TUGAS AKHIR – TM141585

RANCANG BANGUN DAN ESTIMASI *BACKLASH*, *POSITIONING ERROR*, DAN *POSITIONING UNCERTAINTY* PADA PROTOTIPE *TURRET GUN*

AGUNG WAHYU S.
NRP. 2112100128

Dosen Pembimbing
ARIF WAHJUDI, ST., MT., PhD.

Lab. Perancangan dan Pengembangan Produk
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

TUGAS AKHIR – TM141585

RANCANG BANGUN DAN ESTIMASI *BACKLASH*, *POSITIONING ERROR*, *DAN POSITIONING UNCERTAINTY* PADA PROTOTIPE *TURRET GUN*

AGUNG WAHYU S.
NRP. 2112100128

Dosen Pembimbing
Arif Wahjudi, ST, MT, PhD.

Lab. Perancangan dan Pengembangan Produk
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

TUGAS AKHIR – TM141585

DESIGN AND ESTIMATION OF BACKLASH, POSITIONING ERROR, AND POSITIONING UNCERTAINTY FOR TURRET GUN PROTYPE

AGUNG WAHYU S.
NRP. 2112100128

Academic Supervisor
Arif Wahjudi, ST, MT, PhD.

Perancangan dan Pengembangan Produk Laboratory
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

RANCANG BANGUN DAN ESTIMASI *BACKLASH*, *POSITIONING ERROR*, DAN *POSITIONING UNCERTAINTY* PADA PROTOTIPE TURRET GUN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

AGUNG WAHYU S.
NRP. 02111240000128

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Arif Wahjudi, ST, MT, PhD. (Pembimbing I)
   NIP. 197303222001121001
2. Prof. Dr. Ing. I Made Londen Batan, M.Eng (Penguji I)
   NIP. 195811061986011002
3. Unggul Wasiwitono, ST, M.Eng, Sc (Penguji II)
   NIP. 197805102001121001
4. Latifah Nurahmi, ST, MSc, PhD. (Penguji III)
   NIP. 1986201712037

SURABAYA

JANUARI, 2018

RANCANG BANGUN DAN ESTIMASI *BACKLASH, POSITIONING ERROR, DAN POSITIONING UNCERTAINTY* PADA PROTOTIPE *TURRET GUN*

Nama : **AGUNG WAHYU SATRIATAMA**

NRP : **2112100128**

Jurusan : **TEKNIK MESIN FTI-ITS**

Dosen Pembimbing : **ARIF WAHJUDI, ST, MT, PhD.**

Abstrak

Kebutuhan sistem pertahanan pada sebuah negara sangat diperlukan untuk menjaga keamanan negara tersebut. Beberapa pengembangan telah dilakukan. Salah satu pengembangan yang dilakukan adalah membuat sebuah senjata otomatis yang dapat meningkatkan keakuratan dan respons dari senjata dibandingkan dengan senjata yang dikendalikan manusia. Untuk mencapai hal ini dibutuhkan sebuah sistem kontrol yang baik pada sistem persenjataan tersebut. Oleh sebab itu, Tugas Akhir ini merancang sebuah mekanisme dan sensor sudut menggunakan potensiometer pada sistem senjata otomatis

Langkah kerja penelitian ini yang pertama yaitu melakukan desain dan rancang bangun mekanisme. Setelah mekanisme dibuat, persamaan sudut terhadap voltase pada sensor ditentukan dengan metode regresi. Kemudian dilakukan pengambilan sudut hasil pengukuran potensiometer yang diubah pada rentang sudut inklinasi [-10^0, 50^0] dan sudut rotasi [-50^0, 50^0]. Data diambil setiap kenaikan 5^0 dan pengambilan data dilakukan 5 kali untuk setiap titik. Setelah itu dilakukan perhitungan backlash, positioning error, dan positioning uncertainity pada mekanisme.

Dalam tugas akhir ini telah dibuat mekanisme 2-dof prototipe turret gun yang dilengkapi sensor pembaca sudut berupa potensiometer dengan persamaan sudut terhadap voltase y = -788.62x + 3681.9. Dari hasil penelitian didapatkan nilai performa untuk sudut Azimuth yaitu nilai backlash maksimum adalah 0.946^0, positioning error adalah 2.139^0, positioning uncertainity adalah 6.2889^0. Kemudian performa untuk sudut Inklinasi yaitu nilai backlash maksimum adalah 0.946^0, positioning error adalah 1.861^0, dan positioning uncertainity adalah 8.690^0.

Kata Kunci: Backlash, Positioning Error, Positioning Uncertainty, Sensor Sudut, Turret Gun.

DESIGN AND ESTIMATION OF BACKLASH, POSITIONING ERROR, AND POSITIONING UNCERTAINTY FOR TURRET GUN PROTYPE

Nama	**: AGUNG WAHYU SATRIATAMA**
NRP	**: 2112100128**
Jurusan	**: TEKNIK MESIN FTI-ITS**
Dosen Pembimbing	**: ARIF WAHJUDI, ST, MT, PhD.**

Abstract

Defense system is necessary to protect a country from offender. Therefore, many military researches have been done to develop their arms. One of them is a weapon that can find a target by itself with better accuracy and response than the one controlled by human. A good mechanism and control system are needed to achieve these specifications. In this final project aims to build a prototype of turret gun with a sensor equipped on it to detect movement error.

The first step in the process is design and make a mechanism based on the list of requirements. Then the equation of angle toward voltage of the sensor was determined using regression method. Then, the next step to carry out data retrieval from voltage measurement by potentiometer sensor with range of retrieval for inclination angle of [-10^0, 50^0] and for azimuth angle [-50^0, 50^0]. Measurement was made every 5^0 intervals with 5 times repetition. The last step in the process was to calculate the value of backlash, positioning error and positioning uncertainty that occur in the mechanism.

Results from this project show that a prototype of turret gun equipped with angle position sensor in the form of potentiometer has equation y = -788.62x + 3681.9. Explains the change of angle towards voltage. In addition, the value of maksimum backlash is 0.946^0, positioning error is 2.139^0 and positioning uncertainty is 6.2889^0 for azimuth angle and the value of maksimum backlash is 0.946^0, positioning error is 1.861^0 and positioning uncertainty is 8.690^0 for inclination angle.

Key Words: Angle Position Sensor, Backlash, Positioning Error, Posisitioning Uncertainty, Turret Gun.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kekuatan dan limpahan rahmat-Nya bagi penulis sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Tugas akhir ini merupakan persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Atas Bantuan berbagai pihak dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada:

1. Arif Wahjudi, ST, MT, PhD. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan arahan dan petunjuk berharga mengenai penulisan Tugas Akhir.
2. Ayahanda dan ibunda tercinta, Suwarno dan Sri Hastatik yang selalu memberikan dukungan, nasehat dan doa, serta kedua adikku Amelia Wahyu C. dan Abdillah Hilmi A. yang selalu memberikan semangat.
3. Desya Hasna N. yang selalu mengingatkan, memberi semangat dan doanya.
4. Mas'ud A. atas bantuannya dalam pengerjaan Tugas Akhir.
5. Satrio, Arif, Tuba, Teddy, Hafizh, Nubli, Ray, mas Rado, Rosa, Fahkrul dan teman – teman Lab. P3 lainnya.
6. Pihak – pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu – persatu.

Tugas Akhir ini masih sangat jauh dari sempurna, kritik dan saran yang dapat menyempurnakan penyusunan Tugas Akhir sangat diperlukan. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dalam bidang system control image processing.

Surabaya. 2018

Penulis

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR ISI

JUDUL……..…i
LEMBAR PENGESAHAN…….....ii
ABSTRAK iv
KATA PENGANTAR..... viii
DAFTAR ISI……x
DAFTAR GAMBAR..... xiv
DAFTAR TABEL xvi
BAB I..... 1
PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian..... 2
1.4 Batasan Masalah..... 3
1.5 Manfaat Penelitian..... 3
BAB II 5
TINJAUAN PUSTAKA..... 5
2.1 Kajian Pustaka..... 5
2.2 Dasar Teori..... 6
2.3.1 Potensiometer 6
2.3.2 Voltage Divider 7
2.3.3 Inverting Amplifier 8
2.3.4 Backlash 9
2.3.5 Positioning *Error* 10
2.3.6 Least Squares Regression..... 11
BAB III..... 15
METODE PENELITIAN 15
3.1 Diagram Alir Penelitian 15
3.2 Tahap Penelitian..... 16
3.2.1 Proses Persiapan 16
3.2.2 Perancangan dan Pembuatan Mekanisme Senjata 16
3.2.3 Pengambilan Data Voltase Potensiometer Terhadap Sudut..... 17
3.2.4 Penentuan Persamaan Sudut Terhadap Voltase.. 17

3.2.5 Diagram Alir Penentuan Persamaan Sudut terhadap Voltase 18
3.2.6 Perhitungan *Backlash, Positioning Error, Positioning Uncertainty* 19
BAB IV 21
PERANCANGAN DAN PERAKITAN MEKANISME 21
4.1 Konsep Mekanisme 21
4.2 Perancangan Komponen 22
4.2.1 Perancangan Pelat Dasar Bawah dan Atas 22
4.2.2 Perancangan Dudukan Servo bawah dan atas 23
4.2.3 Perancangan Dudukan *Ballcaster* 24
4.2.4 Perancangan Transmisi Roda Gigi 25
4.2.5 Perancangan Klem Laser 26
4.2.6 Perancangan Dudukan Potensiometer 26
4.3 Pembuatan dan Perakitan Mekanisme 27
4.4 Perancangan Instrumentasi Pengukur Sudut 30
BAB V 35
PENGUJIAN PERFORMA MEKANISME 35
5.1 Faktor – Faktor yang Menyebabkan Kesalahan pada Pergerakan Mekanisme 35
5.2 Perhitungan Nilai *Error* Sudut Sensor Potensiometer 35
5.3 Perhitungan Backlash, Positioning *Error*, dan Positioning Uncertainty 41
5.3.1 Performa Rotasi Sudut Azimuth 41
5.3.2 Performa Rotasi Sudut Inklinasi 45
BAB VI 47
KESIMPULAN DAN SARAN 47
5.1 Kesimpulan 47
5.2 Saran 47
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN A DATA SUDUT TERHADAP VOLTASE POTENSIOMETER 1
LAMPIRAN B DATA SUDUT TERHADAP VOLTASE POTENSIOMETER 2
LAMPIRAN C GAMBAR TEKNIK

BIODATA PENULIS

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Potensiometer 7

Gambar 2.2 Sirkuit Potensiometer 7

Gambar 2.3 Skema Voltage Divider 8

Gambar 2.4 Skema Inverting Amplifier 9

Gambar 2.5 Backlash pada roda gigi 10

Gambar 2.6 (a) Data yang didapatkan. (b) Polynomial fit berosilasi melewati batas data. (c) Lebih meyakinkan dengan least square regression. 12

Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian 16

Gambar 3.2 Diagram Alir Penentuan Persamaan Sudut terhadap Voltase 18

Gambar 3.3 Diagram alir perhitungan positioning *error* 19

Gambar 4.1 Konsep mekanisme 21

Gambar 4.2 (a) Pelat dasar bawah (b) pelat dasar atas 23

Gambar 4.3 Dudukan servo bawah 24

Gambar 4.4 Dudukan servo atas 24

Gambar 4.5 Dudukan ballcaster 25

Gambar 4.6 (a) Driven gear (b) pinion servo 25

Gambar 4.7 Klem laser 26

Gambar 4.8 Dudukan potensiometer 26

Gambar 4.9 Diagram alir proses pembuatan mekanisme 27

Gambar 4.10 Ball caster penyangga plate atas mekanisme 28

Gambar 4.11 Sensor potensiometer 29

Gambar 4.12 Gear Transmisi 29

Gambar 4.13 Mekanisme 2-dof 30

Gambar 4.14 (a) Skema rangkaian voltage divider sensor (b) rangkaian pada sensor 31

Gambar 4.15 Mekanisme Pengukur Perubahan Voltase terhadap Sudut 32

Gambar 4.16 Grafik Perubahan Sudut terhadap Voltase Potensiometer (1)..... 33

Gambar 4.17 Grafik Perubahan Sudut terhadap Voltase Potensiometer (2)..... 34

Gambar 5.1 Pengambilan data *error* sudut 36

Gambar 5.2 Diagram alir perhitungan *error* sudut sensor 37

Gambar 5.3 Grafik Backlash, Positioning *Error*, dan Positioning Uncertainty sudut Azimuth 43

Gambar 5.4 Grafik Backlash, Positioning *Error*, dan Positioning Uncertainty sudut Inklinasi 44

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 List of Requirement 17
Tabel 5.1 Nilai *error* sudut putar Azimuth..... 40
Tabel 5.2 Nilai *error* sudut putar Inklinasi..... 41
Tabel 5.3 Nilai backlash pada sudut putar Azimuth 42
Tabel 5.4 Nilai backlash pada sudut putar Inklinasi 45

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan sistem pertahanan pada sebuah negara sangat diperlukan untuk menjaga keamanan negara tersebut. Oleh karena itu pengembangan persenjataan pun terus dilakukan. Salah satu pengembangan yang dilakukan adalah membuat sebuah senjata otomatis yang dapat meningkatkan keakuratan dan respons dari senjata dibandingkan dengan senjata yang dikendalikan manusia. Untuk mencapai hal ini dibutuhkan sebuah sistem kontrol yang baik pada sistem persenjataan tersebut. Senjata ini nantinya diharapkan dapat menggantikan militer manusia sebagai usaha untuk meminimalkan korban penembakan yang disebabkan oleh kesalahan manusia.

Kontrol sistem adalah gabungan dari subsistem dan proses yang memiliki tujuan untuk mendapatkan *output* dan performa yang diinginkan dari sebuah *input* yang ditetapkan. Kontrol sistem dapat dibagi menjadi dua yaitu *open loop* dan *close loop*. Pada *open loop system* kesalahan yang terjadi karena *distrubance* tidak dikoreksi. Sedangkan pada *closed loop system* kesalahan yang terjadi akan dikoreksi melalui *feedback*. *Feedback* merupakan sebuah *input* balik yang digunakan untuk mengetahui *error* yang terjadi pada sebuah *output* sistem. Kemudian dari *error* yang terjadi akan dilakukan kontrol oleh *controller* untuk mengubah proses sehingga *output* yang di hasilkan sesuai dengan yang diinginkan.

Penelitian tentang sistem senjata otomatis dengan mekanisme 2-DOF dan kontrol sistem tanpa *feedback* sudah pernah dilakukan. Alat ini mampu bergerak pada dua sumbu x dan y. Namun alat ini memiliki dimensi yang cukup besar, sehingga beban yang terjadi pada *servo* sangat besar dan menyebabkan

kesalahan pengukuran pada *output* sistem. Selain itu pada alat ini *output* yang dihasilkan murni dari hasil proses tanpa ada pengoreksian.

Pada tugas akhir ini dirancang dan dibuat sebuah mekanisme yang dilengkapi dengan sensor pengukur sudut untuk mengurangi *error* yang terjadi pada output mekanisme. Selain itu dilakukan perhitungan *backlash*, p*ositioning error* dan *positioning uncertainity* sebagai dasar dalam melakukan desain sistem kontrol untuk mekanisme.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian pada latar belakang dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana konstruksi prototipe turret gun yang dilengkapi dengan instrumentasi pengukuran sudut?
2. Bagaimana fungsi hubungan antara voltase dan sudut output sensor mekanisme?
3. Bagaimana *backlash, positioning error* dan *positioning uncertainity* yang terjadi pada mekanisme?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari proposal tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat mekanisme prototipe turret yang dilengkapi dengan instrumentasi pengukuran sudut.
2. Mendapatkan fungsi persamaan hubungan antara voltase dan perubahan sudut pada potensiometer yang nanti akan digunakan untuk menghitung sudut sesungguhnya yang terjadi pada mekanisme.
3. Mengetahui *backlash, positioning error* dan *positioning uncertainity* yang terjadi pada mekanisme.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menyederhanakan tugas akhir ini, makan rumusan masalah yang akan dibahas antara lain:

1. Sistem senjata otomatis menggunakan mekanisme 2-DOF *revolute join.*
2. Transmisi yang digunakan pada potensiometer dan servo memiliki rasio 1:5.
3. Sudut gerak mekanisme dari titik nol servo adalah sebesar [-50^0, 50^0] untuk arah azimuth (horizontal) dan [-10^0, 50^0] untuk arah inklinasi (vertikal).
4. Sistem pendeteksian tidak dibahas.
5. Perhitungan kekuatan pada pembuatan prototipe tidak dilakukan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari proposal tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat digunakan sebagai referensi dalam melakukan *design control system* mekanisme.
2. Dapat digunakan untuk pengembangan otomatisasi mesin - mesin militer.

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Pada pengembangan sistem persenjataan ini ada sebuah eksperimen yang telah dilakukan untuk meningkatkan kepresisian tembakan menggunakan mekanisme 2-DOF. Namun pada penelitian ini, *system control* tidak menggunakan *feedback* sehingga kesalahan yang terjadi pada *system* tidak dapat diketahui.

Penelitian terdahulu membahas tentang perancangan bangun sebuah sistem pelontar peluru yang dilengkapi kamera stereo dan dapat melacak target secara otomatis, kemudian diuji tingkat kepresisian tembakannya dengan melakukan uji penembakan dengan jarak penembakan sejauh 3 m dan target sebesar 7 cm. Target penembakan ditetapkan pada sudut inklinasi dan sudut rotasi laras sebesar [60^0, 30^0], [0^0, 30^0], dan [-60^0, 30^0] yang kemudian nilai akurasi dan kepresisian masing – masing target dihitung. Penelitian ini hanya menfokuskan pada bagaimana *performance* dari penembak dan desain mekanisme (Kuncorojati, A 2015).

Penelitian lain yaitu tentang analisa *positioning error* dari robot manipulator dengan *rotary joints*. Pada penelitian ini sebuah robot diperintahkan untuk melakukan pekerjaan yang berbeda dengan menggunakan program yang di eksekusi pada sebuah komputer. *Software* pada komputer ini menyediakan informasi dari posisi dan orientasi dari *end effectors* dengan mengitungnya sebagai fungsi dari *joint variables*. Namun fungsi ini tidak cukup tepat karena terdapat perbedaan yang signifikan dari posisi aktual dan perhitungan. *Error* yang dihasilkan ini kemudian diperiksa dan dilakukan untuk mendapatkan *error* parameter. Setelah ini dilakukan kompensasi eror untuk meningkatkan performa robot tersebut (Chen dan Chao, 1987).

Selain itu terdapat penelitian tentang *variable gain control* berdasar pada potensiometer digital untuk rangkaian penerima *laser*. Permasalahan pada penelitian ini adalah sulitnya memroses pantulan laser pada penerima laser yang dikarenakan oleh besarnya *dynamic range*. Sehingga *variable gain amplifier* diusulkan sebagai pengganti *linear amplifier* yang bertujuan untuk mengecilkan *dynamic range* dari sinyal pantulan laser. Dengan mempertimbangkan segala keuntungan dan kerugian dari beberapa *variable gain*, dipilihlah potensiometer digital karena dari hasil simulasi menunjukkan *variable gain* ini mampu mengecilkan *dynamic range* dari pantulan laser secara efektif (Ying dan He, 2004).

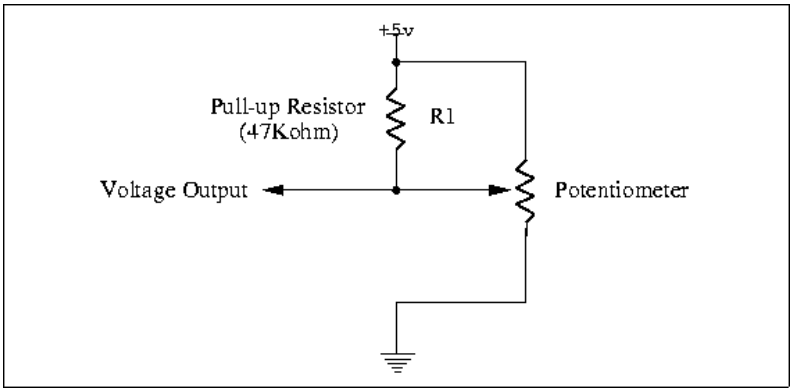
2.2 Dasar Teori

2.3.1 Potensiometer

Potensiometer adalah sebuah variabel resistor yang dapat diatur secara manual seperti pada gambar 2.1. Penggunaannya kebanyakan untuk mengatur volume dan warna pada alat bantu suara. Dibidang robotik, potensiometer dapat digunakan sebagai sensor posisi. Sebuah potensiometer rotari dapat digunakan untuk mengukur rotasi dari sebuah poros yang dihubungkan menggunakan roda gigi. Potensiometer biasanya digunakan pada benda yang tidak berputar secara kontinu. Rata – rata potensiometer hanya dapat berputar 270^0, namun beberapa potensiometer dapat berputar hingga 3600^0 dan ada juga yang dapat berputar secara kontinu (Todd 1975).

Potensiometer memiliki tiga terminal. Dua terminal paling luar berhubungan dengan resistor dan hambatan di antaranya merupakan konstanta (nilai dari potensiometer). Terminal tengah berhubungan dengan sisi sepanjang hambatan, sehingga nilai hambatan antara dua terminal berubah – ubah. Gambar 2.2 berikut merupakan skema rangkain yang ada pada potensiometer.

Gambar 2.1 Potensiometer

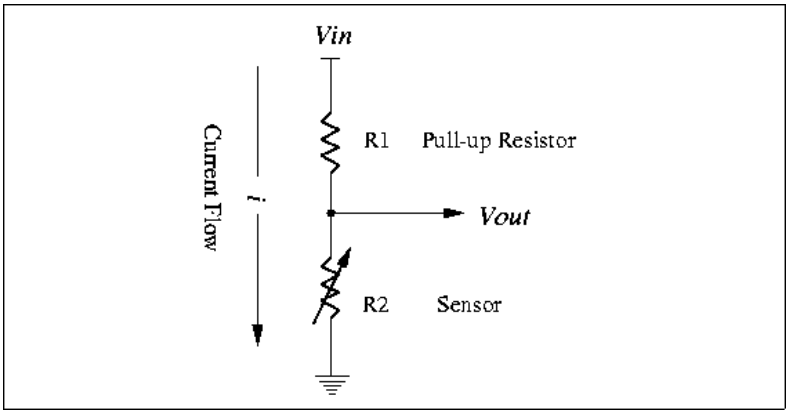


Gambar 2.2 Sirkuit Potensiometer

2.3.2 Voltage Divider

Kebanyakan sensor yang digunakan pada RoboBoard kit menggunakan *voltage divider circuit*. Skema rangkaian voltage divider digambarkan pada gambar 2.3. Pada *voltage divider*, voltase yang diukur pada titik antara dua resistor, V_{out}, merupakan fungsi dari *input voltage*, $V_{in,}$ dan nilai dari dua resistor, R_1 dan R_2. Voltase ini dapat dihitung menggunakan Hukum Ohm,

$$V = I \times R \quad (1)$$



Gambar 2.3 Skema Voltage Divider

dimana nilai arus, I , yang mengalir pada sirkuit diagram adalah,

$$I = \frac{V_{in}}{(R1+R2)} \tag{2}$$

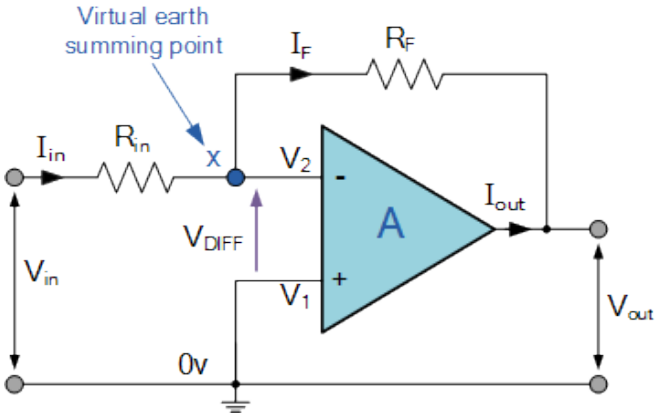
sehingga,

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R2}{R1+R2} \tag{3}$$

Nilai dari (R_1+R_2) adalah konstanta (nilai dari potensiometer). Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa, apabila R_2 membesar maka *output voltage* akan membesar juga, begitu pun sebaliknya.

2.3.3 Inverting Amplifier

Inverting amplifier adalah sebuah rangkain yang dapat mengubah voltase input menjadi voltase output dengan gain tertentu (lihat gambar 2.4). Sebuah rangkaian inverting amplifier terdiri dari dua buah resistor dimana terminal pertama terletak di antara input dan inverting amplifier sirkuit, dan yang kedua terletak di antara output dan inverting input (Johnson 2003).



Gambar 2.4 Skema Inverting Amplifier

Berdasarkan hukum Ohms, arus yang mengalir pada R_{in} dan R_f adalah sama. Sehingga dapat diturunkan persamaan sebagai berikut

$$I = \frac{V_{in} - V_2}{R_{in}} = \frac{V_2 - V_{out}}{R_f} \tag{4}$$

dimana V_2 mendekati 0, sehingga dapat dituliskan

$$\frac{R_f}{R_{in}} = \frac{0 - V_{in}}{V_{in} - 0} \tag{5}$$

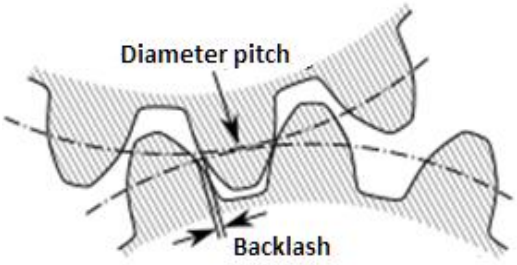
sehingga,

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_{in}} \tag{6}$$

2.3.4 Backlash

Backlash adalah hilangnya suatu gerakan pada sebuah mekanisme yang disebabkan karena terdapat jarak antar bagian (lihat gambar 2.5). *Backlash* dapat juga didefinisikan sebagai jarak atau sudut maksimum dimana sebuah bagian dari sistem mekanik

bisa digerakkan pada satu arah tanpa menyebabkan gaya atau gerakan ke bagian selanjutnya. Sebagai contohnya pada roda gigi apabila pada mekanisme roda gigi tersebut terdapat celah. Hal ini dapat dilihat saat arah pergerakan roda gigi ini diputar ke arah berlawanan akan terasa kendur dan terdapat gerakan yang hilang pada roda gigi selanjutnya.



Gambar 2.5 Backlash pada roda gigi

2.3.5 Positioning *Error*

Positioning *error* adalah perbedaan terjauh yang terjadi antara nilai rata – rata posisi sebenarnya dan posisi dari perhitungan sebuah pergerakan bagian mekanisme. Salah satu penyebabnya yaitu *backlash*. Faktor lain yang dapat menyebabkan hal ini terjadi kekakuan mesin yang terbatas, deformasi termal dan *error* karena pergerakan. Berikut merupakan rumus perhitungan dari positioning *error*:

1. Backlash

$$Backlash = \max(Bi) = \max(\left|\overline{x_i \uparrow} - \overline{x_i \downarrow}\right|) \qquad (7)$$

dimana,
$\overline{x_i \uparrow}$ = nilai rata – rata dari posisi *i* pada arah maju
$\overline{x_i \downarrow}$ = nilai rata – rata dari posisi *i* pada arah mundur
Bi = nilai *backlash* pada posisi *i*

2. Positioning *error*

$$P_E = \max(\bar{\bar{x}}_i) - min(\bar{\bar{x}}_i) \quad (8)$$

dimana $(\bar{\bar{x}}_i)$ adalah sistematik eror pada posisi *i*

$$\bar{\bar{x}}_i = \frac{\overline{x_\iota\uparrow} + \overline{x_\iota\downarrow}}{2} \quad (9)$$

3. Positioning Uncertainty

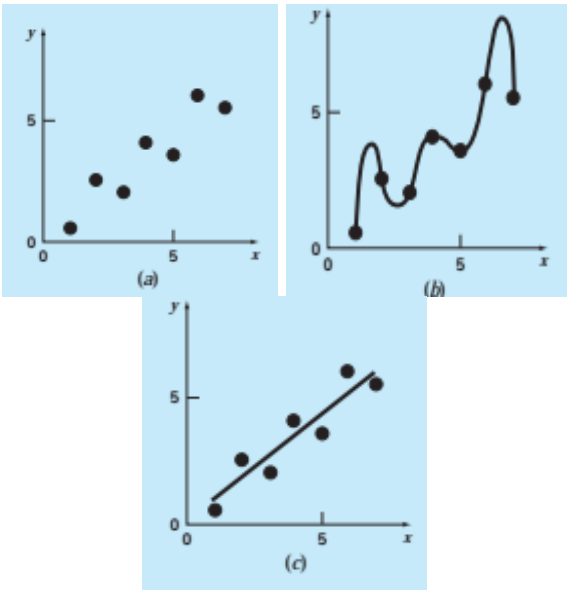
$U = \max\left(\overline{x_\iota\uparrow} + 3S_i\uparrow\right) - \min(\overline{x_\iota\downarrow} + 3S_i\downarrow)$ for forward > backward (10)

$U = \max\left(\overline{x_\iota\downarrow} + 3S_i\downarrow\right) - \min\left(\overline{x_\iota\uparrow} + 3S_i\uparrow\right)$ for backward > forward (11)

2.3.6 Least Squares Regression

Pada sebuah penelitian data yang didapatkan sering kali dalam bentuk diskrit sepanjang hasil kontinu. Oleh karena itu poin antara nilai diskrit harus dapat diperkirakan. Salah satu cara untuk menghitung nilai tersebut adalah dengan mencari nilai dari fungsi pada angka diskrit sepanjang *range of interest*. Kemudian akan didapatkan fungsi sederhana yang cocok pada data tersebut. Aplikasi ini disebut dengan *curve fitting* (lihat gambar 2.6). Salah satu metode dalam *curve fitting* adalah *least square regression* (Chapra 2010, hal. 454).

Least square regression adalah suatu cara untuk mencocokkan garis lurus yang paling baik pada titik data yang tidak pasti. Selain membahas gradien dan titik potong garis, dilakukan juga metode kuantitatif dan visual untuk menentukan validasi dari hasil. Metode ini dapat dibagi menjadi empat yaitu *liner regression, polynomial regression, multiple regression,* dan *nonlinear regression.* Pada tugas akhir ini, metode yang difokuskan hanya pada *linear* dan *polynomial regression.*



Gambar 2.6 (a) Data yang didapatkan. (b) Polynomial fit berosilasi melewati batas data. (c) Lebih meyakinkan dengan least square regression.

1. *Linear Regression*

Linear regression adalah sebuah metode *fitting* pada garis lurus pada sebuah obervasi: (x1,y1) , (x2,y2) , ... , (x_n , y_n). Persamaan matematika untuk garis lurus yaitu

$$y = a_0 + a_1 x + e \tag{12}$$

dimana a_0 dan a_1 adalah koefisien yang mempresentasikan perpotongan dan gradien, secara berurut, dan *e* adalah *error* atau residu dari model yang di observasi. Nilai a_0 dan a_1 didapatkan melalui rumus berikut:

$$a_1 = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \tag{13}$$

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} \quad (14)$$

Untuk menentukan validasi *fitting* dilakukan perhitungan standar deviasi, standar *error* dan *improvement*, dengan cara sebagai berikut

a) Standar deviasi , S_y

$$S_y{}^2 = \frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1} \quad (15)$$

b) Standar *error* , $S_{y/x}$

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{S_r}{n-2}} \quad (16)$$

c) *Improvement, r^2*

$$r^2 = \frac{S_t - S_r}{S_t} \quad (17)$$

2. Polynomial Regression

Polynomial regression memiliki kegunaan yang sama seperti *linear regression*, akan tetapi pada metode ini kurva akan dicocokkan dengan garis polynomial. Untuk fungsi dengan order dua, memiliki persamaan umum sebagai berikut:

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + e \quad (18)$$

Untuk kasus ini, jumlah residualnya adalah

$$S_r = \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2\right)^2 \quad (19)$$

Dari persamaan (18) tersebut didapatkan set persamaan berupa

$$(n)a_0 + \left(\sum x_i\right) a_1 + \left(\sum x_i^2\right) a_2 = \sum y_i$$
$$\left(\sum x_i\right) a_0 + \left(\sum x_i^2\right) a_1 + \left(\sum x_i^3\right) a_2 = \sum x_i y_i$$
$$\left(\sum x_i^2\right) a_0 + \left(\sum x_i^3\right) a_1 + \left(\sum x_i^4\right) a_2 = \sum x_i^2 y_i$$

Nilai a_0, a_1, dan a_2 didapatkan dengan menghitung persamaan di atas menggunakan metode gauss jordan atau metode matrix lainnya. Kemudian standar *error* dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

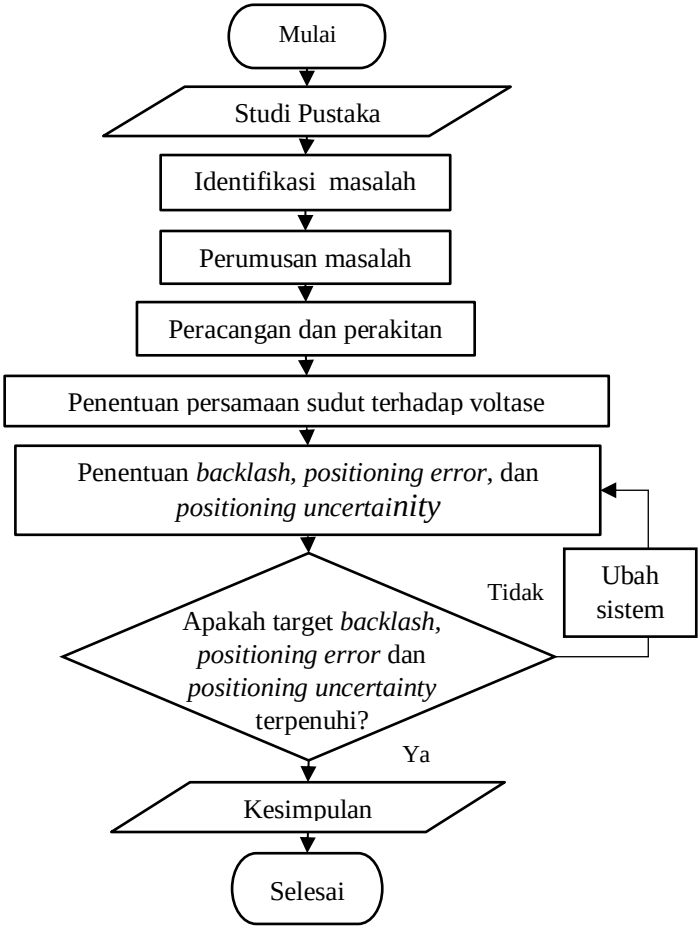
$$s_{y/x} = \sqrt{\frac{S_r}{n-(m+1)}} \qquad (20)$$

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada ini akan dibahas mengenai gambaran langkah – langkah sistematis yang akan dijadikan sebagai acuan kerangka penelitian yang bertujuan untuk menciptakan mekanisme 2 DOF dan estimasi performa pada sistem senjata otomatis.



Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian

3.2 Tahap Penelitian

Gambar 3.2 Diagram alir metodologi penelitian

3.2.1 [illegible]

Proses persiapan terdiri dari tiga tahapan yaitu studi pustaka, identifikasi masalah dan perumusan masalah. Studi pustaka merupakan acuan referensi yang penulis gunakan untuk mendalami permasalahan yang akan diteliti, yang mana dalam hal ini mengenai bagaimana perumusan persamaan antara sudut terhadap voltase yang terjadi pada sensor sistem senjata otomatis menggunakan potensiometer dan estimasi *backlash, positioning error* dan *positioning uncertainty* mekanisme. Studi pustaka dilakukan dengan memanfaatkan buku-buku referensi, *paper-paper* dan jurnal-jurnal yang berkaitan dengan permasalahan yang akan dibahas. Setelah itu dilakukan identifikasi masalah untuk menyusun rancang bangun senjata otomatis dan pendeteksian *error* menggunakan sensor potensiometer. Terakhir, tahap perumusan masalah berisi tentang permasalahan yang akan dibahas pada tugas akhir ini yaitu bagaimana rancang bangun mekanisme senjata dan *backlash, positioning error* dan *positioning uncertainty* pada mekanisme.

3.2.2 Perancangan dan Pembuatan Mekanisme Senjata

Pada proses ini perancangan mekanisme senjata dengan 2 DOF yang dapat berotasi ke arah horizontal dan vertikal dilakukan dengan menggunakan *software* Solidwork. Desain dari mekanisme dirancang untuk menghilangkan kekurangan pada mekanisme penelitian sebelumnya yaitu:

1. Tidak adanya sensor *feedback* pada mekanisme.
2. Ukuran mekanisme terlalu besar sehingga sulit untuk dipindahkan dan beban pada servo untuk menggerakkan mekanisme besar sehingga mengakibatkan kesalahan pada pelacakan.
3. Beban mekanisme bertumpu langsung pada servo sehingga servo sulit bergerak.

4. Kemampuan gerak dirancang sesuai kemampuan putar servo 300^0 dan daya tangkap kamera.

Berikut adalah *list of requirements* yang dibutuhkan dalam proses perancangan mekanisme senjata:

Tabel 3.1 *List of Requirement*

No	*List of requirements*	Keterangan
1	Sensor *Feedback*	Pemberian sensor sebagai instrumen pengukur sudut
2	Ukuran Mekanisme	Ukuran dirancang agar dapat dipindah dan ditempatkan dengan mudah
3	Beban Servo	Tidak ada beban vertikal pada servo sudut rotasi horizontal
4	Kemampuan Gerak	Mampu bergerak dengan sudut inklinasi -10 hingga 50 derajat dan sudut rotasi -50 hingga 50 derajat

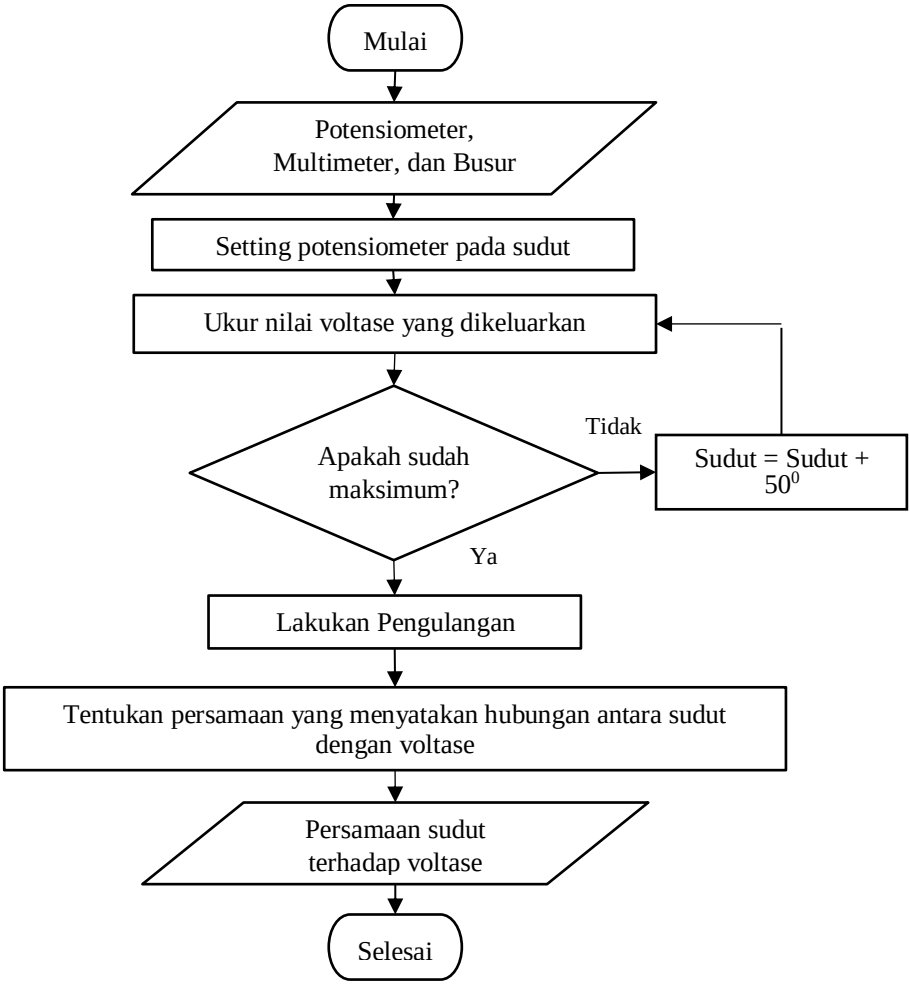
3.2.3 Pengambilan Data Voltase Potensiometer Terhadap Sudut

Pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan pada sudut $[0^0,3600^0]$ dengan pengambilan data tiga kali untuk setiap sudut pada interval 50^0 untuk pengukuran berikutnya.

3.2.4 Penentuan Persamaan Sudut Terhadap Voltase

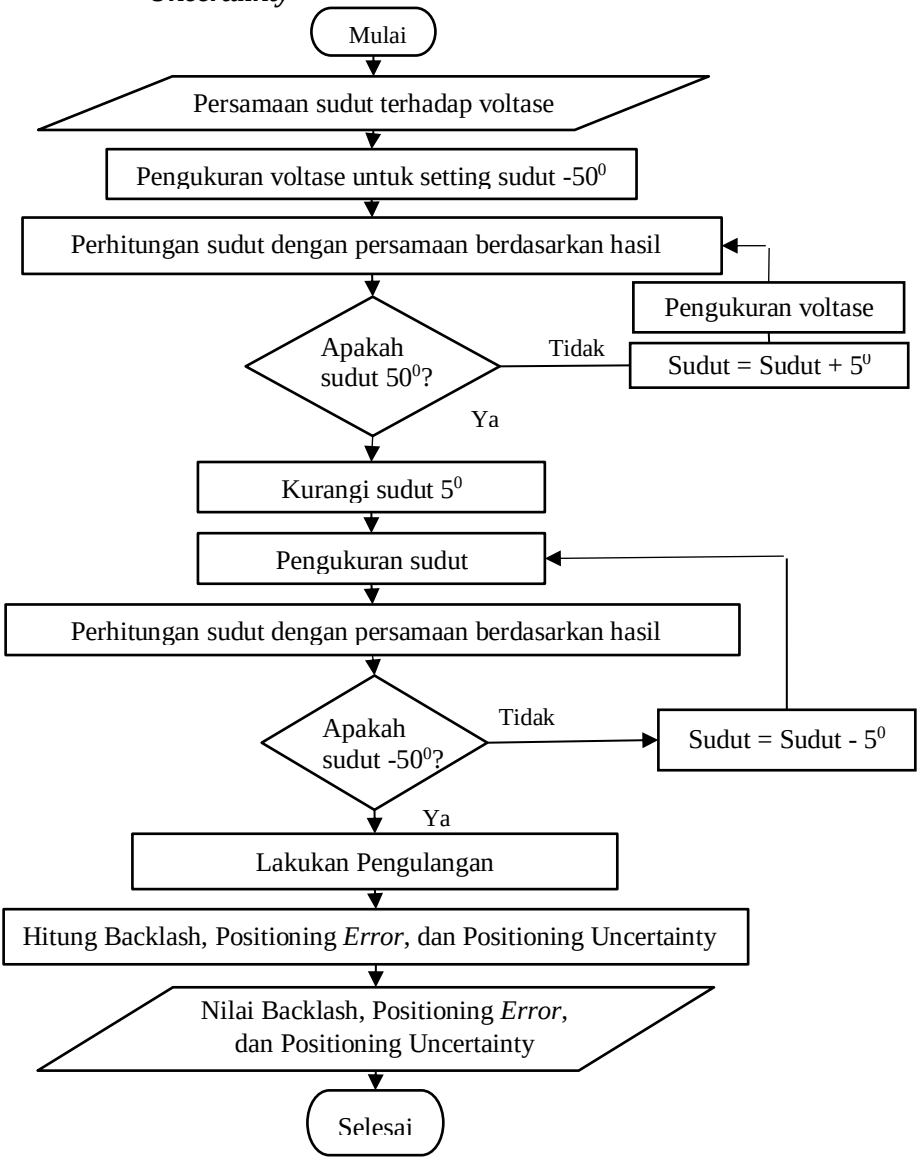
Dari data yang didapatkan akan dilakukan metode regresi untuk menentukan persamaan fungsi dari sudut terhadap voltase pada potensiometer. Kemudian akan dilanjutkan dengan perhitungan nilai *backlash, positioning error* dan *positioning uncertainty* untuk mendapatkan kompensasi *error* pada desain system control.

3.2.5 Diagram Alir Penentuan Persamaan Sudut terhadap Voltase



Gambar 3.3 Diagram Alir Penentuan Persamaan Sudut terhadap Voltase

3.2.6 Perhitungan *Backlash, Positioning Error, Positioning Uncertainty*



Gambar 3.4 Diagram alir perhitungan *positioning error*

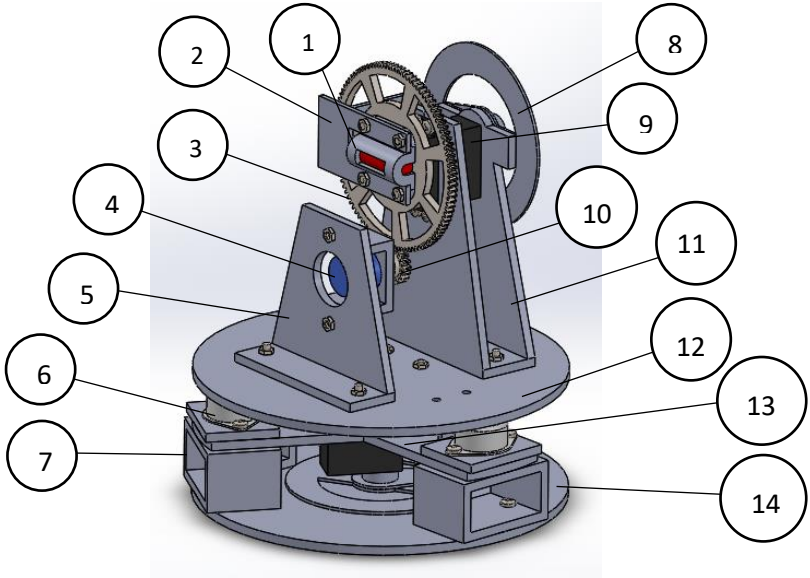
Halaman ini Sengaja Dikosongkan

BAB IV

PERANCANGAN DAN PERAKITAN MEKANISME

4.1 Konsep Mekanisme

Ide konsep perancangan mekanisme berasal dari *turret gun* yang memiliki arah gerak rotasi pada sudut inklinasi dan azimuth. Mekanisme yang akan dibuat adalah prototipe dari *turret gun* yang digunakan untuk penelitian pelacakan target senjata otomatis menggunakan *image processing* seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Konsep mekanisme

Keterangan

1. Klem Laser
2. Penunjuk Sudut
3. Roda gigi servo
4. Potensiometer
5. Dudukan potensiometer

6. *Ballcaster*
7. Dudukan *ballcaster*
8. Busur
9. Servo
10. Roda gigi potensiometer
11. Dudukan servo atas
12. Pelat dasar atas
13. Dudukan servo bawah
14. Plat dasar bawah

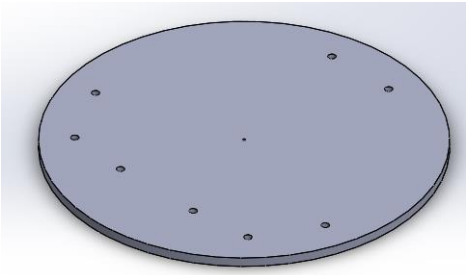
Cara kerja alat ini yaitu *input* berupa sinyal dari *image processing* dikirim ke servo (9) lalu servo akan memutar roda gigi servo (3) yang kemudian akan memutar klem laser (1) pada sudut putar inklinasi untuk servo atas dan pelat dasar atas (12) pada sudut putar azimuth untuk servo bawah. Putaran klem laser dan pelat dasar atas akan dideteksi oleh potensiometer (4) yang ditransmisikan servo melalui roda gigi. Kemudian potensiometer akan memberikan sinyal balik ke *microcontroller* untuk memperbaiki *output* yang dihasilkan.

4.2 Perancangan Komponen

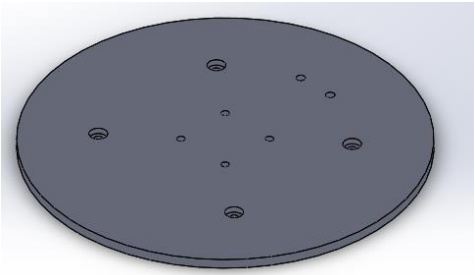
Pembuatan mekanisme dimulai dengan membuat *list of requirement* untuk menjadi acuan perancangan. Kemudian dilanjutkan dengan tahap perancangan yang dimulai merencanakan dimensi, bentuk dan jenis material komponen. Rancangan mekanisme disesuaikan dengan *list of requirement* yang telah ditentukan. Hasil akhir dari perancangan ini adalah gambar detail dan gambar susunan dari mekanisme (Lampiran C).

4.2.1 Perancangan Pelat Dasar Bawah dan Atas

Pelat dasar ini berfungsi untuk menopang komponen lainnya dan membuat putaran terhadap sumbu vertical. Pelat dasar ini dibuat dengan bahan acrylic dengan tebal 5mm dan berbentuk lingkaran yang memiliki diameter 200 mm. Ukuran diameter pelat dasar dirancang seminimal mungkin untuk meringankan beban servo dan mempermudah penempatan alat. Pelat dasar bawah dan atas dapat dilihat pada gambar 4.2 (a) dan (b).



(a)

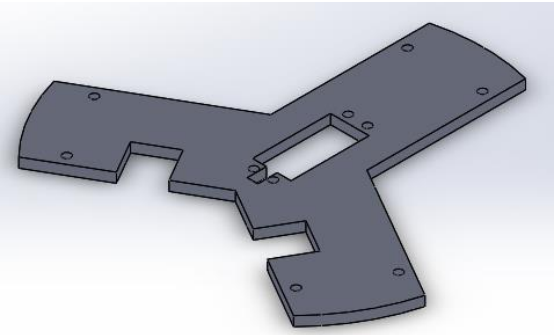


(b)

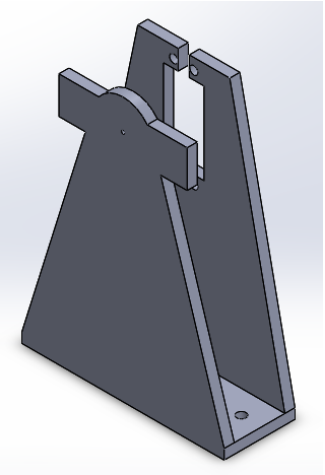
Gambar 4.2 (a) Pelat dasar bawah (b) pelat dasar atas

4.2.2 Perancangan Dudukan Servo bawah dan atas

Dudukan servo bawah berfungsi sebagai penopang servo dan memberikan tempat untuk pemasangan busur diantara servo dan pelat dasar bawah. Dudukan servo bawah memiliki rongga pada dua lengannya yang berfungsi untuk memberikan ruang gerak untuk penunjuk busur. Dudukan servo bawah dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut. Sedangkan dudukan servo atas berfungsi sebagai penopang servo dan busur pengukur. Dudukan servo atas memiliki dua bagian plat terpisah yang berdiri terhadap sumbu horizontal sebagai tempat pemasang servo dan busur. Gambar 4.4 merupakan perancangan dudukan servo.



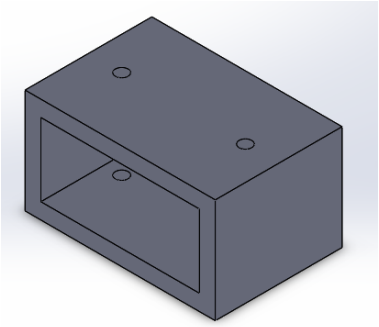
Gambar 4.3 Dudukan servo bawah



Gambar 4.4 Dudukan servo atas

4.2.3 Perancangan Dudukan *Ballcaster*

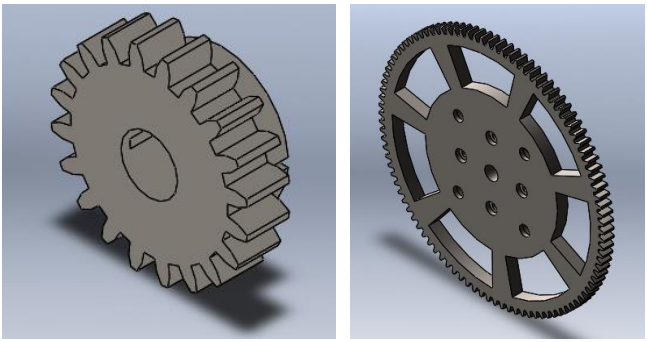
Dudukan *ballcaster* berfungsi untuk menopang beban dari ballcaster seperti pada gambar 4.5. *Ballcaster* sendiri memiliki tunjuan untuk menghilangkan beban pada servo untuk arah putaran azimuth.



Gambar 4.5 Dudukan ballcaster

4.2.4 Perancangan Transmisi Roda Gigi

Transmisi roda gigi ini memiliki tujuan untuk meneruskan putaran dari servo ke potensiometer. Transmisi dirancang dengan rasio 1:5 dengan diameter 20 mm untuk *driven gear* dan 100 mm untuk *drive gear*. Pemberian rasio bertujuan untuk memperbesar perubahan voltase yang dihasilkan potensiometer agar pembacaannya lebih mudah. Roda gigi memiliki bahan dasar plastik yang dibuat menggunakan 3D *print*. Gambar 4.6 berikut adalah gambar rancangan dari transmisi roda gigi.

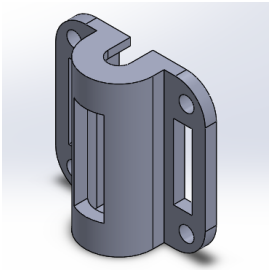


(a) (b)

Gambar 4.6 (a) Driven gear (b) pinion servo

4.2.5 Perancangan Klem Laser

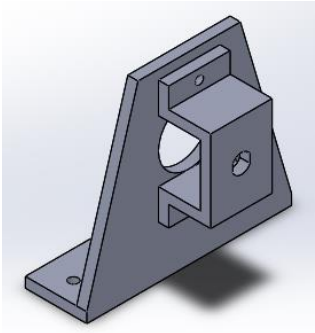
Klem laser berfungsi sebagai tempat dipasangnya laser penunjuk target pada mekanisme agar laser dapat bergerak sesuai dengan putaran pada servo. Pemasangannya terletak pada gear pinion servo dan dipasang menggunakan baut berukuran M4. Gambar 4.7 merupakan rancangan dari klem laser.



Gambar 4.7 Klem laser

4.2.6 Perancangan Dudukan Potensiometer

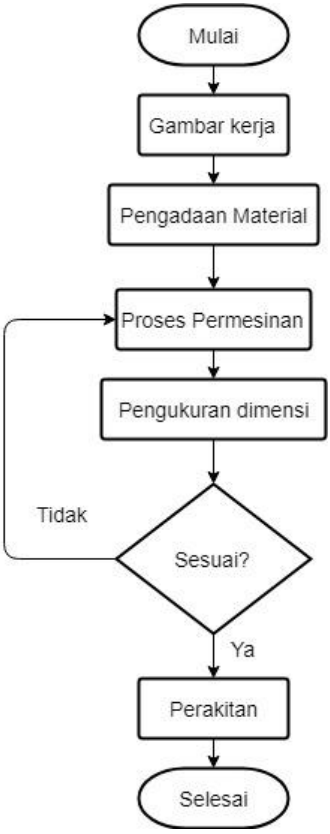
Dudukan potensiometer berfungsi sebagai penopang potensiometer agar dapat sejajar dengan rotasi pada pinion servo. Pemasangannya terletak diatas pelat dasar atas dan sejajar dengan dudukan servo atas. Gambar 4.8 berikut ini merupakan rancangan dudukan potensiometer.



Gambar 4.8 Dudukan potensiometer

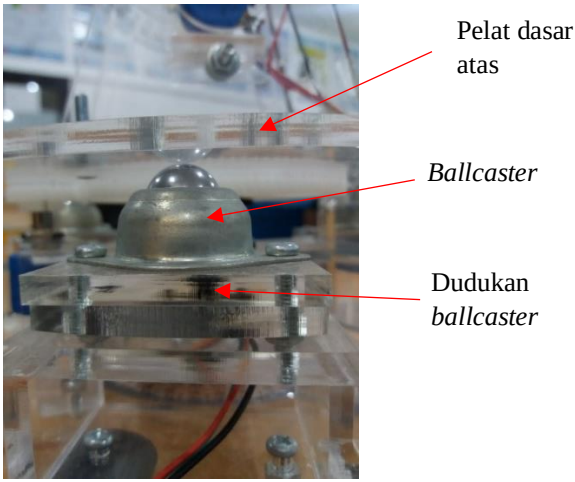
4.3 Pembuatan dan Perakitan Mekanisme

Setelah perancangan gambar kerja seluruh komponen mekanisme selesai, dilakukan proses manufaktur komponen mekanisme. Komponen yang ada dipasaran langsung dibeli, yaitu potensiometer, servo, busur, *ballcaster* dan baut. Sebagian besar komponen dibuat menggunakan bahan acrylic yang memiliki tebal 5 mm dengan proses *laser cutting* di bengkel acrylic. Secara garis besar tahap pembuatan komponen mengikuti diagram alir pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Diagram alir proses pembuatan mekanisme

Selanjutnya setelah semua komponen selesai dibuat, dilakukan perakitan komponen. Pada mekanisme ini dipasang *ballcaster* di bagian bawah komponen rotasi sudut azimuth untuk mengurangi beban tekan pada servo seperti gambar 4.5. Mekanisme ini menggunakan roda gigi sebagai sistem transmisi antara servo penggerak dan sensor potensiometer dengan rasio 1:5 (lihat gambar 4.12) yang memiliki ukuran diameter *pitch pinion* 100 mm dan diameter *pitch driven gear* 20 mm. Sensor yang digunakan yaitu potensiometer *multiturn* 3600^0 dengan hambatan 100 Ohm seperti pada gambar 4.11, karena *output* yang diukur adalah perubahan sudut, dimana potensiometer dapat memanipulasi perubahan sudut menjadi perubahan voltase.



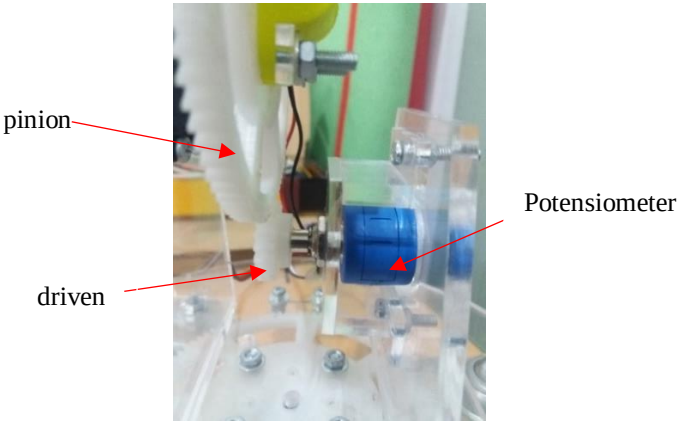
Gambar 4.10 *Ballcaster* penyangga plate atas mekanisme

Kemudian tahap terakhir yaitu perakitan mekanisme dengan hasil yang dapat dilihat pada gambar 4.13. Berikut adalah spesifikasi dari mekanisme yang telah dibuat:

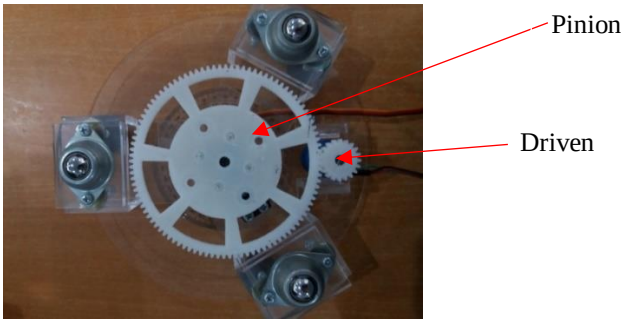
Panjang : 200 mm

Lebar : 200 mm

Tinggi	: 246 mm
Berat	: 1565 gr
Sudut putar Inklinasi	: -10^0 - 50^0
Sudut Putar Azimuth	: -50^0 - 50^0
Rasio roda gigi	: 1:5
Sensor *Feedback*	: Potensiometer *multiturn* 3600^0 100 Ω



Gambar 4.11 Sensor potensiometer



Gambar 4.12 Gear Transmisi

Gambar 4.13 Mekanisme 2-DOF

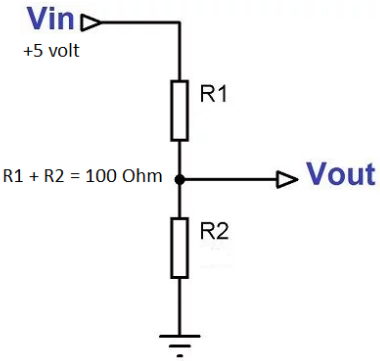
4.4 Perancangan Instrumentasi Pengukur Sudut

Pada mekanisme ini sensor yang digunakan untuk mengukur perubahan sudut adalah potensiometer. Dimana potensiometer itu sendiri adalah sensor yang memanipulasi perubahan sudut menjadi perubahan voltase. Oleh karena itu perlu diketahui bagaimana persamaan yang menggambarkan hubungan antara perbuahan sudut terhadap voltase yang terjadi pada potensiometer.

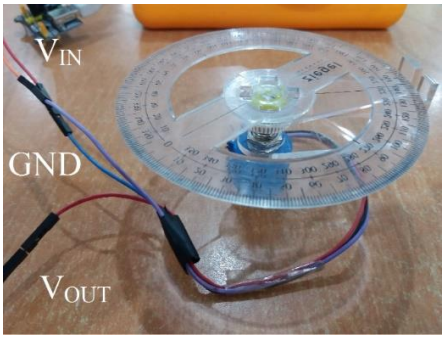
Dalam pembuatan persamaan perubahan voltase terhadap sudut, rangkaian yang digunakan saat pengambilan data adalah *voltage divider*. Rangkaian ini diaplikasikan pada sensor

potensiometer (1) dan (2) dengan voltase *input* sebesar 5 Volt seperti pada gambar 4.13.

Kemudian sensor potensiometer ini dipasang pada sebuah mekanisme dengan alat bantu pengukuran yang terdiri dari bagian klem yang dirancang sesuai dengan ukuran potensiometer dan busur pengukur (lihat gambar 4.14). Perubahan voltase *output* yang terjadi pada potensiometer akan dicatat menggunakan avometer pada skala 20 Volt seperti gambar 4.2 berikut.

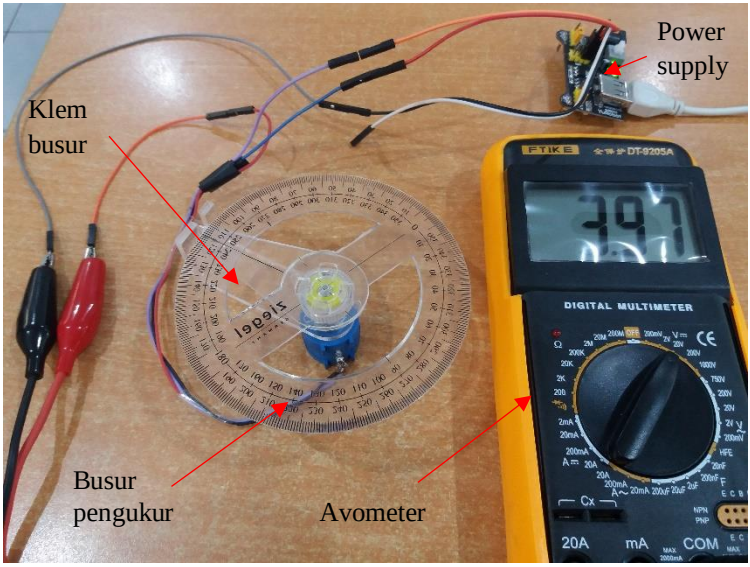


(a)



(b)

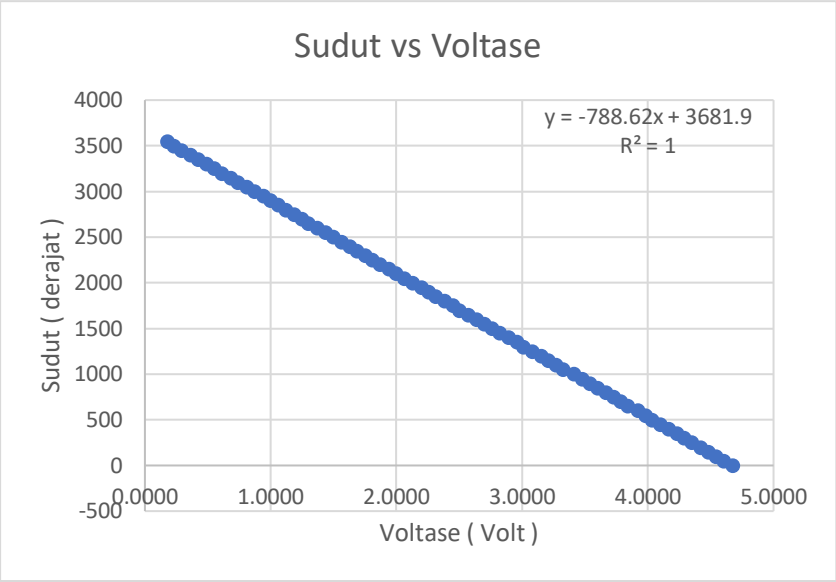
Gambar 4.14 (a) Skema rangkaian voltage divider sensor (b) rangkaian pada sensor



Gambar 4.15 Mekanisme Pengukur Perubahan Voltase terhadap Sudut

Pengambilan data dilakukan dari posisi sudut minimal sampai sudut maksimal potensiometer dengan total sudut 3600^0 dan kenaikan 50^0 sebanyak tiga kali pada setiap titik untuk masing – masing potensiometer. Kemudian dari rata - rata data yang diambil dilakukan metode regresi untuk menentukan persamaan yang dihasilkan antara perubahan sudut dan voltase potensiometer.

Dari hasil regresi yang didapat kemudian dilakukan *curve fitting* untuk menentukan kurva mana yang memiliki R^2 terbesar. Pada *curve fitting* ini kurva dengan nilai R^2 terbesar adalah kurva linear untuk potensiometer (1) seperti pada gambar 4.16 dengan $R^2 = 1$, yang menandakan bahwa persamaan dapat mempresentasikan 100% variasi yang ada pada data. Kemudian didapatkan persamaan yang menyatakan hubungan antara perubahan sudut terhadap voltase potensiometer (1) dari kurva yaitu,



Gambar 4.16 Grafik Perubahan Sudut terhadap Voltase Potensiometer (1)

$$y = -788.62x + 3681.9 \quad (21)$$

dimana,

y = Sudut potensiometer (derajat)

x = Voltase rangkaian (volt)

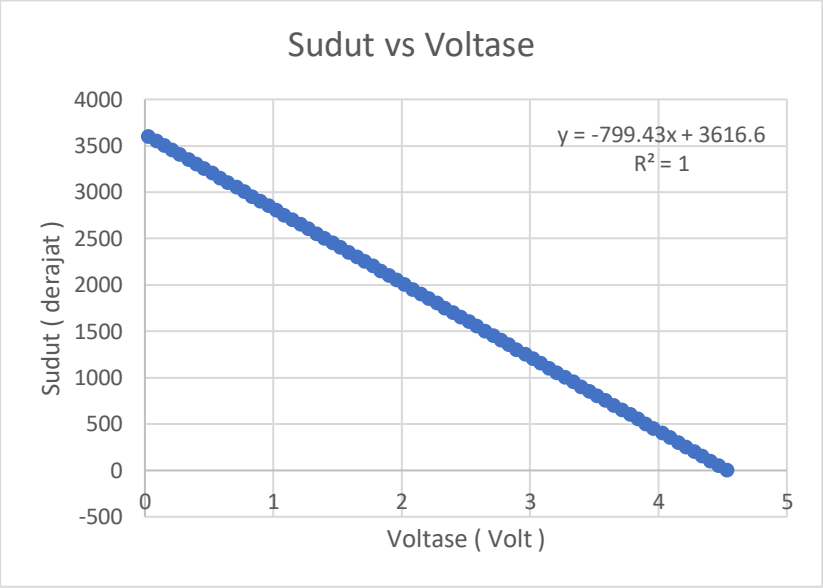
Kemudian untuk potensiometer (2) didapat hasil regresi dengan nilai $R^2 = 1$ yang dapat dilihat pada gambar 4.17. Persamaan kurva untuk potensiometer (2) yaitu:

$$y = -799.43x + 3616.6 \quad (22)$$

dimana,

y = Sudut potensiometer (derajat)

x = Voltase rangkaian (volt)



Gambar 4.17 Grafik Perubahan Sudut terhadap Voltase Potensiometer (2)

BAB V

PENGUJIAN PERFORMA MEKANISME

5.1 Faktor – Faktor yang Menyebabkan Kesalahan pada Pergerakan Mekanisme

Faktor – faktor yang mungkin menyebabkan kesalahan pada pergerakan mekanisme yaitu:

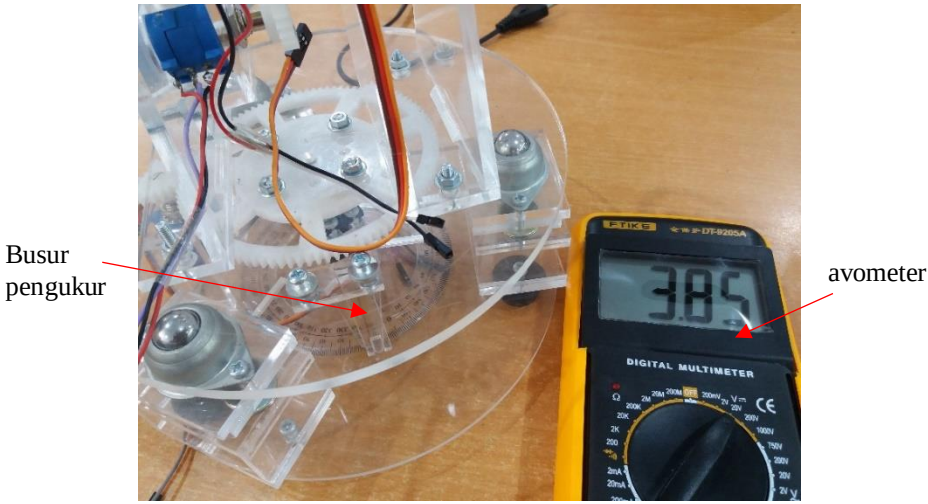
1. Terdapat celah antar bagian roda gigi pada sistem transmisi (*backlash*), sehingga menyebabkan hilangnnya pergerakan pada mekanisme dan kesalahan pada pergerakan mekanisme.
2. Kesalahan karena terdapat *backlash* pada transmisi potensiometer, sehingga terdapat kesalahan pada pengukuran sudut.
3. Ketidakstabilan *input* voltase dapat mengakibatkan kesalahan pada *output*, sehingga terjadi kesalahan pada pembacaan sudut sensor potensiometer.
4. Keterbatasan pembacaan voltase (kecermatan) pada voltmeter sehingga terjadi kesalahan pada pengukuran voltase.

5.2 Perhitungan Nilai *Error* Sudut Sensor Potensiometer

Pengambilan data perubahan posisi dilakukan secara langsung dengan menggunakan avometer yang dirangkai dengan sensor potensiometer pada mekanisme yang telah dirakit sempurna. Perubahan sudut yang terjadi pada mekanisme dapat dilihat diukur dengan busur dan mekanisme bantuan yang sudah terpasang pada mekanisme (lihat gambar 5.1).

Penentuan *error* sudut yang dibaca potensiometer dilakukan pada kedua sudut putar yaitu pada sudut putar inklinasi dan sudut putar azimuth. Secara garis besar perhitungan data *error* dapat dilihat pada gambar 5.2. Langkah pertama yang dilakukan yaitu melakukan kalibrasi untuk menentukan voltase dan sudut inisial pengukuran. Kemudian mengambil data voltase setiap kenaikan 5^0 nilai sudut dan pengulangan 5 kali untuk setiap titik. Lalu

pengambilan data dilakukan dengan arah putaran sudut sebaliknya dengan kenaikan 5^0 dan pengulangan 5 kali untuk setiap titik.



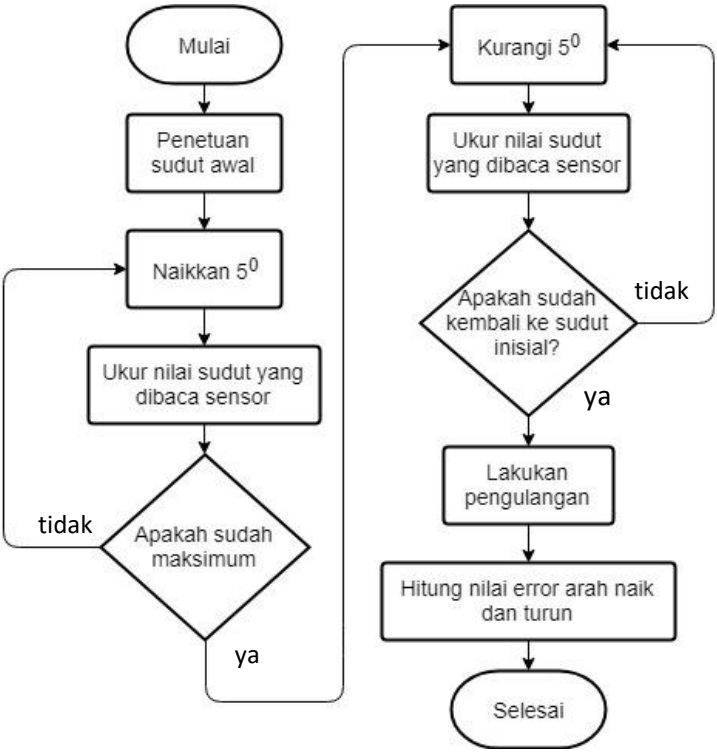
Gambar 5.1 Pengambilan data *error* sudut

Untuk menyetarakan perubahan sudut antara potensiometer dan servo dengan rasio 1 : 5, maka dihitung nilai selisih antara voltase inisial dan voltase yang terjadi pada setiap titik. Kemudian nilai selisih tersebut akan dibagi 5 dan ditambahkan pada nilai voltase inisial untuk mendapatkan voltase rasio 1:5. Setelah itu dihitung sudut yang dibaca potensiometer dengan menggunakan persamaan (21). Contoh perhitungan pembacaan sudut adalah sebagai berikut:

Pembacaan sudut oleh potensiometer menggunakan persamaan (21),

$$y = -788.62x + 3681.9$$

dimana,



Gambar 5.2 Diagram alir perhitungan *error* sudut sensor

y = Sudut potensiometer (derajat)

x = Voltase rangkaian (volt)

Kemudian dilakukan kalibrasi persamaan pada sudut inisial dengan menggeser kurva sesuai sudut awal yang diinginkan. Misalnya sudut yang diinginkan adalah 45^0 dan voltase yang dihasilkan pada sudut inisial adalah 3,67 volt maka,

$y = -788.62\ (3.67) + 3681.9$

$y = 787.6646^0$

berikutnya menentukan nilai pergeseran, C, yaitu

$$C = \Theta_0 - y \tag{23}$$

dimana,

C = nilai pergeseran kurva

y = sudut yang dibaca potensiometer (volt)

Θ_0 = Sudut inisial (derajat)

sehingga,

C = 45 - 787.6646

C = -742.6646

Maka persamaan yang digunakan dalam perhitungan nilai sudut dengan sudut inisial 45^0 adalah:

$$y = -788.62x + 3681.9 - 742.6646$$

$$y = -788.62x + 2939.2354 \tag{24}$$

Dari persamaan (24) diatas dapat dibaca sudut potensiometer pada posisi i, θ_i', tanpa mempertimbangkan rasio transmisi. Kemudian pembacaan sudut sebenarnya, θ_i, yang dibaca potensiometer pada posisi sudut i dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\theta_i = \theta_0 + \frac{(\theta_i' - \theta_0)}{5} \tag{25}$$

dimana,

Θ_0 = Sudut inisial yang dibaca potensiometer (derajat)

Θ_i = Sudut pada posisi i yang dibaca potensiometer dengan rasio 1:5 (derajat)

θ_i' = Sudut pada posisi i yang dibaca potensiometer (derajat)

Sebagai contoh Θ_0 = 45^0 dan dilakukan pembacaan pada posisi sudut 35^0 dengan θ'_{35} = -2.3172^0 maka,

$$\theta_{35} = \theta_0 + \frac{(\theta'_{35} - \theta_0)}{5}$$

$$\theta_{35} = 45 + \frac{(-2.3172 - 45)}{5}$$

$$\theta_{35} = 35.54^0$$

Setelah didapatkan nilai sudut yang dibaca potensiometer dengan memperhitungakan rasio transmisi, dihitung nilai eror antara sudut yang baca potensiometer dan sudut sebenarnya sebagai berikut:

$$e = \alpha - \theta_i \tag{23}$$

dimana,

e = *error* sudut (derajat)

α = setpoint posisi sudut (derajat)

θ_i = Sudut pada posisi i yang dibaca potensiometer dengan rasio 1:5 (derajat)

dari contoh perhitungan makan *error* yang terjadi dari pembacaan sensor adalah:

$$e = 35^0 - 35.54^0$$

$$e = 0.54^0$$

Kemudian dari perhitungan data sudut baca potensiometer, eror yang dihasilkan dapat ditabelkan pada tabel berikut:

Tabel 5.1 Nilai *Error* Sudut Putar Azimuth

set point	arah naik		arah turun	
	nilai sudut	*error*	nilai sudut	*error*
45°	45°	0 °	45°	0 °
40°	39,952832°	0,047168 °	40,26828°	-0,26828 °
35°	34,905664°	0,094336 °	34,590216°	0,409784°
30°	30,173944°	-0,173944°	29,858496°	0,141504°
25°	26,07312 °	-1,07312 °	25,757672°	-0,75767°
20°	21,3414 °	-1,3414 °	21,3414°	-1,3414 °
15°	14,401544°	0,598456 °	15,347888°	-0,34788°
10°	10,30072 °	-0,30072 °	10,30072°	-0,30072 °
5°	4,622656 °	0,377344 °	4,622656°	0,377344°
0°	-0,424512 °	0,424512 °	-0,73996°	0,73996 °
-5°	-5,787128 °	0,787128 °	-5,787128°	0,787128°
-10°	-9,887952 °	-0,112048°	-10,2034°	0,2034 °
-15°	-15,25056°	0,250568 °	-15,25056°	0,250568°
-20°	-19,66684 °	-0,33316 °	-19,66684°	-0,33316°
-25°	-24,39856 °	-0,60144 °	-24,39856°	-0,60144 °
-30°	-29,44572°	-0,554272°	-30,39207°	0,392072°
-35°	-34,80834°	-0,191656°	-34,49289°	-0,50710°
-40°	-40,17096 °	0,17096 °	-40,17096°	0,17096 °
-45°	-44,90268 °	-0,09732 °	-45,21812°	0,218128°

Tabel 5.2 Nilai *Error* Sudut Putar Inklinasi

set point	arah naik		arah turun	
	nilai sudut	*error*	nilai sudut	*error*
-10°	-10 °	3,97E-13°	-10 °	2,486E-14°
-5°	-4,321936 °	-0,67806°	-3,69104 °	-1,30896 °
0°	0,094336 °	-0,09433°	0,725232 °	-0,725232 °
5°	4,826056 °	0,173944 °	5,456952 °	-0,456952 °
10°	9,242328 °	0,757672 °	9,873224 °	0,126776 °
15°	13,6586 °	1,3414 °	14,604944°	0,395056 °
20°	19,96756 °	0,03244 °	19,96756 °	0,03244 °
25°	25,330176°	-0,33017°	25,014728°	-0,014728 °
30°	29,746448°	0,253552 °	30,061896°	-0,061896 °
35°	35,109064°	-0,10906°	35,424512°	-0,424512 °
40°	40,47168 °	-0,47168 °	40,47168 °	-0,47168 °
45°	45,2034 °	-0,2034 °	44,887952°	0,112048 °
50°	49,304224°	0,695776 °	49,619672°	0,380328 °

5.3 Perhitungan Backlash, Positioning *Error*, dan Positioning Uncertainty

Perhitungan *backlash*, *positioning error*, dan *positioning uncertainty* untuk mengetahui performa mekanisme dilakukan setelah mendapatkan nilai *error* sudut pada setiap posisi untuk sudut azimuth dan inklinasi dengan menggunakan persamaan (7), (8), (9), (10) dan (11).

5.3.1 Performa Rotasi Sudut Azimuth

Nilai performa yang diamati pada sudut azimuth yaitu pada range sudut -45^0 sampai 45^0. Berdasarkan nilai *error* pada tabel 5.1 dapat dilihat performa yang terjadi setiap setpoint pada gambar 5.3. Dari grafik dapat dilihat nilai performa yang berbeda untuk setiap titik. Hal ini dapat diakibatkan oleh beberapa faktor yaitu

ketidaksempurnaan mekanisme, kesalahan pengukuran acak dan sistematis.

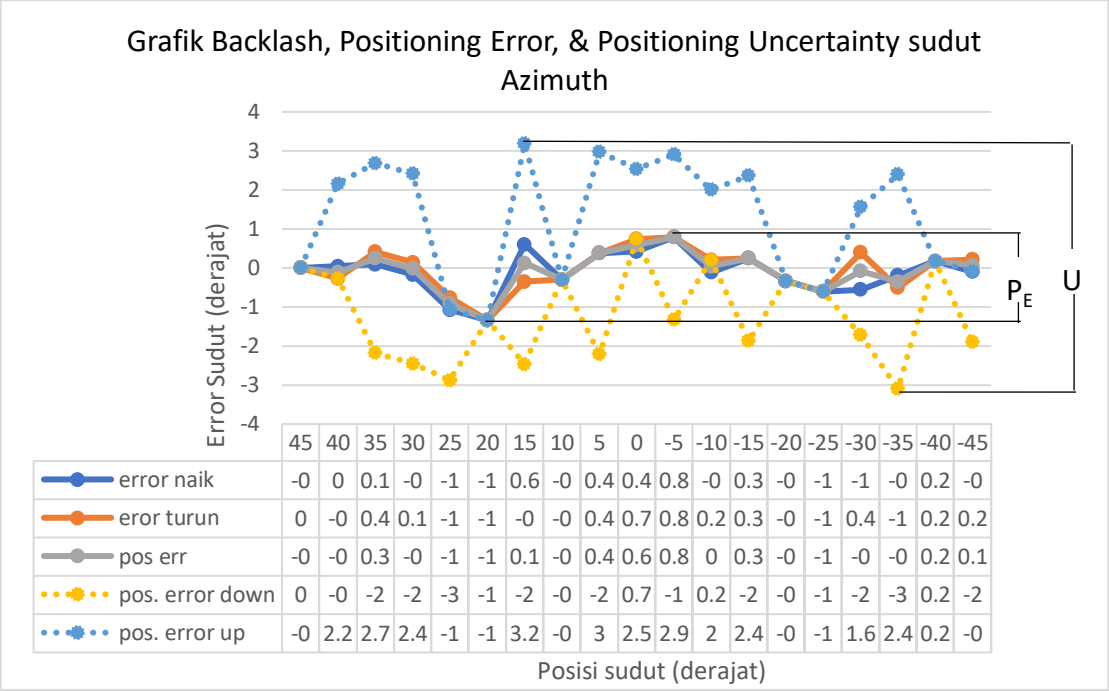
Dari nilai *error* yang didapat, dilakukan perhitungan nilai backlash yang terjadi menggunakan persamaan (7) ditabelkan pada tabel 5.3 berikut:

Tabel 5.3 Nilai Backlash pada Sudut Putar Azimuth

B_{45}=	-1,1E-13^o	B_{15}=	0,946344^o	B_{-15}=	0 ^{o}
B_{40}=	0,315448^o	B_{10}=	0 ^{o}	B_{-20}=	0 ^{o}
B_{35}=	-0,31545^o	B_5=	0 ^{o}	B_{-25}=	0 ^{o}
B_{30}=	-0,31545^o	B_0=	-0,31545^o	B_{-30}=	-0,94634^o
B_{25}=	-0,31545^o	B_{-5}=	0 ^{o}	B_{-35}=	0,315448^o
B_{20}=	0^o	B_{-10}=	-0,31545^o	B_{-40}=	0 ^{o}
				B_{-45}=	-0,31545^o

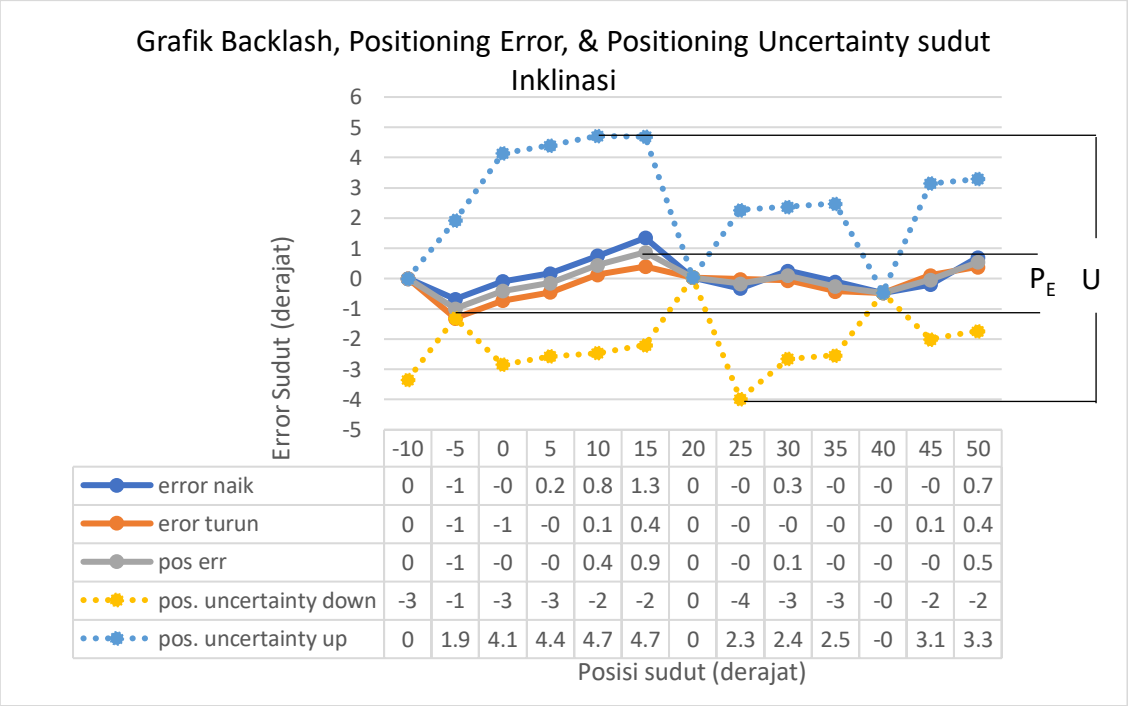
Pada gambar 5.3 grafik menunjukkan nilai backlash yang relatif kecil secara keseluruhan. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai *backlash* yang maksimum adalah 0.94634^o yang terjadi pada sudut 15^o dan nilai minimum adalah -0.94634^o pada sudut -30^o sudut putar Azimuth. Hal ini menunjukkan kesalahan pergerakan posisi yang mungkin terjadi karena adanya celah antar bagian roda gigi adalah 0.94634^o. Nilai minus pada perhitungan backlash dapat terjadi karena adanya ketidakstabilan voltase pada rangkaian sehingga terjadi kesalahan pada pengukuran.

Nilai *positioning error* yang terjadi pada sudut azimuth yaitu 2.139^0. Nilai ini didapat dari selisih antara nilai maksimum dan nilai minimum rata – rata *error* sistematis, dimana nilai *positioning error* (P_E) merupakan kesalahan sistematis pengukuran yang dapat diduga berdasarkan model ukur. Dari hasil hasil perhitungan dapat diketahui nilai *positioning uncertainty* yaitu (U) 6.2889^0. Nilai ini menunjukkan sebaran nilai yang dihasilkan dari kesalahan sistematis dan kesalahan acak.



	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
error naik	-0	0	0.1	-0	-1	-1	0.6	-0	0.4	0.4	0.8	-0	0.3	-0	-1	-1	-0	0.2	-0
eror turun	0	-0	0.4	0.1	-1	-1	-0	-0	0.4	0.7	0.8	0.2	0.3	-0	-1	0.4	-1	0.2	0.2
pos err	-0	-0	0.3	-0	-1	-1	0.1	-0	0.4	0.6	0.8	0	0.3	-0	-1	-0	-0	0.2	0.1
pos. error down	0	-0	-2	-2	-3	-1	-2	-0	-2	0.7	-1	0.2	-2	-0	-1	-2	-3	0.2	-2
pos. error up	-0	2.2	2.7	2.4	-1	-1	3.2	-0	3	2.5	2.9	2	2.4	-0	-1	1.6	2.4	0.2	-0

Gambar 5.3 Grafik Backlash, Positioning Error, dan Positioning Uncertainty sudut Azimuth



	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
error naik	0	-1	-0	0.2	0.8	1.3	0	-0	0.3	-0	-0	-0	0.7
eror turun	0	-1	-1	-0	0.1	0.4	0	-0	-0	-0	-0	0.1	0.4
pos err	0	-1	-0	-0	0.4	0.9	0	-0	0.1	-0	-0	-0	0.5
pos. uncertainty down	-3	-1	-3	-3	-2	-2	0	-4	-3	-3	-0	-2	-2
pos. uncertainty up	0	1.9	4.1	4.4	4.7	4.7	0	2.3	2.4	2.5	-0	3.1	3.3

Gambar 5.4 Grafik Backlash, Positioning Error, dan Positioning Uncertainty sudut Inklinasi

5.3.2 Performa Rotasi Sudut Inklinasi

Nilai voltase sudut inklinasi diambil pada *range* sudut -10^0 sampai 50^0 . Berdasarkan nilai *error* pada tabel 5.1 dapat dilihat performa yang terjadi setiap setpoint pada gambar 5.4. Dari grafik dapat dilihat nilai performa yang berbeda untuk setiap titik. Hal ini dapat diakibatkan oleh beberapa faktor yaitu ketidaksempurnaan mekanisme, kesalahan pengukuran acak dan sistematis.

Dari nilai *error* yang didapat, dilakukan perhitungan nilai *backlash* yang terjadi menggunakan persamaan (7) ditabelkan pada tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Nilai Backlash pada Sudut Putar Inklinasi

B_{-10}=	3,7E-13^o	B_{20}=	0 ^{o}
B_{-5}=	0,630896^o	B_{25}=	-0,315448 ^{o}
B_0=	0,630896^o	B_{30}=	0,315448 ^{o}
B_5=	0,630896^o	B_{35}=	0,315448 ^{o}
B_{10}=	0,630896^o	B_{40}=	0 ^{o}
B_{15}=	0,946344^o	B_{45}=	-0,315448 ^{o}
		B_{50}=	0,315448 ^{o}

Pada gambar 5.4 grafik menunjukkan nilai *backlash* yang relatif kecil secara keseluruhan. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai *backlash* yang maksimum adalah 0.94634^o yang terjadi pada sudut 15^o sudut putar Inklinasi. Hal ini menunjukkan kesalahan pergerakan posisi yang mungkin terjadi karena adanya celah antar bagian roda gigi adalah 0.94634^o. Nilai minus pada perhitungan *backlash* dapat terjadi karena adanya ketidakstabilan voltase pada rangkaian sehingga terjadi kesalahan pada pengukuran.

Nilai *positioning error* yang terjadi pada sudut Inklinasi yaitu 1.862^0. Nilai ini didapat dari selisih antara nilai maksimum dan nilai minimum rata – rata *error* sistematis, dimana nilai *positioning error* (P_E) merupakan kesalahan sistematis pengukuran

yang dapat diduga berdasarkan model ukur. Dari hasil hasil perhitungan dapat diketahui nilai *positioning uncertainty* yaitu (U) 8.690^{0}. Nilai ini menunjukkan sebaran nilai yang dihasilkan dari kesalahan sistematis dan kesalahan acak.

Hasil performa mekanisme ini sangat berguna dalam desain sistem kontrol mekanisme. Karena dari hasil performa dapat diketahui sejauh mana mekanisme melakukan kesalahan dalam pergerakan. Hasil performa ini kemudian akan digunakan sebagai acuan dalam penentuan kompensasi *error* pada sistem control.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari uraian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Telah dirancang dan dibuat mekanisme 2-DOF dengan sebuah sensor yang mudah ditempatkan dan dipindahkan, memiliki beban minimal pada penggerak, serta mampu bergerak dengan sudut inklinasi [-10^0, 50^0] dan sudut azimuth [-50^0, 50^0] yang sesuai dengan *list of requirement*.
2. Persamaan perubahan sudut terhadap voltase pada sensor potensiometer(1) yaitu y = -788.62x + 3681.9 dan untuk potensiometer(2) yaitu y = -799.43x + 3616.6, dimana y adalah sudut dan x adalah voltase.
3. Pada sudut Azimuth didapatkan nilai *backlash* terbesar yaitu 0.946^0, nilai *positioning error* 2.139^0, dan nilai *positioning uncertainty* yaitu 6.2889^0 dan pada sudut Inklinasi didapatkan nilai *backlash* terbesar adalah 0.946^0, nilai *positioning error* 1.861^0, dan nilai *positioning uncertainty* yaitu 8.690^0.

5.2 Saran

Pada sensor mekanisme masih perlu dilakukan perbaikan pada *input* voltase. Hal ini dikarenakan power supply yang kurang baik sehingga voltase tidak stabil. Akibatnya pengukuran voltase akan menghasilkan nilai yang salah (*error*).

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

Chapra, S. C., dan Canale, Raymond P., 2010, **Numerical Method for Engineering**, McGraw-Hill Higher Education, US.

Chen, J dan Chao, L. M., 1987, "Positioning *Error* Analysis for Robot Manipulators with all Rotary Joints", **IEEE Journal on Robotics and Automation**, vol. 3, no. 6, hal. 539 – 545.

Johnson, C. D., 2003, **Process Control Instrumentation Technology**, Prentice Hall, US.

Kuncorojati, A., 2015. "Rancang Bangun Pelontar Peluru Yang Dilengkapi Dengan Kamera Stereo Untuk Pendektesian Target Secara Otomatis", **Tugas Akhir**, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Nise, N. S., 2011, **Control System Engineering**, Wiley, US.

PTB.de 2017, **Sources of *Error* and Uncertainty in Machine Tool Calibration**. <URL:https://www.ptb.de/emrp/fileadmin/documents/tim/Huddersfield_APL_Sources_of_*error*uncertainty_in_MC_tool_cal.pdf >.

Revolvy.com 2017, **Backlash (Engineering)**, <URL:https://www.revolvy.com/topic/Backlash>.

Todd, C. D., 1975, **The Potentiometer Handbook**, McGraw-Hill Inc., US.

Ying, F. dan He, Z. 2004, "Variable-gain Control Base on Digital Potentiometer for Laser Receiving Circuit", **Journal of Detection & Control.**

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

LAMPIRAN A

Tabel Hasil Pengujian Perubahan Voltase terhadap Sudut Potensiometer(1)

sudut	voltase			avg
0	4,67	4,67	4,68	4,6733
50	4,6	4,6	4,61	4,6033
100	4,54	4,54	4,55	4,5433
150	4,48	4,48	4,48	4,4800
200	4,42	4,42	4,41	4,4167
250	4,35	4,35	4,35	4,3500
300	4,29	4,28	4,29	4,2867
350	4,23	4,23	4,23	4,2300
400	4,17	4,16	4,17	4,1667
450	4,1	4,1	4,1	4,1000
500	4,03	4,03	4,03	4,0300
550	3,98	3,98	3,98	3,9800
600	3,92	3,92	3,92	3,9200
650	3,84	3,84	3,84	3,8400
700	3,78	3,78	3,78	3,7800
750	3,73	3,73	3,72	3,7267
800	3,66	3,67	3,66	3,6633
850	3,6	3,6	3,6	3,6000
900	3,54	3,54	3,54	3,5400
950	3,48	3,48	3,47	3,4767
1000	3,41	3,41	3,41	3,4100
1050	3,33	3,32	3,33	3,3267
1100	3,27	3,27	3,27	3,2700
1150	3,21	3,21	3,2	3,2067
1200	3,15	3,15	3,15	3,1500
1250	3,08	3,08	3,08	3,0800
1300	3,01	3,01	3,01	3,0100
1350	2,96	2,96	2,95	2,9567
1400	2,89	2,89	2,89	2,8900
1450	2,82	2,82	2,82	2,8200
1500	2,76	2,76	2,76	2,7600
1550	2,7	2,69	2,7	2,6967
1600	2,64	2,64	2,63	2,6367
1650	2,57	2,57	2,57	2,5700
1700	2,5	2,5	2,5	2,5000
1750	2,45	2,45	2,45	2,4500
1800	2,38	2,38	2,38	2,3800

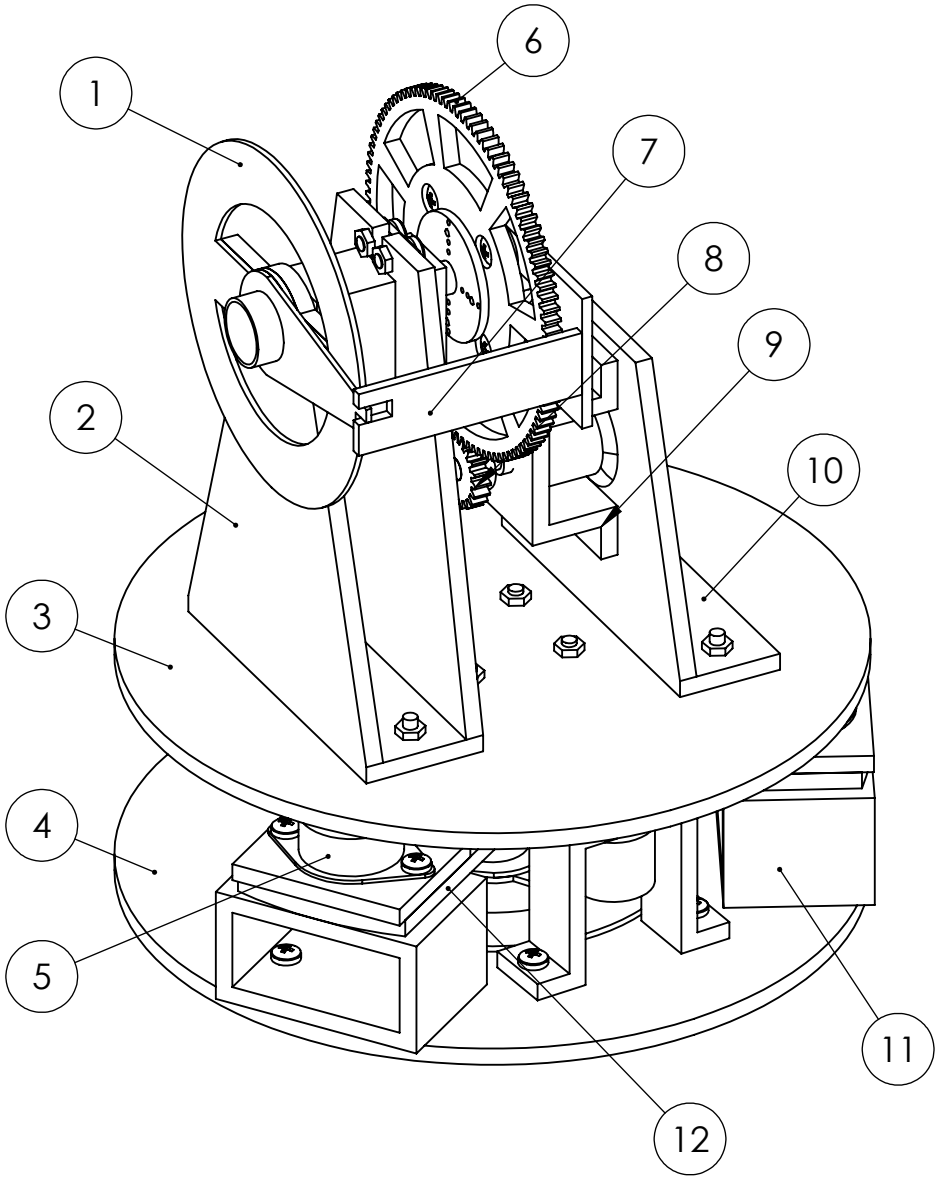
sudut	voltase			avg
1850	2,31	2,31	2,31	2,3100
1900	2,26	2,26	2,25	2,2567
1950	2,2	2,2	2,2	2,2000
2000	2,13	2,13	2,13	2,1300
2050	2,06	2,06	2,06	2,0600
2100	2	2	1,99	1,9967
2150	1,94	1,94	1,94	1,9400
2200	1,87	1,87	1,87	1,8700
2250	1,81	1,81	1,8	1,8067
2300	1,75	1,75	1,75	1,7500
2350	1,69	1,69	1,68	1,6867
2400	1,63	1,63	1,63	1,6300
2450	1,56	1,56	1,56	1,5600
2500	1,5	1,5	1,49	1,4967
2550	1,44	1,44	1,43	1,4367
2600	1,37	1,37	1,37	1,3700
2650	1,3	1,3	1,3	1,3000
2700	1,25	1,24	1,25	1,2467
2750	1,19	1,19	1,18	1,1867
2800	1,12	1,12	1,12	1,1200
2850	1,06	1,06	1,06	1,0600
2900	1	1	0,99	0,9967
2950	0,94	0,94	0,94	0,9400
3000	0,87	0,87	0,87	0,8700
3050	0,81	0,81	0,81	0,8100
3100	0,74	0,74	0,74	0,7400
3150	0,68	0,68	0,68	0,6800
3200	0,61	0,61	0,61	0,6100
3250	0,55	0,55	0,55	0,5500
3300	0,49	0,49	0,49	0,4900
3350	0,42	0,42	0,42	0,4200
3400	0,36	0,36	0,36	0,3600
3450	0,29	0,29	0,29	0,2900
3500	0,23	0,23	0,23	0,2300
3550	0,18	0,18	0,18	0,1800

LAMPIRAN B

Tabel Hasil Pengujian Perubahan Voltase terhadap Sudut Potensiometer(2)

sudut	voltase			avg
0	4,53	4,53	4,53	4,5300
50	4,47	4,47	4,46	4,4667
100	4,4	4,41	4,4	4,4033
150	4,34	4,34	4,33	4,3367
200	4,28	4,27	4,28	4,2767
250	4,21	4,22	4,21	4,2133
300	4,16	4,15	4,15	4,1533
350	4,09	4,09	4,08	4,0867
400	4,03	4,02	4,03	4,0267
450	3,96	3,96	3,96	3,9600
500	3,9	3,89	3,9	3,8967
550	3,83	3,84	3,84	3,8367
600	3,78	3,77	3,78	3,7767
650	3,71	3,72	3,71	3,7133
700	3,65	3,65	3,65	3,6500
750	3,59	3,59	3,58	3,5867
800	3,52	3,52	3,52	3,5200
850	3,46	3,46	3,46	3,4600
900	3,4	3,4	3,39	3,3967
950	3,33	3,33	3,34	3,3333
1000	3,27	3,27	3,27	3,2700
1050	3,21	3,21	3,2	3,2067
1100	3,15	3,15	3,14	3,1467
1150	3,08	3,08	3,08	3,0800
1200	3,02	3,02	3,02	3,0200
1250	2,96	2,96	2,96	2,9600
1300	2,89	2,89	2,9	2,8933
1350	2,83	2,83	2,83	2,8300
1400	2,77	2,78	2,77	2,7733
1450	2,71	2,71	2,71	2,7100
1500	2,65	2,64	2,65	2,6467
1550	2,58	2,59	2,58	2,5833
1600	2,52	2,53	2,52	2,5233
1650	2,46	2,46	2,45	2,4567
1700	2,4	2,4	2,39	2,3967
1750	2,34	2,33	2,33	2,3333
1800	2,27	2,28	2,27	2,2733

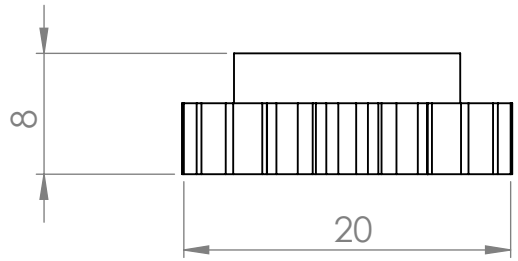
1850	2,21	2,21	2,21	2,2100
1900	2,15	2,14	2,15	2,1467
1950	2,08	2,08	2,09	2,0833
2000	2,02	2,01	2,02	2,0167
2050	1,96	1,96	1,95	1,9567
2100	1,9	1,9	1,89	1,8967
2150	1,83	1,84	1,83	1,8333
2200	1,77	1,77	1,78	1,7733
2250	1,71	1,71	1,71	1,7100
2300	1,65	1,65	1,65	1,6500
2350	1,58	1,58	1,59	1,5833
2400	1,52	1,52	1,52	1,5200
2450	1,46	1,46	1,46	1,4600
2500	1,4	1,4	1,39	1,3967
2550	1,33	1,34	1,33	1,3333
2600	1,27	1,27	1,27	1,2700
2650	1,21	1,21	1,21	1,2100
2700	1,15	1,14	1,15	1,1467
2750	1,08	1,08	1,08	1,0800
2800	1,02	1,02	1,02	1,0200
2850	0,96	0,96	0,96	0,9600
2900	0,9	0,9	0,89	0,8967
2950	0,83	0,83	0,83	0,8300
3000	0,77	0,77	0,77	0,7700
3050	0,71	0,71	0,71	0,7100
3100	0,64	0,64	0,65	0,6433
3150	0,58	0,58	0,59	0,5833
3200	0,52	0,52	0,53	0,5233
3250	0,46	0,46	0,46	0,4600
3300	0,4	0,4	0,4	0,4000
3350	0,34	0,34	0,34	0,3400
3400	0,27	0,27	0,27	0,2700
3450	0,21	0,21	0,21	0,2100
3500	0,15	0,15	0,15	0,1500
3550	0,09	0,08	0,09	0,0867
3600	0,03	0,03	0,02	0,0267

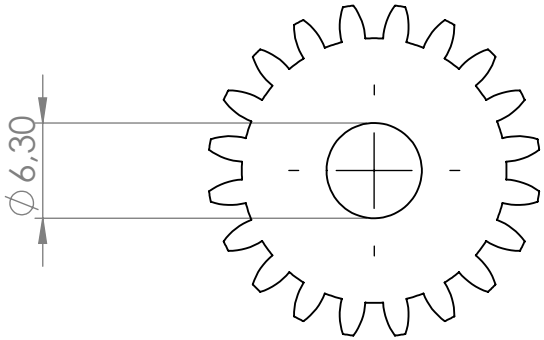


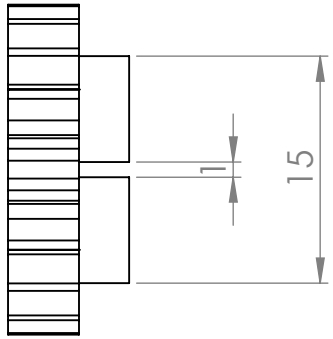
No.	Jmh	Nama Bagian	Material	Normalisasi	Keterangan
12	1	DUDUKAN SERVO 2	ACRYLIC		
11	1	DUDUKAN BALLCASTER	ACRYLIC		
10	1	DUDUKAN POTENSIO 2	ACRYLIC		
9	1	DUDUKAN POTENSIO 1	ACRYLIC		
8	2	DRIVEN GEAR			
7	2	PENUNJUK SUDUT	ACRYLIC		
6	2	PINION SERVO			
4	3	BALLCASTER			
4	1	PELAT DASAR BAWAH	ACRYLIC		
3	1	PELAT DASAR ATAS	ACRYLIC		
2	1	DUDUKAN SERVO 1	ACRYLIC		
1	2	BUSUR			

Skala: 1:2	Digambar : Agung Wahyu S.	Peringatan
Satuan Panjang: mm	NRP: 2112100128	
Tanggal: 21-01-2018	Dilihat: Arif Wahjudi, ST, MT, PhD.	

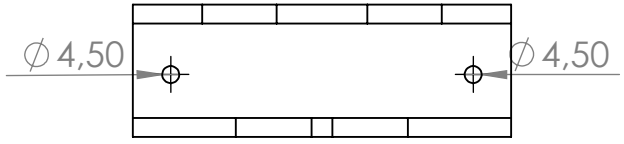
TEKNIK MESIN ITS	PROTOTIPE TURRET GUN	A4

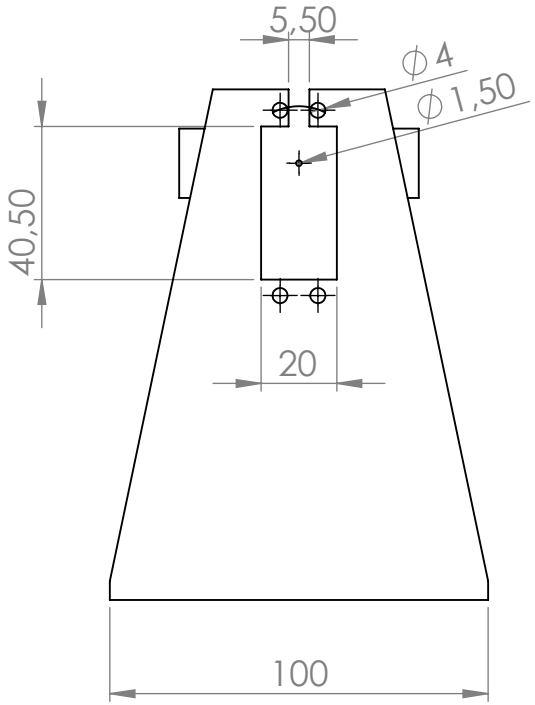


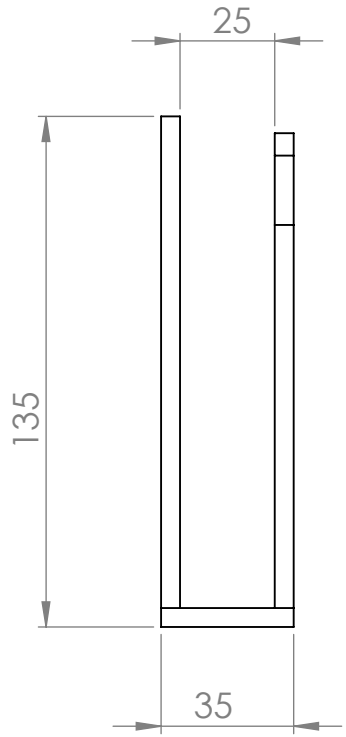




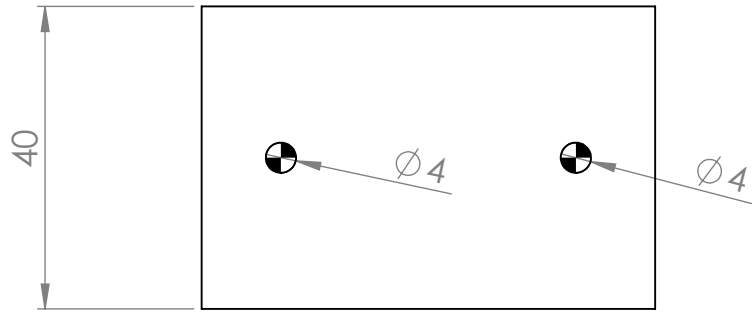
No.	Jmh	Nama Bagian	Material	Normalisasi	Keterangan
		Skala : 2:1	Digambar : Agung Wahyu .S		Peringatan
		Satuan Panjang : mm	NRP : 2112100128		
		Tanggal : 21- 01 - 2018	Dilihat : Arif Wahjudi, ST, MT, PhD.		
TEKNIK MESIN ITS			DRIVEN GEAR		8 A4

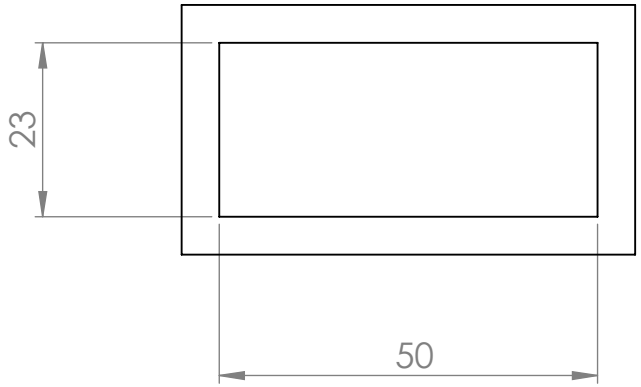


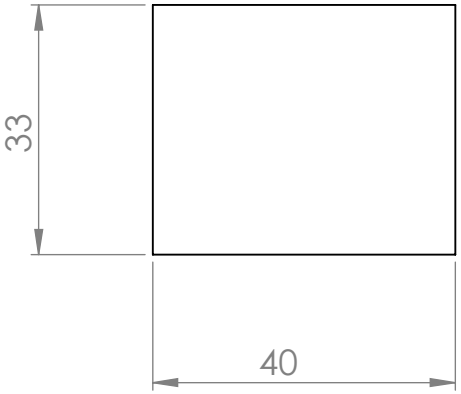




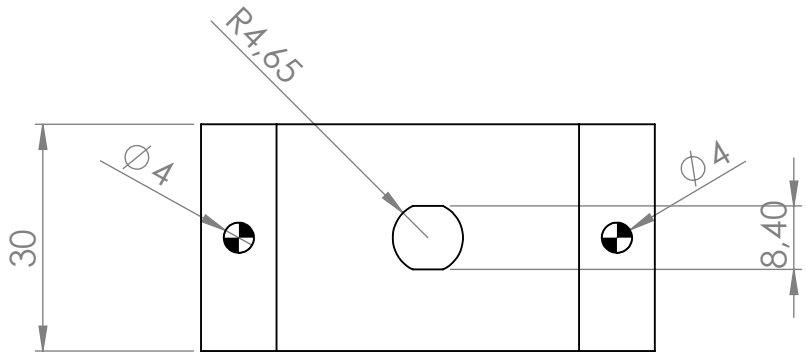
No.	Jmh	Nama Bagian	Material	Normalisasi	Keterangan
		Skala : 1:2	Digambar : Agung Wahyu .S		Peringatan
		Satuan Panjang : mm	NRP : 2112100128		
		Tanggal : 21- 01 - 2018	Dilihat : Arif Wahjudi, ST, MT, PhD.		
TEKNIK MESIN ITS			DUDUKAN SERVO 1	2	A4

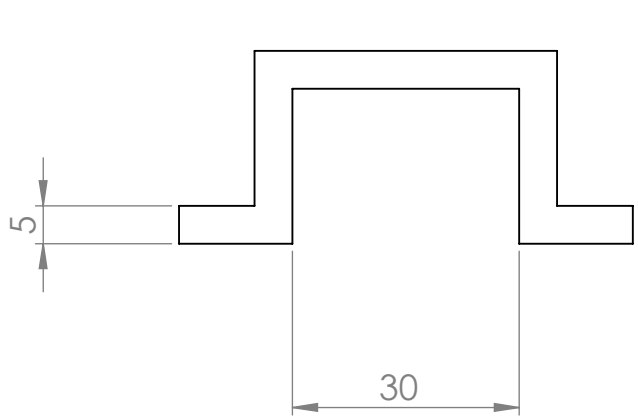


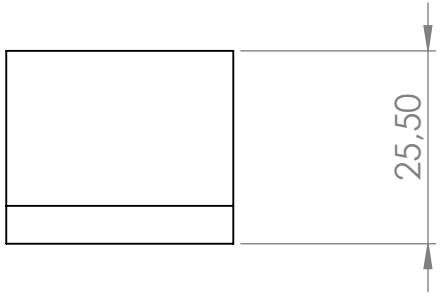




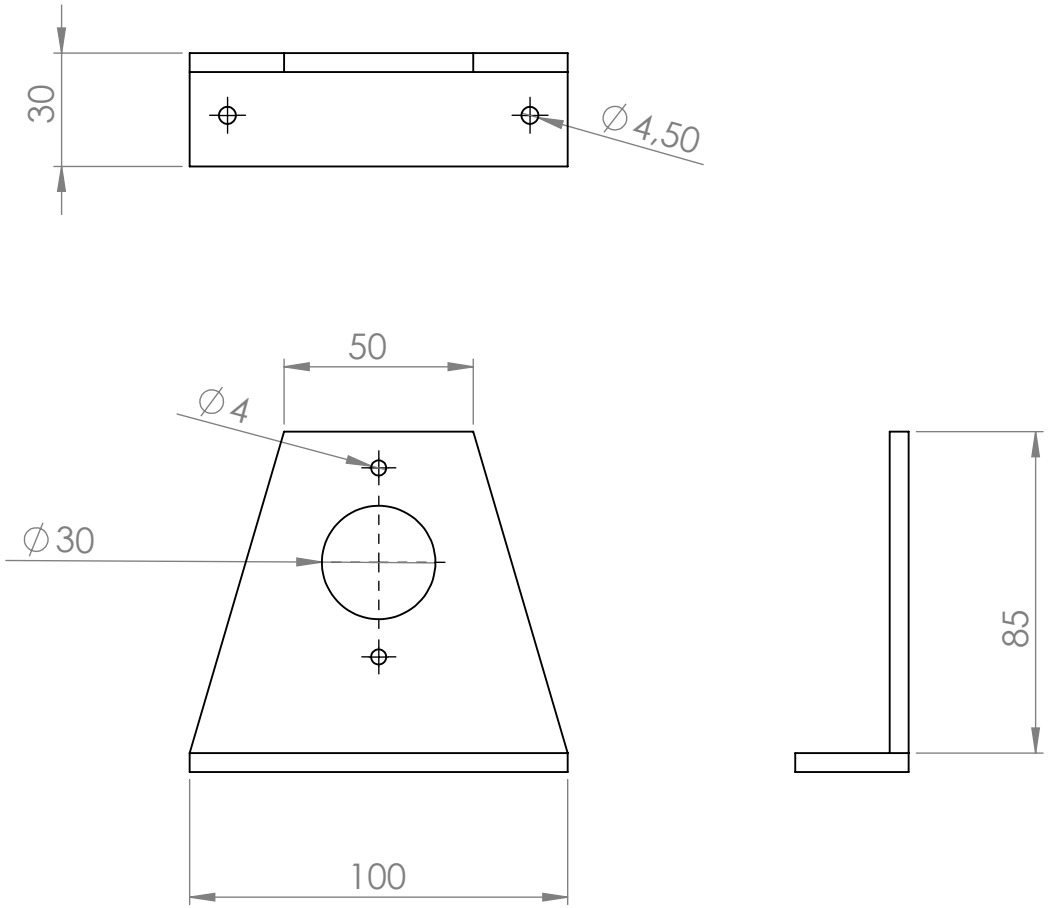
No.	Jmh	Nama Bagian	Material	Normalisasi	Keterangan
		Skala : 1:1	Digambar : Agung Wahyu .S		Peringatan
		Satuan Panjang : mm	NRP : 2112100128		
		Tanggal : 21- 01 - 2018	Dilihat : Arif Wahjudi, ST, MT, PhD.		
TEKNIK MESIN ITS			DUDUKAN BALLCASTER		11 A4



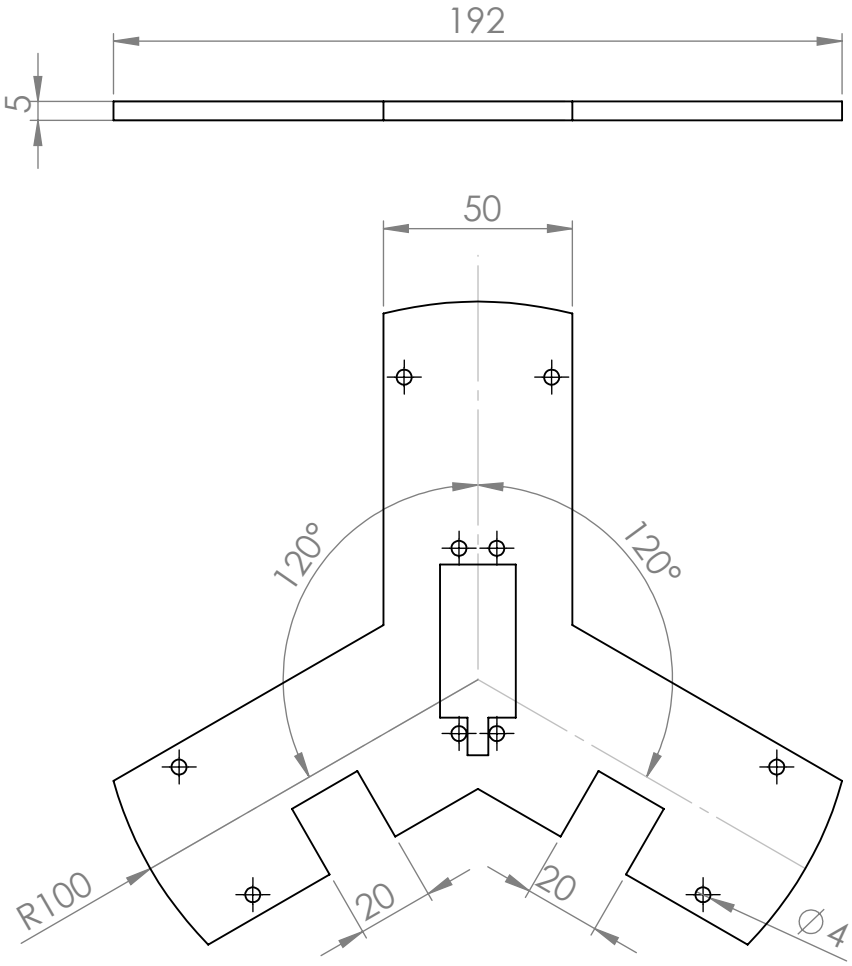




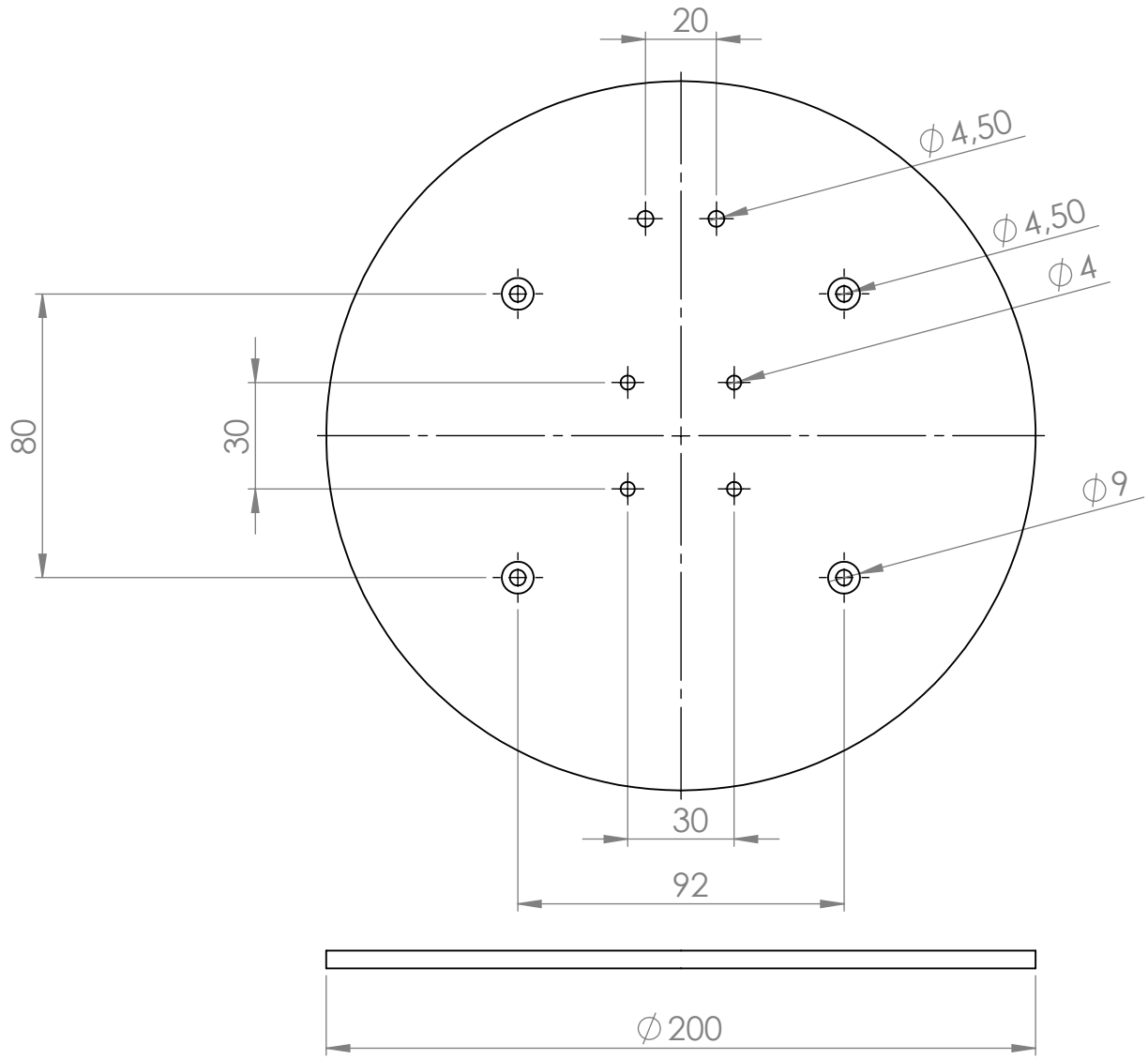
No.	Jmh	Nama Bagian	Material	Normalisasi	Keterangan
		Skala : 1:1	Digambar : Agung Wahyu .S		Peringatan
		Satuan Panjang : mm	NRP : 2112100128		
		Tanggal : 21- 01 - 2018	Dilihat : Arif Wahjudi, ST, MT, PhD.		
TEKNIK MESIN ITS			DUDUKAN POTENSIO 1		9	A4



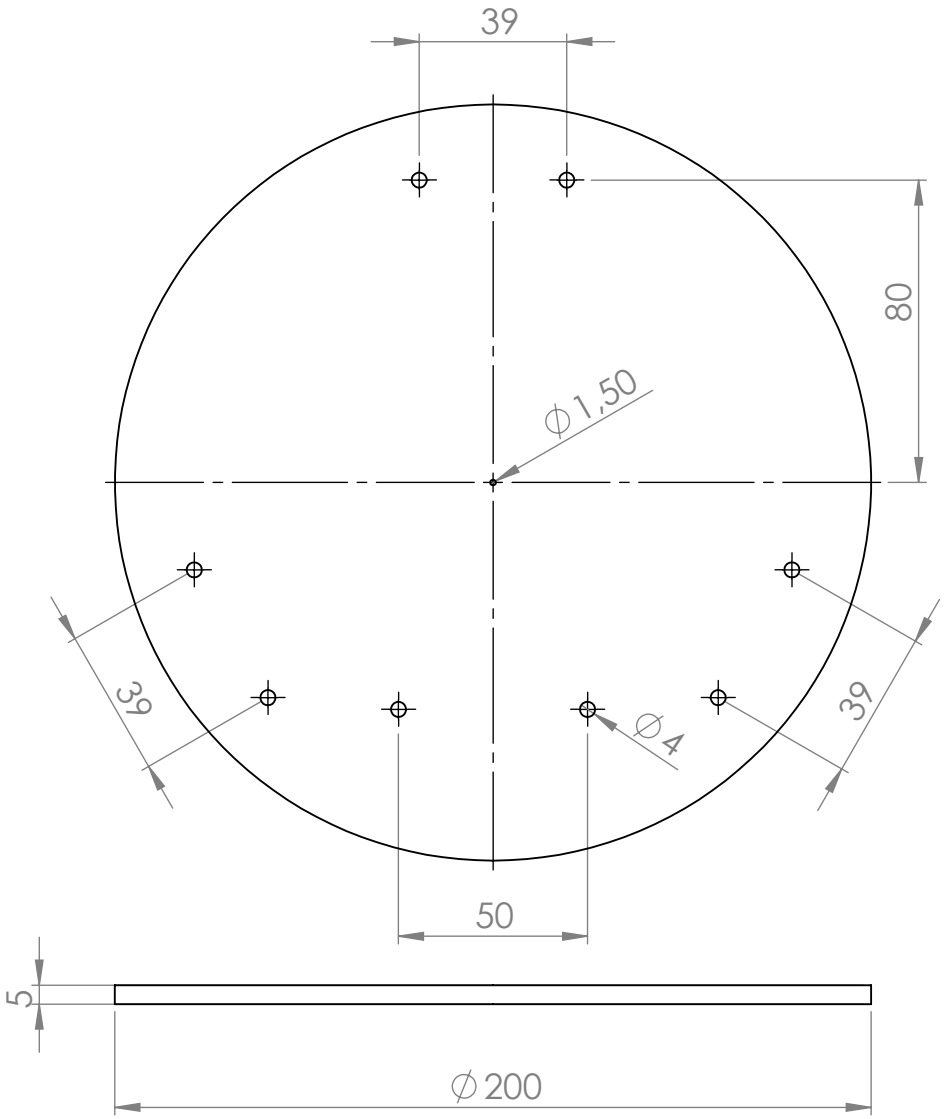
No.	Jmh	Nama Bagian	Material	Normalisasi	Keterangan
		Skala : 1:2	Digambar : Agung Wahyu .S		Peringatan
		Satuan Panjang : mm	NRP : 2112100128		
		Tanggal : 21- 01 - 2018	Dilihat : Arif Wahjudi, ST, MT, PhD.		
TEKNIK MESIN ITS			DUDUKAN POTENSIO 2		10 A4



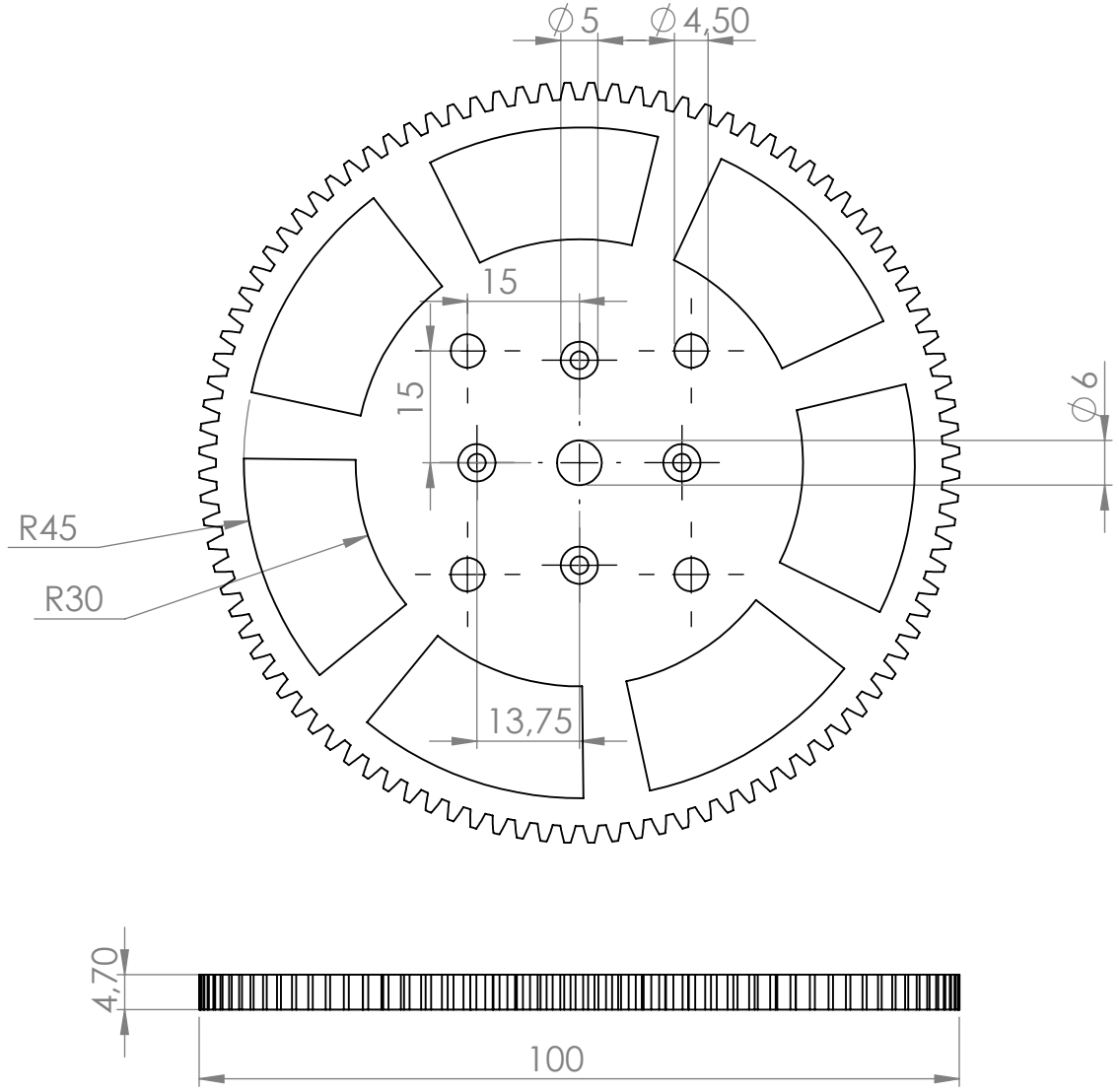
No.	Jmh	Nama Bagian	Material	Normalisasi	Keterangan
		Skala : 1:2	Digambar : Agung Wahyu .S		Peringatan
		Satuan Panjang : mm	NRP : 2112100128		
		Tanggal : 21- 01 - 2018	Dilihat : Arif Wahjudi, ST, MT, PhD.		
TEKNIK MESIN ITS			DUDUKAN SERVO 2		12 A4



No.	Jmh	Nama Bagian	Material	Normalisasi	Keterangan
		Skala : 1:2	Digambar : Agung Wahyu .S		Peringatan
		Satuan Panjang : mm	NRP : 2112100128		
		Tanggal : 21- 01 - 2018	Dilihat : Arif Wahjudi, ST, MT, PhD.		
TEKNIK MESIN ITS			PELAT DASAR ATAS	3	A4



No.	Jmh	Nama Bagian	Material	Normalisasi	Keterangan
		Skala : 1:2	Digambar : Agung Wahyu .S		Peringatan
		Satuan Panjang : mm	NRP : 2112100128		
		Tanggal : 21- 01 - 2018	Dilihat : Arif Wahjudi, ST, MT, PhD.		
TEKNIK MESIN ITS			PELAT DASAR BAWAH	4	A4



No.	Jmh	Nama Bagian	Material	Normalisasi	Keterangan
		Skala : 1:2	Digambar : Agung Wahyu .S		Peringatan
		Satuan Panjang : mm	NRP : 2112100128		
		Tanggal : 21- 01 - 2018	Dilihat : Arif Wahjudi, ST, MT, PhD.		
TEKNIK MESIN ITS			PINION SERVO	6	A4

BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Banyuwangi, 9 Juli 1993, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Pertiwi Denpasar, SD 5 Saraswati Denpasar, SMPN 8 Denpasar dan SMAN 1 Denpasar. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2012, penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS dan terdaftar dengan NRP 2112100128. Di Jurusan Teknik Mesin ini, penulis mengambil Bidan Studi Perancangan dan Pengembangan Produk. Penulis sempat aktif di kegiatan Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM), aktif sebagai grader dan asisten praktikum mata kuliah metrologi industri. E-mail yang bisa dihubungi yaitu agungwahyusatriatama@gmail.com