

- Pengujian dengan *Setpoint* sudut 40° down (18° menuju 40°)

Grafik respon dengan *setpoint* sudut 40° down (18° menuju 40°) ditunjukkan dalam Gambar 5.17.



Gambar 5.17 Hasil Respon dengan *Setpoint* sudut 40° down (18° menuju 40°)

Dalam keadaan *steady*, sistem dapat stabil tanpa terjadi osilasi. Namun dengan pembacaan sensor potensiometer linier yang tidak sesuai dengan jarak sebenarnya, maka *error* pada *setpoint* sudut 40° down (18° menuju 40°) adalah :

$$\begin{aligned}
 \% \text{ error} &= \frac{|PV - SP|}{SP} \times 100\% \\
 &= \frac{|196 - 180|}{180} \times 100\% \\
 &= 0.0889 \times 100\% \\
 &= 8.89\%
 \end{aligned}$$

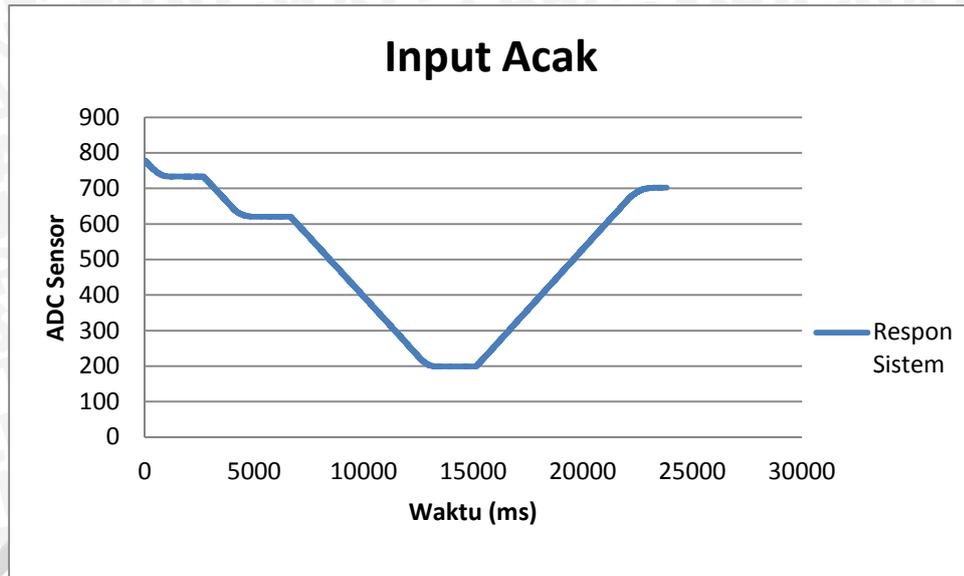
Keterangan: SV = Setpoint (masukan)

PV = Preset value (keluaran sensor)

Setelah dilakukan lima kali pengujian didapat nilai *ess* 8.89%, dikarenakan terlalu kecilnya nilai yang dibaca oleh sensor sehingga didapat *error* yang cukup besar. Nilai *ess* yang berada diatas 5% hanya terjadi pada *setpoint* sudut 40°.

- Pengujian dengan *Setpoint* Acak ( 0° - 6° - 18° - 40° - 6° )

Grafik respon dengan *setpoint* Acak ( 0° - 6° - 18° - 40° - 6° ) ditunjukkan dalam Gambar 5.18.



Gambar 5.18 Hasil Respon dengan Setpoint Acak ( 0° - 6° - 18° - 40° - 6° )

Tujuan dilakukan pengujian dengan masukan acak adalah sebagai gangguan yang dilakukan untuk mengetahui waktu dan nilai yang dibutuhkan flaps untuk mencapai setpoint dan berdasarkan Gambar 5.18, terlihat bahwa waktu dan nilai *ess* yang dibutuhkan sistem dengan masukan acak sama dengan waktu dan nilai *ess* saat diberi masukan 0°, 6°, 18° dan 40°.

Dari seluruh pengujian keseluruhan sistem di atas, dapat dibuat tabel hasilnya di bawah ini.

Tabel 5.5 Hasil 4 pengujian

No.	Setpoint	Settling time (ts)	Error
1.	0°	106.2 detik	2.709%
2.	6°	15.93 detik	2.93%
3.	18°	47.85 detik	3%
4.	40°	106.2 detik	8.89%

Berdasarkan tabel di atas, *error* yang didapat dari setpoint 0° adalah 2.709%, *error* yang didapat dari setpoint 6° adalah 2.93%, *error* yang didapat dari setpoint 18° adalah 3%, *error* yang didapat dari setpoint 40° adalah 8.89%. Dikarenakan *error* yang didapat dari 3 setpoint di bawah 5% maka termasuk dalam toleransi *error steady state* (*ess*).

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dalam pembuatan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perancangan *hardware* meliputi model miniatur pesawat N-219, rangkaian catu daya, *driver* motor, motor DC, potensiometer linier, penentuan parameter penguatan kontroler, modul Arduino Uno. *Software* berupa program yang berfungsi untuk mengendalikan sistem, metode yang digunakan adalah metode pertama dari teori Ziegler-Nicholes, parameter kontroler PID yang dapat diperoleh dari sistem mempunyai gain  $K_p = 2.88$  ,  $K_i = 1.44$  ,  $K_d = 1.44$ .
2. Dari perancangan hardware dan software didapat hasil pengujian terhadap aplikasi kontroler PID, bahwa respons sistem untuk tiap sudut mempunyai error stedy state sebesar 2.709-8.89%. Sedangkan  $T_s$  dari posisi sudut  $0^\circ$  ke sudut  $6^\circ = 15.93s$  , sudut  $18^\circ = 47.85s$ , sudut  $40^\circ = 106.2s$  dan  $T_s$  yang didapat dari sistem sudah mendekati dari waktu yang dibutuhkan *flaps* pesawat sebenarnya yaitu 103s dari sudut  $0^\circ - 40^\circ$  . Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa kontroler PID menghasilkan respons sesuai yang direncanakan dan dapat diaplikasikan pada model miniatur pesawat N-219.

#### 6.2 Saran

Dalam Perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat kelemahan. Untuk memperbaiki kinerja alat dan pengembangan lebih lanjut disarankan :

1. Di dalam simulasi disarankan untuk mendapatkan *best fit* yang lebih besar terhadap fungsi alih agar lebih sesuai dalam penerapan parameter kontroler PID pada alat.
2. Mekanik lebih diperhatikan secara mendetail untuk mengurangi terjadinya *assymetri flap*.
3. Disarankan untuk menggunakan *forward controller* untuk pembacaan gangguan atau *input* acak agar mendapatkan  $T_s$  yang lebih cepat.

**DAFTAR PUSTAKA**

Raymond, E.T. and Chenoweth, C.C. “*Aircraft Flight Control Actuation System Design*”. Society of Automotive Engineers, Inc. 1993

Coyle, S. and Pallett, E.H.J. “*Automatic Flight Control Fourth Edition*”. USA: Oxford Blackwell Scientific Publications, 1993.

Fraden, Jacob. “*Handbook of Modern Sensors. Physics, Designs, and Application, 3<sup>rd</sup> Edition*”. Springer, 2004.

Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*. Jakarta. Penerbit Erlangga.

Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*. Jakarta. Penerbit Erlangga

<http://ilmuterbang.com/> diakses tanggal 2 September 2013

<http://mrifai.com/other/motor/definisi-electronic-control-unit/> diakses tanggal 2 September 2013

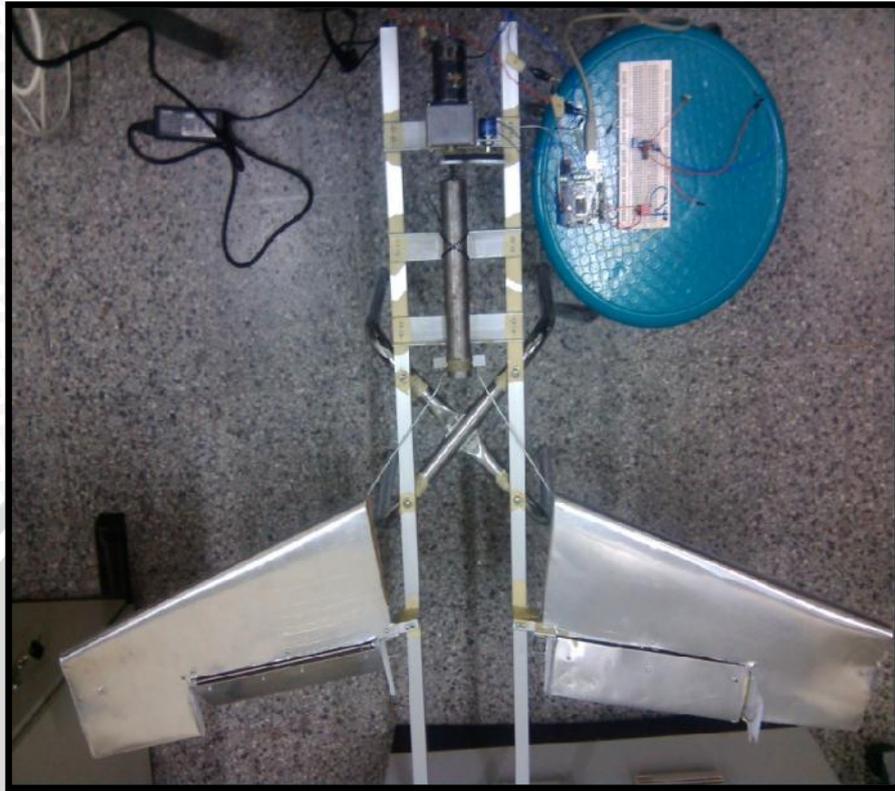
<http://www.indonesian-aerospace.com/> diakses tanggal 27, 28, 29, 30 Agustus 2013



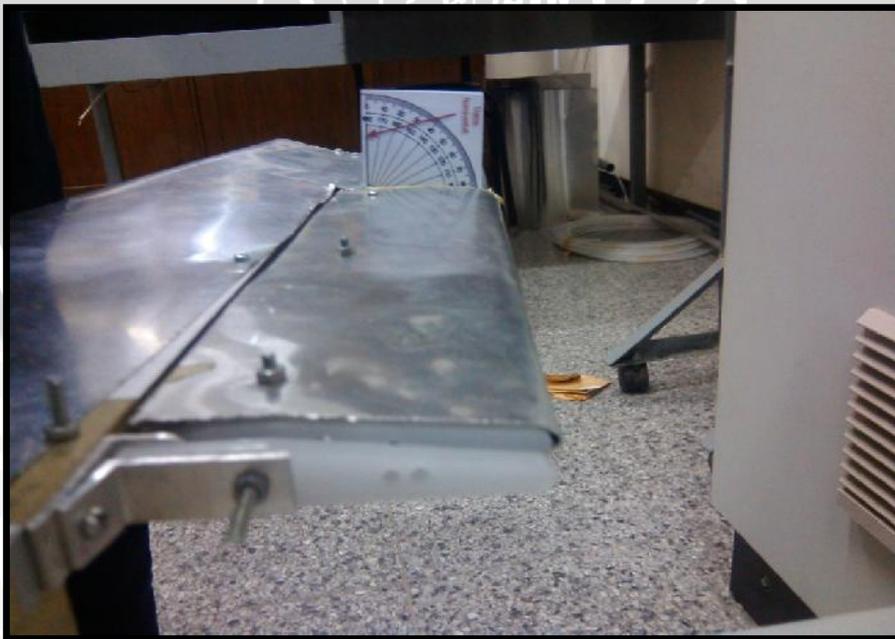
# LAMPIRAN 1

## Foto Alat

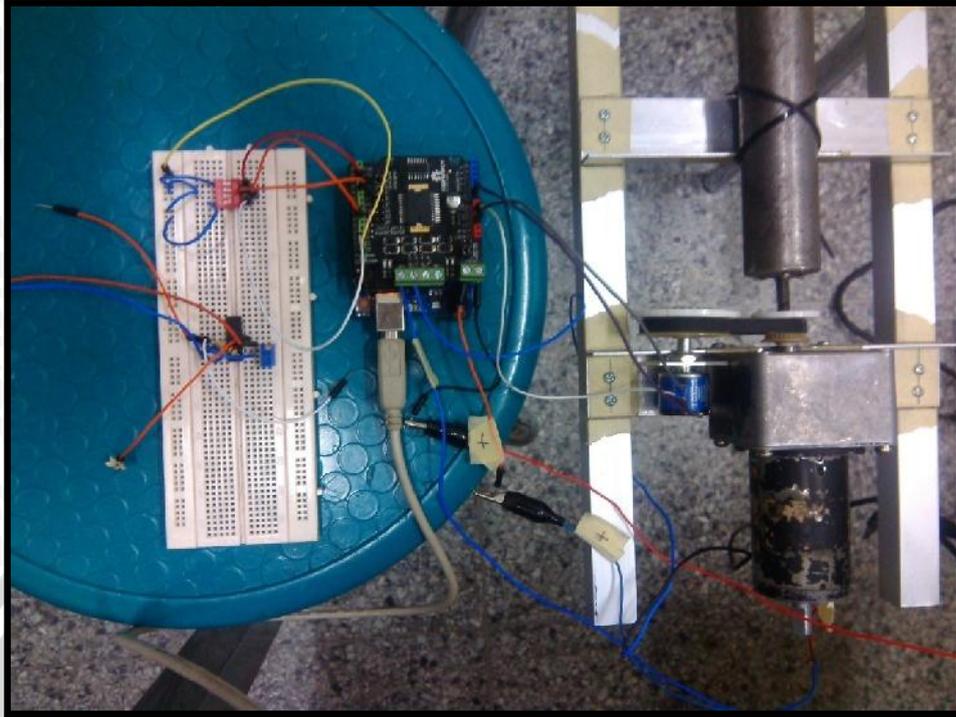




Gambar 1. Alat tampak atas



Gambar 2. Alat tampak samping



Gambar 3. Rangkaian elektrik dan motor DC pada alat



Proses pembongkaran motor DC agar dapat bergerak secara linier



Proses pembongkaran motor DC agar dapat bergerak secara linier



Proses pembongkaran motor DC agar dapat bergerak secara linier



**LAMPIRAN 2**  
***Listing Program***

```
#include "Timer.h"
```

```
#define potPin A0
```

```
#define input A1
```

```
#define e2 6
```

```
#define m2 7
```

```
#define kekanan 1
```

```
#define kekiri 2
```

```
Timer t;
```

```
int pushbutton0 = digitalRead(2);
```

```
int pushbutton1 = digitalRead(4);
```

```
int pushbutton2 = digitalRead(8);
```

```
int pushbutton3 = digitalRead(12);
```

```
int error = 0, lastError;
```

```
double PV, Output, Setpoint=0;
```

```
double kp, ki, kd;
```

```
float Ts=100;//satuan = milisecond
```

```
void saklar()
```

```
{
```

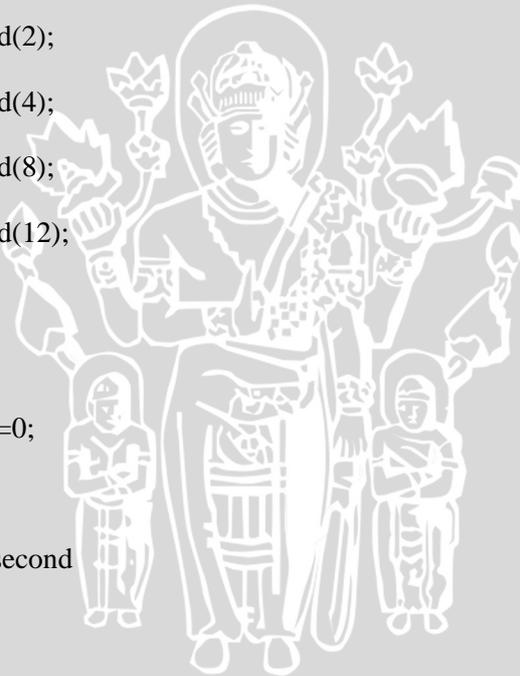
```
if(digitalRead(2)==LOW)//input setpoint read setpoint 40 (switch 1)
```

```
{
```

```
Setpoint=180;
```

```
}
```

```
else if(digitalRead(4)==LOW)// setpoint 18 (switch 2)
```



```
{
  Setpoint=600;
}
else if(digitalRead(8)==LOW)// setpoint 6 (switch 3)
{
  Setpoint=716;
}
else if(digitalRead(12)==LOW)// setpoint 0 (switch 4)
{
  Setpoint=812;
}
else;
}

void compute()
{
  PV = analogRead(potPin);

  error = Setpoint - PV;

  Output = (kp * error) + (ki * (error + lastError)) + ((kd/Ts)*(error - lastError));

  if(Output>255)
  {
    Output = 255;
  }
}
```

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



```
else if(Output <-255){
  Output = -255;
}
else;

if(Output>0){
  putarMotor(kekanan,Output);
}
else if(Output <-0){
  putarMotor(kekiri,0-Output);
}
else{
  putarMotor(kekanan,0);
}
lastError = error;
}

void setup(){
  Serial.begin(9600);

  pinMode(4, INPUT_PULLUP);
  pinMode(2, INPUT_PULLUP);
  pinMode(8, INPUT_PULLUP);
  pinMode(12, INPUT_PULLUP);
  pinMode(m2,OUTPUT);
  pinMode(e2,OUTPUT);
  pinMode(potPin, INPUT);
```

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



```
kp = 2.88;  
ki = 1.44;  
kd = 1.2;  
Setpoint = 100;  
t.every(Ts,compute);  
}
```

```
void loop()  
{  
  t.update();  
  saklar();  
  Serial.print(PV);  
  Serial.print(" ");  
  Serial.print(Setpoint);  
  Serial.print(" ");  
  Serial.print(error);  
  Serial.print(" ");  
  Serial.println(Output);  
}
```

```
void putarMotor(int arah, int kecepatan)  
{  
  if(arah == kekanan)digitalWrite(m2,LOW);  
  else digitalWrite(m2,HIGH);  
  analogWrite(e2,kecepatan);  
}
```

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



# LAMPIRAN 3

## Komponen *Datasheet*

