

# TUGAS AKHIR

## PERANCANGAN DAN PEMBUATAN *END EFFECTOR* *NOZZLE CAT* DAN SISTEM PENYEMPROTAN PADA ROBOT LENGAN 4 DERAJAT KEBEBASAN

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

**RANGGA FIQRI HASIBUAN**

**1907230139**



# UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2024**

## HALAMAN PENGESAHAN

Proposal Penelitian Tugas Akhir diajukan oleh :

Nama : Rangga Fiqri Hasibuan

NPM : 1907230139

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Tugas Akhir : Perancangan Dan Pembuatan End Effector Nozzle Cat Dan Sistem Penyemprotan Pada Robot Lengan 4 Derajat Kebebasan

Bidang Ilmu : Konstruksi Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai penelitian Tugas Akhir yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 22 Mei 2024

Mengetahui dan menyetujui :

Dosen Penguji I



Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji II



Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji III



Khairul Umurani, S.T., M.T

Ketua Program Studi Teknik Mesin



Chandra A Siregar, S.T., M.T

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Rangga Fiqri Hasibuan

Tempat/Tanggal Lahir : Rantau Prapat/20 Maret 2001

NPM : 1907230139

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul :

**“PERANCANGAN DAN PEMBUATAN *END EFFECTOR NOZZLE CAT* DAN SISTEM PENYEMPROTAN PADA ROBOT LENGAN 4 DERAJAT KEBEBASAN”**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 26 Maret 2024

/a yang menyatakan,



Rangga Fiqri Hasibuan

## ABSTRAK

Dalam suatu industri manufaktur, pembuatan suatu produk melewati berbagai tahap pengerjaan, salah satunya adalah proses pengecatan produk. proses pengecatan adalah suatu proses yang melibatkan penambahan lapisan cat atau pigmen ke permukaan benda atau produk. Pengecatan manual adalah proses melekatkan cat ke permukaan benda yang dilakukan secara manual dengan menggunakan kuas atau spray gun. Pengecatan manual membutuhkan waktu yang lama jika diterapkan pada bidang yang luas. Tidak semua orang memiliki kemampuan mengecat yang baik, sehingga ketelitian, ketekunan, dan konsistensi sangat dibutuhkan dalam proses pengecatan. Salah satu contoh inovasi dalam industri manufaktur adalah penggunaan robot lengan sebagai robot pengecatan, yang dapat bergerak secara bebas seperti lengan manusia. Robot lengan pengecatan dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam proses pengecatan, serta mengurangi biaya dan dapat meningkatkan kualitas hasil. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membangun *end effector* cat dan sistem penyemprotan pada robot lengan 4 derajat kebebasan. Serta menguji dan mengevaluasi kekonsistenan pengecatan *end effector* cat dan sistem penyemprotan pada robot lengan 4 derajat kebebasan. Tahap awal yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu mulai dari mencari serta membaca studi literatur yang terkait terlebih dahulu. Kemudian melakukan perancangan desain body robot lengan, melakukan perancangan sistem penyemprotan yang akan diterapkan, melakukan perancangan tabung penyimpanan cat yang akan digunakan pada robot lengan, sampai masuk ke tahap pembuatan dan perakitan robot lengan serta tabung penyimpanan cat. Hasil pengujian mendapatkan nilai rata-rata efisiensi penggunaan cat sebesar 365.3 ml/m<sup>2</sup>, Dimana untuk mengecat permukaan dengan cakupan 1 m<sup>2</sup> membutuhkan rata-rata 365.3 ml cat atau 0.3653 liter cat. Sedangkan rata-rata efisiensi waktu pengecatan adalah 74.6 detik/m<sup>2</sup>, Dimana untuk mengecat permukaan dengan cakupan 1 m<sup>2</sup> membutuhkan waktu sebesar 74.6 detik atau 1.46 menit.

**Kata kunci :** Robot Lengan, Pengecatan, 4 Derajat Kebebasan, Arduino Nano

## ABSTRACT

In a manufacturing industry, making a product goes through various stages of work, one of which is the process of painting the product. The painting process is a process that involves adding layers of paint or pigment to the surface of an object or product. Manual painting is the process of attaching paint to the surface of an object which is done manually using a brush or spray gun. Manual painting takes a long time if applied to a large area. Not everyone has good painting skills, so accuracy, persistence and consistency are needed in the painting process. One example of innovation in the manufacturing industry is the use of a robot *arm* as a painting robot, which can move freely like a human *arm*. Painting robot *arms* can increase efficiency and accuracy in the painting process, as well as reduce costs and improve the quality of results. The aim of this research is to design and build a paint *end effector* and spraying system on a 4 degrees of freedom robot *arm*. As well as testing and evaluating the consistency of the paint *end effector* and spraying system on the 4 degrees of freedom robot *arm*. The initial stage that will be carried out in this research is starting from searching and reading related literature studies first. Then design the body of the robot *arm*, design the spraying system that will be implemented, design the paint storage tube that will be used on the robot *arm*, and move on to the stage of manufacturing and assembling the robot *arm* and paint storage tube. The test results obtained an average paint use efficiency value of 365.3 ml/m<sup>2</sup>, where to paint a surface with a coverage of 1 m<sup>2</sup> requires an average of 365.3 ml of paint or 0.3653 liters of paint. Meanwhile, the average painting time efficiency is 74.6 seconds/m<sup>2</sup>, where to paint a surface with a coverage of 1 m<sup>2</sup> takes 74.6 seconds or 1.46 minutes.

**Keywords :** *Arm Robot, Painting, 4 Degree Of Freedom, Arduino Nano*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Perancangan Dan Pembuatan *End Effector Nozzle* Cat Dan Sistem Penyemprotan Pada Robot Lengan 4 Derajat Kebebasan” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Penguji I dan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D sebagai Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Affandi, S.T., M.T selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T. selaku Penguji II dan Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T. sebagai Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik mesin kepada penulis.
8. Orang tua penulis yang telah bersusah payah membesarkan, menyemangati dan membiayai studi penulis.

9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Teman-teman mahasiswa Teknik mesin yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang namanya tidak bisa penulis sebut satu persatu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 26 Maret 2024



Rangga Fiqri Hasibuan

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>4</b>
2.1 Robot Lengan ( <i>Arm Robot</i> )	4
2.1.1 Pengertian Robot Lengan ( <i>Arm Robot</i> )	4
2.1.2 Sejarah Robot lengan ( <i>Arm Robot</i> )	4
2.1.3 Konsep Dasar Robot Lengan ( <i>Arm Robot</i> )	6
2.1.4 Prinsip Kerja Robot Lengan ( <i>Arm Robot</i> )	8
2.1.5 Jenis-Jenis Robot Lengan ( <i>Arm Robot</i> )	8
2.1.6 Bagian-Bagian Robot Lengan	11
2.1.7 Derajat Kebebasan ( <i>Degree of Freedom</i> )	13
2.1.8 Mikrokontroler	13
2.1.9 Kinematika Robot Lengan	16
2.1.10 Motor Servo	19
2.2 Pengecatan ( <i>Painting</i> )	20
2.2.1 Pengertian Pengecatan ( <i>Painting</i> )	20
2.2.2 Fungsi Proses Pengecatan	20
2.2.3 Pistol Semprot ( <i>Spray Gun</i> )	21
2.3.4 Kompresor Udara ( <i>Air Compressor</i> )	26
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	<b>28</b>
3.1 Tempat dan Waktu	28
3.1.1 Tempat Penelitian	28
3.1.2 Waktu Penelitian	28
3.2 Bahan dan Alat	28
3.2.1 Alat	28
3.2.2 Bahan	38
3.3 Bagan Alir Penelitian	54
3.4 Rancangan Alat Penelitian	55
3.5 Prosedur Penelitian	56
3.5.1 Prosedur Perancangan	56
3.5.2 Prosedur Penggambaran <i>CAD</i> Robot Lengan	56
3.5.3 Prosedur Penggambaran <i>CAD End Effector</i>	74
3.5.4 Prosedur Pembuatan	89

3.5.5	Prosedur Pengujian	90
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>91</b>
4.1	Perancangan Robot Lengan Dan Sistem Penyemprotan	91
4.1.1	Perancangan Sistem Penyemprotan	91
4.1.2	Perancangan Pembuatan Body Robot Lengan	92
4.1.3	Perancangan Pembuatan Tabung Penyimpanan Cat	97
4.2	Pembuatan Robot Lengan	99
4.2.1	Pembuatan dan Perakitan Body Robot Lengan	99
4.2.2	Pembuatan Tabung Penyimpanan Cat	105
4.3	Hasil Pembuatan Robot Lengan Pengecatan	109
4.3.1	Hasil Pembuatan Body Robot Lengan Dan <i>End Effector</i> Cat	109
4.3.2	Hasil Pembuatan Tabung Penyimpanan Cat	109
4.4	Hasil Pengujian Robot Lengan Pengecatan	110
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>115</b>
4.1	Kesimpulan	115
4.2	Saran	116
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>117</b>
<b>LAMPIRAN</b>		
<b>LEMBAR ASISTENSI</b>		
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Robot Lengan	4
Gambar 2.2 Robot Lengan <i>Unimate 2000</i>	5
Gambar 2.3 Konfigurasi <i>Anthropomorphic</i>	9
Gambar 2.4 Konfigurasi Silindris	9
Gambar 2.5 Konfigurasi <i>Cartesian</i>	10
Gambar 2.6 Konfigurasi Kutub	10
Gambar 2.7 Konfigurasi SCARA	11
Gambar 2.8 <i>End Effector Gripper</i>	12
Gambar 2.9 Mikrokontroler	13
Gambar 2.10 Arduino UNO	15
Gambar 2.11 Arduino Nano	16
Gambar 2.12 Motor Servo	19
Gambar 2.13 Proses Pengecatan	20
Gambar 2.14 <i>Spray Gun Gravity Feed</i>	22
Gambar 2.15 <i>Spray Gun Suction Feed</i>	22
Gambar 2.16 <i>Spray Gun Compression</i>	23
Gambar 2.17 Skema <i>Spray Gun Compression</i>	23
Gambar 2.18 <i>Fan Spreader</i>	24
Gambar 2.19 <i>Fluid Adjustment Screw</i>	24
Gambar 2.20 <i>Air Valve Control</i>	25
Gambar 2.21 <i>Fluid Tip</i>	25
Gambar 2.22 <i>Trigger</i>	26
Gambar 2.23 Kompresor	27
Gambar 3.1 Arduino IDE	29
Gambar 3.2 <i>SolidWork</i>	29
Gambar 3.3 <i>MATLAB</i>	30
Gambar 3.4 <i>Creality Slicer</i>	31
Gambar 3.5 Laptop	31
Gambar 3.6 Printer 3D	32
Gambar 3.7 Kompresor Udara	33
Gambar 3.8 Tang	34
Gambar 3.9 Obeng	34
Gambar 3.10 Kikir	35
Gambar 3.11 Kunci L/ <i>Allen</i>	35
Gambar 3.12 Kunci Ring Pas	36
Gambar 3.13 Gergaji Besi	36
Gambar 3.14 Tap Tangan	37
Gambar 3.15 <i>Digital Sigmat</i>	37
Gambar 3.16 Arduino Nano	38
Gambar 3.17 Motor Servo	39
Gambar 3.18 Extantion Arduino Nano Board	40
Gambar 3.19 <i>Relay</i>	40
Gambar 3.20 <i>Solenoid Valve Dc</i>	41
Gambar 3.21 Kabel	42
Gambar 3.22 Adaptor/ <i>Power Supply</i>	42

Gambar 3.23 <i>Air Filter Regulator</i>	43
Gambar 3.24 <i>Manometer/Pressure Gauge</i>	44
Gambar 3.25 <i>Nozzle Sprayer</i>	44
Gambar 3.26 <i>Selang PU (Polyurethane)</i>	45
Gambar 3.27 <i>Double Nipple</i>	45
Gambar 3.28 <i>Tee Nipple</i>	46
Gambar 3.29 <i>Ball Valve</i>	47
Gambar 3.30 <i>Nipple Pneumatik</i>	47
Gambar 3.31 <i>Dop Pipa</i>	48
Gambar 3.32 <i>Dop Drat Pipa</i>	49
Gambar 3.33 <i>Pipa Pvc</i>	50
Gambar 3.34 <i>Sock Drat Luar</i>	50
Gambar 3.35 <i>Filamen Printer 3D</i>	51
Gambar 3.36 <i>Sekrup</i>	52
Gambar 3.37 <i>Mur</i>	52
Gambar 3.38 <i>Lem PVC</i>	53
Gambar 3.39 <i>Tabung Penyimpanan Udara</i>	53
Gambar 3.40 <i>Bagan Alir Penelitian</i>	54
Gambar 3.41 <i>Rancangan Alat Penelitian</i>	55
Gambar 3.42 <i>Lingkaran Dasar Base</i>	56
Gambar 3.43 <i>Extruded Lingkaran Dasar Base</i>	57
Gambar 3.44 <i>Lingkaran Dalam Base</i>	57
Gambar 3.45 <i>Extruded Cut Lingkaran Dalam</i>	57
Gambar 3.46 <i>Sketsa Kotak Tempat Motor Servo</i>	58
Gambar 3.47 <i>Hasil Extruded Cut Tempat Motor Servo</i>	58
Gambar 3.48 <i>Sketsa Gambar Rumah Skrup Base</i>	58
Gambar 3.49 <i>Hasil Extruded Sketsa Rumah Skrup Base</i>	59
Gambar 3.50 <i>Hasil Gambar Bagian Base</i>	59
Gambar 3.51 <i>Sketsa Bagian Bawah Upper Base</i>	59
Gambar 3.52 <i>Extruded Boss Bagian Bawah Upper Base</i>	60
Gambar 3.53 <i>Hasil Extrude Bagian Bawah Upper Base</i>	60
Gambar 3.54 <i>Sketsa Bagian Tiang Pada Upper Base</i>	60
Gambar 3.55 <i>Extrude Boss Bagian Tiang Upper Base</i>	61
Gambar 3.56 <i>Hasil Extruded Boss Bagian Tiang Upper Base</i>	61
Gambar 3.57 <i>Sketsa Sisi Samping Kiri Pada Upper Base</i>	61
Gambar 3.58 <i>Extruded Cut Sisi Samping Kiri Pada Upper Base</i>	62
Gambar 3.59 <i>Hasil Extruded Cut Sisi Samping Kiri Pada Upper Base</i>	62
Gambar 3.60 <i>Sketsa Sisi Samping Kanan Pada Upper base</i>	62
Gambar 3.61 <i>Extruded Cut Sisi Samping Kanan Pada Upper Base</i>	63
Gambar 3.62 <i>Sketsa Gambar Rumah Servo Horn Pada Sisi Kanan Upper Base</i>	63
Gambar 3.63 <i>Extruded Cut Rumah Servo Horn Pada Sisi Kanan Upper Base</i>	63
Gambar 3.64 <i>Hasil Extruded Cut Rumah Servo Horn</i>	64
Gambar 3.65 <i>Sketsa Gambar Tempat Meletakkan Motor Servo</i>	64
Gambar 3.66 <i>Extruded Cut Tempat Meletakkan Motor Servo</i>	64
Gambar 3.67 <i>Hasil Extruded Cut Tempat Meletakkan Motor Servo</i>	65
Gambar 3.68 <i>Sketsa Rumah Engsel</i>	65
Gambar 3.69 <i>Extruded Cut Rumah Engsel</i>	65
Gambar 3.70 <i>Hasil Extruded Cut Rumah Engsel</i>	66

Gambar 3.71 Hasil Akhir Gambar <i>Upper Base</i>	66
Gambar 3.72 Sketsa Bagian Lengan	66
Gambar 3.73 <i>Extruded Boss</i> Bagian Lengan	67
Gambar 3.74 Gambar Sketsa Pada Sisi Samping Kanan	67
Gambar 3.75 <i>Extruded Cut</i> Pada Sisi Samping Kanan	67
Gambar 3.76 Hasil <i>Extruded Cut</i> Sisi Samping Kanan	68
Gambar 3.77 Gambar Sketsa Pada Sisi Samping Kiri	68
Gambar 3.78 <i>Extruded Cut</i> Pada Sisi Samping Kiri	68
Gambar 3.79 Hasil <i>Extruded Cut</i> Pada Sisi Samping Kiri	69
Gambar 3.80 Sketsa Gambar Tempat Meletakkan Motor Servo	69
Gambar 3.81 <i>Extruded Cut</i> Dudukan Motor Servo	69
Gambar 3.82 Hasil <i>Extruded Cut</i> Dudukan Motor	70
Gambar 3.83 Sketsa Gambar Rumah Engsel	70
Gambar 3.84 <i>Extruded Cut</i> Rumah Engsel	70
Gambar 3.85 Hasil <i>Extruded Cut</i> Rumah Engsel	71
Gambar 3.86 Sketsa Gambar Lubang Tempat <i>Servo Horn</i>	71
Gambar 3.87 <i>Extruded Cut</i> Lubang Tempat <i>Servo Horn</i>	71
Gambar 3.88 Hasil <i>Extruded Cut</i> Lubang Tempat <i>Servo Horn</i>	72
Gambar 3.89 Sketsa Gambar Engsel	72
Gambar 3.90 <i>Extruded Cut</i> Engsel	72
Gambar 3.91 Hasil <i>Extruded Cut</i> Engsel	73
Gambar 3.92 Sketsa Gambar Pengunci <i>Servo Horn</i>	73
Gambar 3.93 <i>Extruded Cut</i> Pengunci <i>Servo Horn</i>	73
Gambar 3.94 Hasil <i>Extruded Cut</i> Pengunci <i>Servo Horn</i>	74
Gambar 3.95 Sketsa Gambar Bagian Dasar <i>End Effector</i>	74
Gambar 3.96 <i>Extruded Boss</i> Bagian Dasar <i>End Effector</i>	74
Gambar 3.97 Hasil <i>Extruded Boss</i> Bagian Dasar <i>End Effector</i>	75
Gambar 3.98 Sketsa Gambar Lingkaran Tempat Dudukan <i>End Effector</i>	75
Gambar 3.99 <i>Extruded Boss</i> Tempat Dudukan <i>End Effector</i>	75
Gambar 3.100 Hasil <i>Extruded Boss</i> Tempat Dudukan <i>End Effector</i>	76
Gambar 3.101 Sketsa Gambar Lubang Penyambungan <i>End Effector</i>	76
Gambar 3.102 <i>Extruded Cut</i> Lubang Penyambungan <i>End Effector</i>	76
Gambar 3.103 Hasil <i>Extruded Cut</i> Lubang Penyambungan <i>End Effector</i>	77
Gambar 3.104 Sketsa Gambar Pengunci <i>Servo Horn</i>	77
Gambar 3.105 <i>Extruded Cut</i> Pengunci <i>Servo Horn</i>	77
Gambar 3.106 Hasil <i>Extruded Cut</i> Pengunci <i>Servo Horn</i>	78
Gambar 3.107 Sketsa Tempat Motor Servo	78
Gambar 3.108 <i>Extruded Cut</i> Tempat Motor Servo	78
Gambar 3.109 Hasil <i>Extruded Cut</i> Tempat Motor Servo	79
Gambar 3.110 Sketsa Gambar Bagian Penghubung	79
Gambar 3.111 <i>Extruded Cut</i> Penghubung Bagian Kaki	79
Gambar 3.112 Hasil <i>Extruded Cut</i> Penghubung Bagian Kaki <i>End Effector</i>	80
Gambar 3.113 Sketsa Gambar Bagian Engsel <i>End Effector</i>	80
Gambar 3.114 <i>Extruded Boss</i> Bagian Engsel <i>End Effector</i>	80
Gambar 3.115 Hasil <i>Extruded Boss</i> Bagian Engsel <i>End Effector</i>	81
Gambar 3.116 Sketsa Gambar Dudukan Atas Dan Bawah <i>Nozzle Cat</i>	81
Gambar 3.117 <i>Extruded Boss</i> Dudukan Atas Dan Bawah <i>Nozzle Cat</i>	81
Gambar 3.118 Hasil <i>Extruded Boss</i> Dudukan Atas Dan Bawah <i>Nozzle Cat</i>	82

Gambar 3.119 Sketsa Gambar Bagian Ujung Dudukan <i>Nozzle Cat</i>	82
Gambar 3.120 <i>Extruded Boss</i> Bagian Ujung Dudukan <i>Nozzle Cat</i>	82
Gambar 3.121 Hasil <i>Extruded Boss</i> Bagian Ujung Dudukan <i>Nozzle Cat</i>	83
Gambar 3.122 Sketsa Gambar Pemotongan Bagian Ujung <i>Nozzle Cat</i>	83
Gambar 3.123 <i>Extruded Cut</i> Potongan Bagian Ujung <i>Nozzle Cat</i>	83
Gambar 3.124 Hasil <i>Extruded Cut</i> Potongan Bagian Ujung <i>Nozzle Cat</i>	84
Gambar 3.125 Sketsa Gambar Pemotongan Bagian Ujung Lanjutan	84
Gambar 3.126 <i>Extruded Cut</i> Pemotongan Bagian Ujung Lanjutan	84
Gambar 3.127 Hasil <i>Extruded Cut</i> Pemotongan Bagian Ujung Lanjutan	85
Gambar 3.128 Sketsa Gambar Lubang Baut Dudukan <i>Nozzle Cat</i>	85
Gambar 3.129 <i>Extrude Cut</i> Sketsa Lubang Baut Dudukan <i>Nozzle Cat</i>	85
Gambar 3.130 Hasil <i>Extruded Cut</i> Lubang Baut Dudukan <i>Nozzle Cat</i>	86
Gambar 3.131 Proses Memfillet Bagian Sisi Pada Dudukan <i>Nozzle Cat</i>	86
Gambar 3.132 Hasil Fillet Bagian Sisi Pada Dudukan <i>Nozzle Cat</i>	86
Gambar 3.133 Sketsa Gambar Lubang Baut Pengikat Dudukan <i>End Effector</i>	87
Gambar 3.134 <i>Extruded Cut</i> Dari Sketsa Gambar Lubang Pengikat	87
Gambar 3.135 Hasil <i>Extruded Cut</i> Lubang Baut Pengikat <i>End Effector</i>	87
Gambar 3.136 Sketsa Lubang Baut Dudukan <i>Nozzle Cat</i> Bagian Bawah	88
Gambar 3.137 <i>Extruded Cut</i> Lubang Baut Dudukan <i>Nozzle Cat</i> Bagian Bawah	88
Gambar 3.138 Hasil <i>Extruded Cut</i> Lubang Baut Dudukan <i>Nozzle Cat</i> Bawah	89
Gambar 4.1 Skema Sistem Penyemprotan	91
Gambar 4.2 Pengukuran Terhadap Komponen – Komponen Robot Lengan	93
Gambar 4.3 Bagian Dasar ( <i>Base</i> )	94
Gambar 4.4 Bagian Dasar Atas ( <i>Upper Base</i> )	94
Gambar 4.5 Bagian Lengan ( <i>Link</i> )	95
Gambar 4.6 (a) Cover Motor Servo Dan (b) Penghubung <i>Servo Horn</i>	95
Gambar 4.7 Bagian <i>End Effector</i>	96
Gambar 4.8 <i>Assembly</i> Robot Lengan	97
Gambar 4.9 Rancangan Tabung Penyimpanan Cat	97
Gambar 4.10 Aplikasi <i>Creality Slicer</i>	100
Gambar 4.11 Mesin 3D Printing	100
Gambar 4.12 Proses Penghalusan Menggunakan Kikir	101
Gambar 4.13 Penyesuaian Sudut Motor Servo	101
Gambar 4.14 Pemasangan Motor Servo Ke Dalam <i>Base</i>	102
Gambar 4.15 Perakitan <i>Upper Base</i>	103
Gambar 4.16 Perakitan Lengan Terhadap <i>Upper Base</i>	104
Gambar 4.17 Pemasangan Bagian <i>End Effector</i>	104
Gambar 4.18 Proses Pemotong Pipa Pvc	105
Gambar 4.19 Proses Pengeboran Bagian Dop Drat <i>Galvanis</i>	106
Gambar 4.20 Proses Pengetapan atau Pembuatan Ulir	107
Gambar 4.21 Proses Pengelasan Dop Drat Pipa	107
Gambar 4.22 Uji Kebocoran Tabung Penyimpanan Cat	108
Gambar 4.23 (a) Body Robot Lengan Dan (b) <i>End Effector Cat</i>	109
Gambar 4.24 Hasil Pembuatan Tabung Penyimpanan Cat	109
Gambar 4.25 Hasil Pengujian Pertama	111
Gambar 4.26 Hasil Pengujian Kedua	111
Gambar 4.27 Hasil Pengujian Ketiga	112
Gambar 4.28 Hasil Pengujian Keempat	112

Gambar 4.29 Hasil Pengujian Kelima	113
Gambar 4.30 Grafik <i>aram</i> Penggunaan Cat	114
Gambar 4.31 Grafik <i>Efisiensi</i> Waktu Pengecatan	114

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Software Arduino IDE	29
Tabel 3.2 Spesifikasi Software <i>SolidWork</i>	30
Tabel 3.3 Spesifikasi Software <i>Matlab</i>	31
Tabel 3.4 Spesifikasi Software <i>Creality Slicer</i>	31
Tabel 3.5 Spesifikasi Laptop	32
Tabel 3.6 Spesifikasi Printer 3D	32
Tabel 3.7 Spesifikasi Kompresor Udara	33
Tabel 3.8 Spesifikasi <i>Digital Sigmat</i>	38
Tabel 3.9 Spesifikasi Arduino Nano	38
Tabel 3.10 Spesifikasi Motor servo	39
Tabel 3.11 Spesifikasi <i>Relay</i>	41
Tabel 3.12 Spesifikasi <i>Solenoid Valve Dc</i>	41
Tabel 3.13 Spesifikasi <i>Adaptor/Power Supply</i>	43
Tabel 3.14 Spesifikasi <i>Air Filter Regulator</i>	43
Tabel 3.15 Spesifikasi <i>Manometer/Pressure Gauge</i>	44
Tabel 3.16 Spesifikasi <i>Doubel Nipple</i>	46
Tabel 3.17 Spesifikasi <i>Tee Nipple</i>	46
Tabel 3.18 Spesifikasi <i>Ball Valve</i>	47
Tabel 3.19 Spesifikasi <i>Nipple</i> Pneumatik	48
Tabel 3.20 Spesifikasi Dop Pipa	48
Tabel 3.21 Spesifikasi Dop Drat Pipa	49
Tabel 3.22 Spesifikasi Pipa Pvc	50
Tabel 3.23 Spesifikasi Sock Drat Luar	51
Tabel 3.24 Spesifikasi Filamen Printer 3D	51
Tabel 4.1 Tabel Hasil Pengujian Robot Lengan Penyemprotan	110
Tabel 4.2 Tabel Konversian	111
Tabel 4.3 <i>Efisiensi</i> Penggunaan Cat Dan <i>Efisiensi</i> Waktu	113

## DAFTAR NOTASI

- $x$  = Koordinat Sumbu Horizontal
- $z$  = Koordinat Sumbu Miring
- $y$  = Koordinat Sumbu Vertikal
- $\theta$  = Besar Sudut
- $k$  = *Transpose Matriks*
- $JA$  = *Jacobian Matriks*
- $\partial$  = Besar Sudut
- $a_i$  = Jarak sepanjang  $x_i$  dari  $o_i$  ke perpotongan dari sumbu  $x_i$  dan  $z_{i-1}$ .
- $d_i$  = Jarak sepanjang  $z_{i-1}$  dari  $o_{i-1}$  ke perpotongan dari sumbu  $x_i$  dan  $z_{i-1}$ .  $d_i$  adalah *variabel* jika sendi  $i$  adalah sendi *prismatic*.
- $\alpha_i$  = Sudut antara  $z_{i-1}$  dari  $z_i$  di ukur terhadap  $x_i$ .
- $\theta_i$  = Sudut antara  $x_{i-1}$  dari  $x_i$  di ukur terhadap  $z_i$ .  $\theta_i$  adalah *variabel* jika sendi  $i$  adalah *revolute*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Dalam suatu industri manufaktur, pembuatan suatu produk melewati berbagai tahap pengerjaan, salah satunya adalah proses pengecatan produk. proses pengecatan adalah suatu proses yang melibatkan penambahan lapisan cat atau pigmen ke permukaan benda atau produk. Pengecatan atau penggunaan cat merupakan bagian *finishing* suatu produk untuk tujuan dekoratif dan protektif. tujuan dekoratif untuk memperindah produk serta meningkatkan nilai estetika dari produk yang telah dicat. Sedangkan tujuan protektif untuk melindungi produk dari kerusakan yang disebabkan oleh cuaca, lingkungan dan bahan kimia. Proses pengecatan dapat dilakukan pada berbagai bahan dan menggunakan berbagai jenis cat, serta dapat dilakukan secara manual (Islahudin, 2019).

Pengecatan manual adalah proses melekatkan cat ke permukaan benda yang dilakukan secara manual dengan menggunakan kuas atau *spray gun*. Pengecatan manual masih umum ditemui di Indonesia, sehingga paparan cat dapat mengenai pengecat dan mengakibatkan cat menempel pada tangan atau pakaian pengecat. Pengecatan manual membutuhkan waktu yang lama jika diterapkan pada bidang yang luas. Tidak semua orang memiliki kemampuan mengecat yang baik, sehingga ketelitian, ketekunan, dan konsistensi sangat dibutuhkan dalam proses pengecatan. Hasil pengecatan dari orang yang memiliki kemampuan mengecat yang baik dapat berbeda dengan yang tidak. Terkadang warna cat tidak merata karena pelapisan cat yang tidak sama, dan hasil cat dapat terlihat tidak rata karena penggunaan kuas ataupun *spray gun* yang tidak benar. Dalam beberapa kasus, ada bagian yang tidak terkena cat karena kurang teliti. Pengecatan manual memerlukan tenaga yang tidak sedikit dan membutuhkan perhatian yang tinggi untuk menghasilkan hasil yang baik (Aziz & Puriyanto, 2019; Maududy & Nursamsi, 2023).

Revolusi Industri dan produksi massal dalam industri manufaktur telah meningkatkan kebutuhan akan proses pengecatan, sehingga

diperlukan perkembangan dan inovasi untuk memenuhi kebutuhan pasar akan proses pengecatan. Salah satu contoh inovasi dalam industri manufaktur adalah penggunaan robot lengan sebagai robot pengecatan, yang dapat bergerak secara bebas seperti lengan manusia. Robot lengan pengecatan ini digunakan dalam proses pengecatan dengan cara menyemprotkan objek atau melapisi bagian dengan cat, pernis, dan tinta menggunakan *nozzle* spray atau *nozzle* semprot bertekanan. Dengan demikian, robot lengan pengecatan dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam proses pengecatan, serta mengurangi biaya dan dapat meningkatkan kualitas hasil (Ahmad et al., 2019; Zbiss et al., 2022).

Kedepannya diharapkan teknologi pengecatan secara *automasi* lainnya banyak berkembang dengan pesat agar semakin berguna bagi perkembangan dunia robotika. Oleh karena itu, peneliti mengambil judul **“Perancangan Dan Pembuatan *End Effector Nozzle* Cat Dan Sistem Penyemprotan Pada Robot Lengan 4 Derajat Kebebasan”** *end effector* ini didesain dan dibangun untuk mengatasi ketidakkonsistenan mendistribusikan cat yang yang tidak merata dalam proses pengecatan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana Merancang dan Membangun *End Effector Nozzle* Cat dan Sistem Penyemprotan Pada Robot Lengan 4 Derajat Kebebasan ?
2. Menguji dan Mengevaluasi Kekonsistenan Pengecatan *End Effector* Cat dan Sistem Penyemprotan Pada Robot Lengan 4 Derajat Kebebasan ?

## 1.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Jumlah DOF (*Degree Of Freedom*) yang digunakan 4 DOF.
2. Jenis *joint* yang digunakan motor servo.
3. Jenis mikrokontroler yang digunakan Arduino nano.
4. Jenis *End Effector* yang digunakan adalah *nozzle sprayer* untuk proses pengecatan.

#### **1.4 Tujuan**

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang dan membangun *end effector* cat dan sistem penyemprotan pada robot lengan 4 derajat kebebasan.
2. Menguji dan mengevaluasi kekonsistenan pengecatan *end effector* cat dan sistem penyemprotan pada robot lengan 4 derajat kebebasan.

#### **1.5 Manfaat**

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai bahan pembelajaran kepada mahasiswa teknik mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang sistem kerja robot lengan.
2. Sebagai landasan dasar untuk mengembangkan atau menciptakan alat automasi yang lain, khususnya robot lengan pengecatan yang lebih baik lagi.
3. Berkontribusi positif dalam perkembangan teknologi industri.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Robot Lengan (*Arm Robot*)

#### 2.1.1 Pengertian Robot Lengan (*Arm Robot*)

Robot lengan atau *arm robot* adalah sebuah robot yang desain atau bentuknya menyerupai lengan manusia, seperti pada gambar 2.1 robot merupakan salah satu robot industri yang banyak dipakai pada industri



Gambar 2.1 Robot Lengan

perakitan atau manufaktur, *automotive*, maupun pada industri lainnya. Hal ini dikarenakan robot ini memiliki fungsi yang cukup *fleksibel* yaitu dapat memindahkan barang yang berat maupun ringan dari satu tempat ke tempat lainnya, dapat melakukan pengelasan, pengecatan, pencetakan, dll. Selain memiliki presisi kerja yang tinggi, robot lengan pada industri juga memiliki material dengan bahan yang tahan terhadap suhu dan tekanan yang ekstrim.(Jadeja & Pandya, 2019)

#### 2.1.2 Sejarah Robot lengan (*Arm Robot*)

Sejarah robot lengan pada industri secara kronologis di bagi ke dalam empat generasi. Generasi pertama robot industri berlangsung dari tahun 1950 hingga 1967, dan merupakan mesin yang dapat diprogram dengan peralatan berteknologi rendah dan aktuator pneumatik. George Devol

merancang "*Programmable Article Transfer*" pada tahun 1954, yang menjadi dasar pengembangan Unimate, robot industri pertama yang benar-benar ada dalam sejarah. Joseph Engelberger dan George Devol mendirikan *Unimation* pada tahun 1961, yang memproduksi robot *Unimate* pertama pada tahun 1961. *Unimation* memberikan lisensi kepada Kawasaki Heavy Industries Ltd. untuk memproduksi robot untuk pasar Jepang dan Asia, yang mengarah pada pengembangan Kawasaki-Unimate 2000 seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Robot Lengan *Unimate* 2000

Di Eropa, instalasi robotik pertama muncul pada tahun 1967 di Svenska Metallverken dan dua tahun kemudian di Norwegia. *Unimation* adalah perusahaan pertama yang memproduksi robot pengelasan dan General Motors adalah yang pertama kali memasangnya di pabrik otomotif mereka. Victor Scheinman adalah seorang mahasiswa teknik mesin di Universitas Stanford yang merancang dan membangun *Stanford Arm*, sebuah robot yang digerakkan oleh motor listrik dan dikendalikan oleh mikroprosesor PDP-6. *Unimation* membeli Vicarm pada tahun 1978 dan menggunakan pengetahuannya untuk mendesain dan membuat robot PUMA yang terkenal, yang merupakan pola dasar robot *antropomorfik*. Perusahaan lain mengembangkan dan memproduksi jenis robot industri lainnya, seperti robot Famulus dari KUKA, T3 dari Cincinnati Milacron, seri IRB dari ASEA, dan HI-T-HAND Expert dari Hitachi.

Robot industri generasi ketiga (dari tahun 1978 hingga 1999) dicirikan oleh interaksi yang lebih besar dengan operator dan lingkungan, serta kemampuan pemrograman mandiri. Antara akhir tahun 1970-an dan awal tahun 1980-an, peningkatan ilmiah dan teknis lainnya berkontribusi pada difusi robot, seperti struktur kinematik baru yang diusulkan oleh Hiroshi Makino dari Universitas Yamanashi. Robotika pada tahun 1980-an merupakan bidang yang menjanjikan yang menarik minat jurnalis, ilmuwan, pembuat kebijakan, dan orang awam. Terlepas dari kemajuannya, kebutuhan akan robot yang dapat melaksanakan tugas dengan kecepatan tinggi mendorong penelitian ilmiah untuk merancang struktur kinematik yang inovatif. Robot industri sekarang dianggap sebagai bagian dari generasi keempat, yang menampilkan kemampuan "cerdas" tingkat tinggi. (Gasparetto & Scalera, 2019)

### **2.1.3 Konsep Dasar Robot Lengan (*Arm Robot*)**

Pada dasarnya konsep sebuah robot lengan adalah sebuah sekumpulan benda mekanik yang terdiri dari rangkaian link yang saling terhubung satu dengan yang lainnya, namun pada umumnya ada 2 model rangkaian link yang digunakan pada robot lengan yaitu rangkain link umpan balik secara tertutup maupun rangakaian umpan balik secara terbuka. Pada setiap rangkaian link yang terhubung digunakan sendi sebagai penghubung sekaligus penggerak antar rangkaian link yang mempunyai kemampuan pergerakan secara planar yaitu pergerakan sendi-sendi yang bergerak pada bidang parallel dan pergerakan secara spatial yang dimana sendi-sendinya bergerak pada bidang tiga dimensi. (K. Singh, 2021) Adapun berikut beberapa istilah dasar pada robot lengan :

#### 1. *Link*

*Link* merupakan sebuah kerangka kaku pada lengan suatu robot lengan yang dihubungkan dengan beberapa link lainnya sehingga menjadi suatu lengan atau rangkaian lengan yang bergerak.

2. *Joint* (Sendi)

*Joint* atau sendi adalah suatu penghubung antar *link* yang terhubung sekaligus berfungsi sebagai penggerak pada robot lengan.

3. *End-effector*

*End-effector* adalah bagian paling akhir dari suatu rangkaian *link* yang merupakan bagian fungsi atau penggunaan dari robot lengan itu sendiri, misalnya digunakan untuk memindahkan barang, pengecatan, pengelasan, pengeboran, dll.

4. *Work Space/Work Envelope*

*Work space* merupakan ruang kerja atau ruang gerak keseluruhan yang bisa di jangkau oleh *end-effector* pada saat semua lengan bergerak dengan maksimal.

5. Akurasi

Merupakan sebuah pengukuran untuk mengukur seberapa dekat maupun cepat suatu lengan dapat bergerak mencapai titik tujuan yang diinginkan.

6. *Repeatability*

Merupakan sebuah pengukuran untuk mengukur seberapa dekat maupun cepat suatu lengan dapat bergerak kembali mencapai titik tujuan sebelumnya.

7. Derajat Kebebasan

Merupakan suatu jumlah arah pergerakan atau jumlah pergerakan sendi yang dimiliki suatu robot untuk bergerak.

8. *Rigidity*

Merupakan sebuah istilah untuk mengetahui tingkat kekakuan pada robot.

#### **2.1.4 Prinsip Kerja Robot Lengan (*Arm Robot*)**

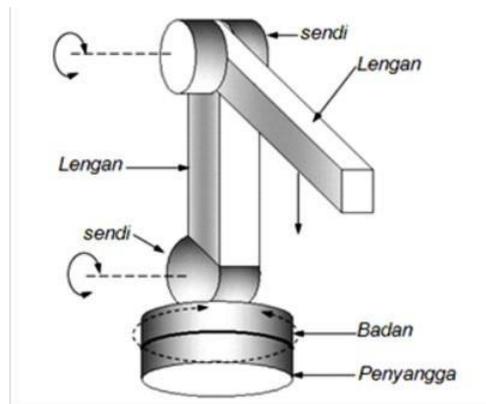
Robot lengan merupakan robot yang pada umumnya digunakan di dunia industri, mereka diprogram untuk bekerja melakukan hal yang sama dalam wilayah lingkungan yang terkendali dengan mengingat setiap urutan kode gerakan yang diprogram padanya sehingga mampu melakukan gerakan secara terus menerus berulang kali. Untuk pekerjaan yang terlampau berat, sumber gerakan tiap sambungan robot biasanya menggunakan teknik hidrolik atau pneumatik yang dimana hidrolik bekerja menggunakan fluida cair sedangkan pneumatik bekerja dengan menggunakan gas atau udara, namun pada pekerjaan yang tergolong ringan, sumber gerakan tiap sambungannya bekerja dengan menggunakan motor listrik. Di samping itu robot lengan juga memiliki beberapa sensor yang dapat membuatnya bergerak dan bekerja lebih presisi, dan efisien. Rata-rata robot lengan pada industri bekerja di jalur perakitan mobil maupun barang produksi lainnya, mereka bekerja seperti mengebor, mengelas, mengecat, menyatukan produk atau mencetak produk, hingga melakukan pengemasan.

#### **2.1.5 Jenis-Jenis Robot Lengan (*Arm Robot*)**

1. Robot *Anthropomorphic*

*Anthropomorphic* merupakan suatu perumpamaan yang memiliki arti kata dari kesamaan seperti manusia, *anthropomorphic* pada robot lengan memiliki arti sebuah robot yang bentuk, gerakan, serta fungsinya menyerupai lengan manusia seperti pada gambar 2.3. Jenis robot ini memiliki pergerakan sendi yang fleksibel dan ruang kerja layaknya pergerakan lengan manusia, akan tetapi robot ini

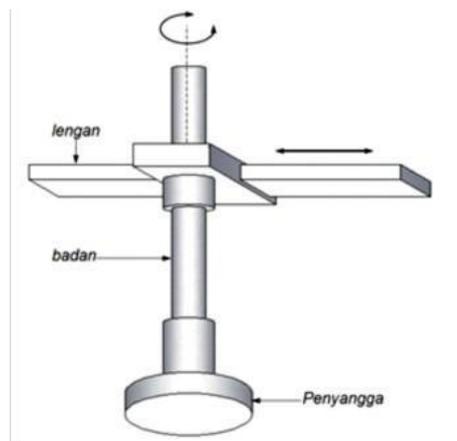
memiliki gerakan yang lambat dan mengalami kesulitan dalam menggerakkan ujung lengan dalam garis lurus.



Gambar 2.3 Konfigurasi *Anthropomorphic*

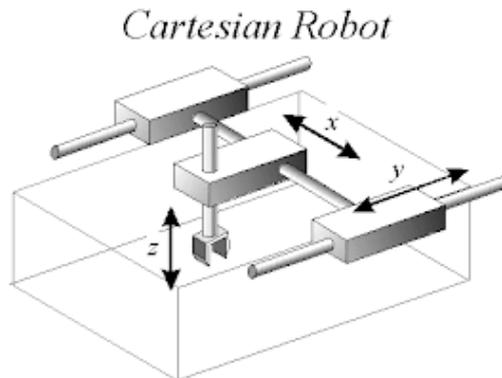
## 2. Robot Silindris

Seperti pada gambar 2.4 robot silindris merupakan jenis robot yang memiliki 3 gerakan yaitu Y,Z, dan  $\theta$ . Y,dan Z merupakan bagian lengan robot yang memiliki bentuk Y silinder atau tabung dan Z persegi panjang dengan gerakan secara vertikal dan horizontal sedangkan  $\theta$  merupakan sebuah sendi yang bergerak secara rotasi dengan bentuk tabung atau silindris yang posisinya pada *end effector* atau di ujung lengan. Robot ini bekerja dengan prinsip mengambil atau mengangkat bahan, kemudian memutar ,dan meletakkannya di tempat.



Gambar 2.4 Konfigurasi Silindris

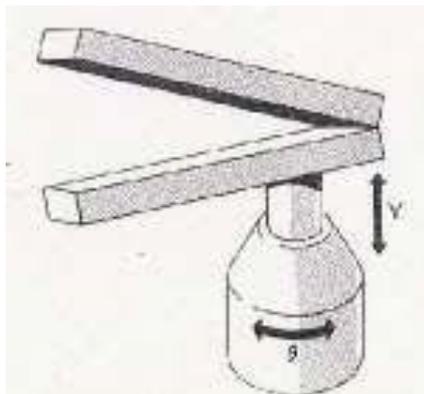
### 3. Robot Cartesian



Gambar 2.5 Konfigurasi Cartesian

Bujur sangkar atau *gantry* adalah sebutan lain untuk robot *cartesian*, berdasarkan pada gambar 2.5 robot ini merupakan jenis robot dengan memiliki tiga sambungan prismatic yang menggunakan 3 gerakan sumbu X,Y,Z dengan konfigurasi persegi panjang. Robot ini memiliki 2 lengan yang saling tegak lurus bersinggungan, pada bagian dasar atau alas robot ini dapat menggerakkan secara horizontal lengan pertama yang tegak ke arah sumbu X, kemudian pada bagian lengan pertama menopang lengan kedua secara horizontal yang dapat menggerakkan lengan kedua ke arah sumbu Y, sedangkan pada lengan kedua menggerakkan *end effector* secara vertikal terhadap sumbu Z.

### 4. Robot Kutub

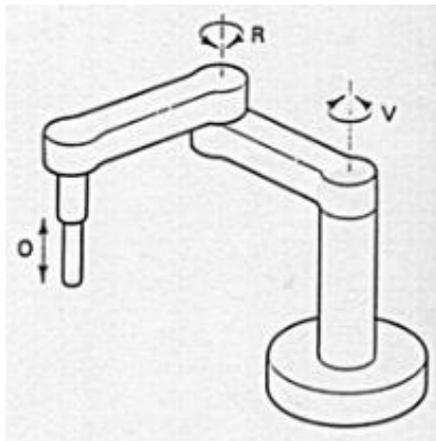


Gambar 2.6 Konfigurasi Kutub

Seperti pada gambar 2.6 robot kutub atau juga disebut robot bola merupakan suatu robot yang menyerupai robot silindris yaitu memiliki sambungan sendi yang dapat berotasi atau memutar pada bidang vertikal yang menghubungkan lengan dengan alas dan memiliki kombinasi dua sambungan putar dengan satu sambungan linear yang dapat menghubungkan sambungan. Robot ini dapat menjangkau sekelilingnya namun tidak dapat menjangkau objek yang tingginya diatas dirinya sendiri. Robot ini pada umumnya di industri digunakan untuk pengelasan, *die casting*, penanganan material, cetakan injeksi, dll.

#### 5. Robot SCARA

Seperti pada gambar 2.7 SCARA atau *Selective Compliance Assembly Robot Arm* merupakan sebuah robot yang bekerja dengan wilayah berbentuk donat yang memiliki dua sambungan paralel yang dapat memberikan kepresisian pada satu bidang yang telah di program.



Gambar 2.7 Konfigurasi SCARA

### 2.1.6 Bagian-Bagian Robot Lengan

#### 1. Tangan Mekanik (*Mechanical Arm*)

Tangan mekanik merupakan bagian utama atau inti dari konstruksi robot lengan yang memiliki bentuk seperti lengan manusia dengan penyesuaian yang sesuai dengan kebutuhannya, serta merupakan bagian perangkat yang dikendalikan pergerakannya sesuai dengan tujuan perkerjaannya.

## 2. *End-Effector*



Gambar 2.8 *End Effector Gripper*

*End-effector* merupakan sebuah sebutan pada piranti bagian robot lengan yang fungsi pekerjaannya tergantung pada apa yang dipasangkannya, bagian ini biasanya terdapat di ujung lengan pada robot. Berdasarkan jenisnya *end effector* memiliki 2 jenis yaitu pertama *end effector* pencengkram atau *gripper* seperti pada gambar 2.8 yang memiliki bentuk layaknya sebuah tangan berfungsi untuk memegang dan memindahkan objek, kedua *end effector* tool atau perkakas yang fungsinya sesuai dengan tools yang dipakai sebagai contohnya seperti pengecatan, penyemprotan, pengelasan, penyolderan, pengeboran dll.

## 3. *Actuator* (Penggerak)

*Actuator* adalah istilah pada bagian robot lengan yang merupakan perangkat mekanisme yang berfungsi menggerakkan tangan mekanikal atau robot lengan. Pada umumnya *actuator* robot lengan berupa hidrolis dan pneumatik yang bekerja sebagai persendian prismatic yang sendinya bergerak secara linear atau *actuator* motor listrik yang sendinya bergerak secara rotasi yang *actuators*nya biasa disebut motor servo.

## 4. *Sensor (Transducer)*

Sensor merupakan bagian robot lengan yang dapat membuat robot lengan berinteraksi atau mengetahui lingkungan di sekitar area kerjanya dan digunakannya kembali sebagai input umpan balik dalam proses pekerjaannya.

## 5. *Controller* (pengendali)

*Controller* merupakan bagian robot lengan yang memiliki mekanisme kekuasaan untuk mengatur hardware maupun software pada robot, seperti menjalankan program, mengelolah, menerima setiap informasi dari sensor input dan melakukan pengiriman kembali untuk mengendalikan output pada *actuator*, indikator, dan output lainnya. Adapun pada umumnya *controller* biasa disebut sebagai *microcontroller*.

### 2.1.7 Derajat Kebebasan (*Degree of Freedom*)

Derajat kebebasan atau biasa disebut *Degree of freedom* (DOF) merupakan suatu sebutan untuk jumlah arah pergerakan atau jumlah pergerakan sendi yang dimiliki suatu robot atau mekanisme mesin untuk melakukan gerakan. Dalam melakukan perancangan derajat kebebasan pada umumnya rata-rata para perancang menggunakan total enam derajat kebebasan gerak pada suatu robot lengan, hal ini dipercaya agar membuat robot lengan semakin fleksibel atau dapat bergerak dengan lebih ke segala arah. Akan tetapi di samping itu juga banyak para perancang yang menggunakan 3 sampai 5 derajat kebebasan untuk robotnya, peristiwa ini terjadi dikarenakan semakin banyak derajat kebebasan yang digunakan maka semakin complex juga pemograman yang digunakan.

### 2.1.8 Mikrokontroler



Gambar 2.9 Mikrokontroler

Seperti pada gambar 2.9 mikrokontroler merupakan sebuah komponen IC (*Integrated Circuit*) yang berfungsi layaknya sebuah chip mikrokomputer pada pc, namun mikrokontroler memiliki sistem kerja yang lebih ringan yang dimana tidak membutuhkan perhitungan sistem yang kompleks atau terlalu rumit seperti halnya mikrokomputer pada pc. Pada mikrokontroler juga terdapat bagian-bagian penting seperti CPU (*Central Processing Unit*), RAM (*Random Access Memory*), ROM (*Read Only Memory*), Dan port I/O (*Input/Output*). Perangkat ini pada umumnya biasa digunakan pada perangkat elektronik seperti microwave, keyboard, remote control, CD player, hingga robot. (Hari Arief Dharmawan, 2017)

Pada robot mikrokontroler juga digunakan sebagai otak dalam mengendalikan sebuah robot yang dimana dilakukan dengan cara memasukkan bahasa pemrograman ke dalamnya, kemudian program tersebut akan memerintahkan atau mengatur komponen-komponen elektronik lainnya seperti motor servo, sensor, hingga aktuator untuk bergerak sesuai arahan programnya. (Prasetyawan et al., 2018) Adapun beberapa mikrokontroler pada umumnya yang biasa digunakan pada dunia robotik atau sistem otomisasi adalah sebagai berikut :

a) Arduino Uno

Arduino uno merupakan suatu board mikrokontroler memiliki minimum system yang bersifat *open source* seperti pada gambar 2.10, pada mikrokontroler jenis ini didalamnya terdapat rangkaian mikrokontroler AVR seri ATmega328. Mikrokontroler ini juga memiliki IDE (*Integrated Development Environment*) yaitu memiliki sebuah software yang berguna untuk menulis bahasa pemrograman, mengcompile kode biner, serta dapat mengupload programnya ke dalam mikrokontroler. Papan ini memiliki kristal osilator 16 MHz, 6 input analog, koneksi USB, tombol reset colokan listrik, dan 14 pin input/output digital, dimana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM. Pin ini dapat digunakan semua jika dibutuhkan mikrokontroler

untuk berfungsi, hal yang perlu digunakan hanyalah koneksi USB ke komputer atau sumber daya, seperti konverter AC-DC atau baterai. (Didi et al., 2016)



Gambar 2.10 Arduino UNO

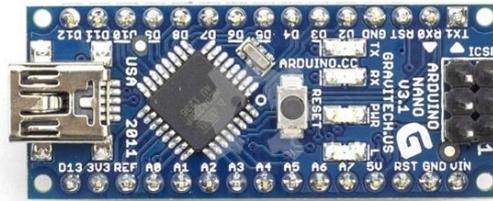
Arduino uno memiliki spesifikasi umum sebagai berikut:

- Mikrokontroler : Atmega 328P
- Operasi Voltage : 5 V
- Input Voltage : 7-12 V (Rekomendasi)
- Input voltage : 6-20 V (Limits)
- I/O : 14 pin (6 pin digital/PWM)
- Arus : 50 mA
- Flash Memory : 32 KB
- Bootloader :SRAM 2 KB
- EEPROM : 1 KB
- Kecepatan : 16 Mhz

#### b) Arduino Nano

Arduino nano merupakan salah satu varian mikrokontroler dari perusahaan arduino yang memiliki bentuk dan ukuran yang kecil dengan berat sekitr 5 gram menggunakan chip mikroprosesor Atmega 328P. Seperti pada gambar 2.11 mikrokontroler ini memiliki 14 pin digital yang dapat digunakan sebagai input dan ouput dengan menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Arduino jenis ini juga memiliki 8 pin analog

yang mempunyai keterangan A0 sampai A7 dengan masing-masing resolusi 10 bit yang memiliki 1024 nilai yang berbeda. Untuk membuat atau menginput board pemrogramannya, mikrokontroler ini didukung oleh software Arduino IDE yang dikoneksikan dengan kabel USB ke pc/laptop. (Suari, 2017; Triawan & Sardi, 2020)



Gambar 2.11 Arduino Nano

Spesifikasi Arduino Nano secara umum sebagai berikut :

- Mikrokontroler : ATmega 328P
- Tegangan Kerja : 5V atau 3,33V
- Kecepatan Clock : 16 Mhz
- Memori : 32 KB
- Bootloader : SRAM 2 KB
- EEPROM : 1 KB
- I/O : 22 pin (14 pin digital, 8 pin analog)
- Komunikasi : UART, 12C, SPI
- Dimensi : 18 x 45 mm

### 2.1.9 Kinematika Robot Lengan

Kinematika merupakan suatu bidang ilmu mekanika yang mengkaji bagaimana sistem dan benda bergerak tanpa memperhitungkan gaya. Selain itu, kinematika robot lengan merupakan suatu ilmu yang mempelajari geometri secara tiga dimensi untuk menganalisis pergerakan kinematika

robot lengan dengan beberapa derajat kebebasan yang membentuk struktur manipulator robot. Kinematika ini menyelidiki bagaimana hubungan robot lengan dengan posisi, orientasi, dan percepatannya, hal ini merupakan pemodelan matematika gerakan dalam sistem koordinat tiga dimensi. (T. P. Singh et al., 2017) Berdasarkan analisis pergerakan robot lengan terdapat dua kategori kinematik robot lengan yaitu sebagai berikut :

a) *Forward Kinematics* (Kinematika Maju)

Kinematika maju atau *forward kinematics* adalah suatu persamaan yang berfungsi untuk menemukan posisi letak koordinat orientasi *End of Effector* robot lengan berdasarkan pergerakan sudut dari tiap *joint* yang bergerak. Dikarenakan setiap perubahan posisi sendi akibat gerakan dihitung menggunakan trigonometri langsung, kinematika maju sangat mudah dihitung. Metode yang paling umum agar dapat mencari persamaan kinematika maju adalah dengan menggunakan metode *Denavit Hartenberg* (DH). *Denavit Hartenberg* (DH) memiliki aturan yang mana berisi langkah-langkah yang mudah untuk mencari nilai dari kinematika maju. Pada aturan ini menyatakan bahwa setiap matriks transformasi homogen dinyatakan sebagai perkalian dari empat transformasi dasar yang melibatkan *joint* dan *link* manipulator robot. Berikut ini merupakan parameter *link* yang berfungsi dalam kaidah *Denavit Hartenberg* (DH) sebagai berikut. (Ben-Ari & Mondada, 2018; Iliukhin et al., 2017)

$a_i$  : Jarak sepanjang  $x_i$  dari  $o_i$  ke perpotongan dari sumbu  $x_i$  dan  $z_{i-1}$  .

$d_i$  : Jarak sepanjang  $z_{i-1}$  dari  $o_{i-1}$  ke perpotongan dari sumbu  $x_i$  dan  $z_{i-1}$  .  $d_i$  adalah *variabel* jika sendi  $i$  adalah sendi *prismatic*.

$\alpha_i$  : Sudut antara  $z_{i-1}$  dari  $z_i$  di ukur terhadap  $x_i$ .

$\theta_i$  : Sudut antara  $x_{i-1}$  dari  $x_i$  di ukur terhadap  $z_i$  .  $\theta_i$  adalah variabel jika sendi  $i$  adalah *revolute*.

Parameter ini dapat digunakan untuk menggambarkan posisi dan orientasi lengan dengan matriks transisi:

$$A_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos \alpha_i & \sin \theta_i \sin \alpha_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\sin \theta_i \sin \alpha_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{----- (2.1)}$$

Didapatkan rumus kinematika maju sebagai berikut :

$$T_0^n = A_1 \dots A_n \text{----- (2.2)}$$

b) *Inverse Kinematics* (Kinematika Terbalik)

Kinematika terbalik atau *inverse kinematics* adalah kebalikan dari persamaan metode *forward kinematics* dimana *inverse kinematics* merupakan suatu metode menganalisis pergerakan robot lengan dengan menggunakan acuan titik koordinat yang akan dituju agar sudut-sudut pada robot lengan dapat bergerak untuk mencapai titik tersebut. Teknik kinematika terbalik agar robot lengan dapat bergerak ke koordinat yang sesuai, nilai sudut masing-masing motor servo dihitung menggunakan kinematika. Panjang setiap lengan dan koordinat tujuan end-effector adalah parameter yang diperlukan untuk menghitung sudut setiap motor servo. (Nu'man et al., 2020)

$$\theta_{K+1} = \theta_K + J A^{-1}(\theta_K) [rd - Fr(\theta_K)] \text{----- (2.3)}$$

dimana

$$J A(\theta) = \partial k(\theta) / \partial \theta \text{----- (2.4)}$$

$$rd = Fr(\theta_K) + J A(\theta_K)(\theta - \theta_K) + o(\|\theta - \theta_K\|) \text{----- (2.5)}$$

### 2.1.10 Motor Servo



Gambar 2.12 Motor Servo

Motor servo merupakan sebuah motor DC dengan sistem loop tertutup yang biasa digunakan sebagai aktuator robot seperti pada gambar 2.12, bagi penggemar robotika ataupun ilmuwan elektronika. Motor ini bekerja dengan cara mengatur suatu besaran sudut pada *joint* robot dengan posisi yang diinginkan berdasarkan penerimaan signal elektronik yang diterimanya. Berdasarkan dari besaran sudut, motor servo terbagi menjadi dua jenis dimana motor servo standar hanya mampu bergerak dengan besaran sudut  $180^\circ$  sedangkan pada motor servo kontinyu merupakan motor servo yang sudutnya mampu bergerak sebesar  $360^\circ$ . Pengendalian gerakan batang motor servo dapat dilakukan dengan menggunakan metode PWM (*Pulse Width Modulation*). Teknik ini menggunakan system lebar pulsa untuk mengemudikan putaran motor. Sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor. Semakin lebar pulsa OFF maka akan semakin besar gerakan sumbu ke arah jarum jam dan semakin kecil pulsa OFF maka akan semakin besar gerakan sumbu ke arah yang berlawanan dengan jarum jam. Pada motor DC servo terdapat sebuah magnet yang bertugas mengubah energi listrik menjadi *energy* mekanik melalui dua medan magnet yang salah satu magnet merupakan magnet permanen sedangkan yang satunya merupakan magnet yang dihasilkan dari arus yang mengalir melalui kumparan motor. (Prasetyawan et al., 2018; Sujarwata, 2013; Sumarsono & Wahyu Saptaningtyas, 2018)

## 2.2 Pengecatan (*Painting*)

### 2.2.1 Pengertian Pengecatan (*Painting*)

Pengecatan merupakan salah satu kegiatan proses pelapisan pada suatu objek, benda kerja, barang atau produk seperti pada gambar 2.13 dengan menggunakan cairan cat, atau cat powder berbahan kimia berperlakuan khusus yang memiliki berbagai macam warna, maka hasilnya akan membuat permukaan suatu objek atau benda kerja memiliki tampilan yang indah dan menarik sesuai dengan warna yang diminati, selain itu pengecatan juga bertujuan untuk mencegah suatu korosi dan pelapukan pada objek, benda kerja, barang ataupun produk. Biasanya proses pengecatan dilakukan pada langkah/tahap pengerjaan terakhir (*finishing process*) yang diterapkan untuk produk-produk dengan material bahan dari logam, plastik, kayu, dinding dan lainnya. (Firman et al., 2018)



Gambar 2.13 Proses Pengecatan

### 2.2.2 Fungsi Proses Pengecatan

#### 2.2.2.1 Proteksi

Pada material seperti baja, kayu, aluminium, plastik, dan beton merupakan suatu bahan yang mengalami penurunan masa pakai atau yang dapat dengan mudah mengalami korosi atau erosi yang dapat mempengaruhi kekuatan dari material tersebut, akan tetapi kerusakan seperti korosi atau erosi pada material dapat diproteksi atau dilindungi dengan dilakukannya proses pengecatan yang

melapisi semua permukaan material dengan cat agar mencegah terjadinya korosi material pada suatu objek.

#### 2.2.2.2 Efek Estetika dan Identifikasi

Bukan hanya memproteksi suatu objek, pengecatan juga berfungsi memperindah suatu objek dengan meningkatkan nilai estetikanya, hal ini dikarenakan cat dapat memberikan warna dan kilatan (*Gloss*) yang dapat mempengaruhi daya tarik pada suatu produk. Selain itu, sebuah cat pada pengecatan juga berfungsi sebagai identifikasi suatu objek dimana misalnya mobil pemadam kebakaran dan polisi yang dilakukan pengecatan dengan warna khusus agar dapat membedakan dengan kendaraan lainnya. walaupun banyak cara untuk meningkatkan atau membedakan pada suatu tampilan, namun pengecatan merupakan cara yang sederhana dan memberikan hasil yg terbaik untuk mengidentifikasi suatu objek.

#### 2.2.3 Pistol Semprot (*Spray Gun*)

*Spray gun* atau pistol semprot merupakan salah satu media yang berguna untuk menyemprotkan bahan cair seperti cat dengan cara mengkabutkan bahan yang dapat disemprotkan ke permukaan menggunakan udara bertekanan dari kompresor dalam melakukan proses pengecatan. Pada umumnya terdapat tiga jenis *spray gun* yang biasa digunakan untuk proses pengecatan adalah sebagai berikut :

##### a) Tipe Umpan Berat (*Gravity Feed*)

Jenis *spray gun* ini merupakan suatu *spray gun* yang menggunakan *paint cup* di atas *spray gun body* seperti pada gambar 2.14 yang mempunyai kelebihan yaitu memiliki fluktuasi yang bermacam-macam dari jumlah cat yang di keluarkan dan dapat menjaga tingkatnya pada posisi minimum. Namun mempunyai kekurangan dimana memiliki kapasitas cup yang kecil apabila digunakan pada operasi pengecatan dengan skala yang besar. (Firman et al., 2018)



Gambar 2.14 *Spray Gun Gravity Feed*

b) Tipe Umpan Hisap (*Suction Feed*)

*Spray gun suction feed* atau tipe umpan hisap merupakan kebalikan dari model *gravity feed* yaitu suatu *spray gun* yang menggunakan *paint cup* dengan posisi di bawah *spray gun body* seperti pada gambar 2.15 yang mempunyai keuntungan yaitu dapat melakukan proses penyemprotan dengan area kerja yang luas, dikarenakan terdapat pilihan kapasitas cup yang besar. Tetapi apabila memiliki kapasitas cup yang besar tentunya mempunyai kelemahan yaitu memiliki bobot yang berat dalam menggunakannya.(Firman et al., 2018)



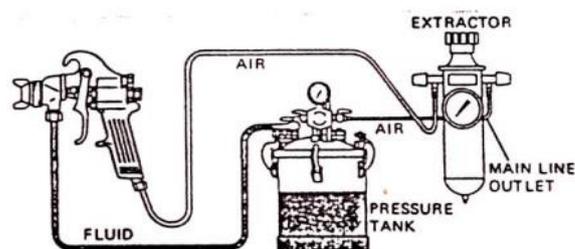
Gambar 2.15 *Spray Gun Suction Feed*

c) Tipe Kompresi (*Compression*)



Gambar 2.16 *Spray Gun Compression*

*Spray gun* kompresi merupakan sebuah tipe *spray gun* yang mempunyai *paint tank* atau *paint cup* dengan posisi terpisah dari *spray gun body* seperti pada gambar 2.16 yang bekerja dengan cara menekan cat menggunakan udara bertekanan dari kompresor atau pompa untuk disalurkan ke *spray gun* seperti pada gambar 2.17. *Spray gun* tipe ini memiliki keunggulan yaitu dapat digunakan pada proses penyemprotan atau pengecatan untuk area kerja yang luas dengan bobot *spray gun* yang lebih ringan dari pada *spray gun* jenis hisap. Akan tetapi *spray gun* tipe ini juga mempunyai kekurangan yaitu rugi apabila digunakan untuk pekerjaan cat dengan skala yang kecil, dikarenakan *spray gun* jenis ini memiliki harga lebih tinggi dari jenis *spray gun* lainnya. (Firman et al., 2018)



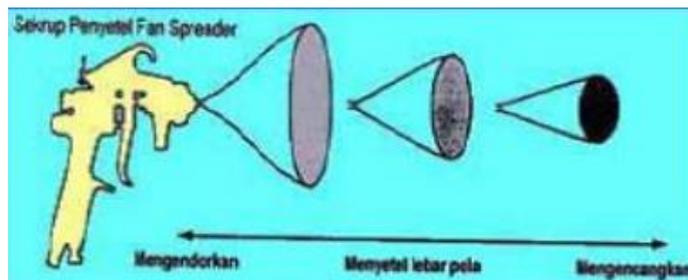
Gambar 2.17 Skema *Spray Gun Compression*

Dari setiap jenis *spray gun* pastinya mempunyai bagian-bagian atau konstruksi yang sama guna menyemprotkan cat untuk melapisi objek benda kerja dengan bantuan udara bertekanan dari

kompresor. Berikut adalah macam-macam bagian atau konstruksi pada spray gun adalah sebagai berikut :

a) *Fan Control Adjustment Knob (Fan Spreader)*

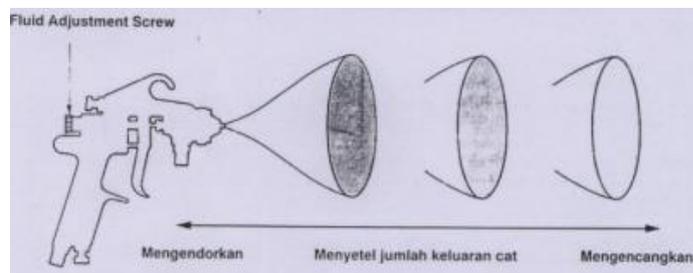
*Fan spreader* atau *fan control adjustment knob* adalah sebuah komponen yang berfungsi untuk mengatur pola bentuk semprotan seperti pada gambar 2.18 dengan cara melonggarkan atau mengencangkan tekanan sehingga menghasilkan suatu pola semprotan yang diinginkannya. (Firman et al., 2018)



Gambar 2.18 *Fan Spreader*

b) *Fluid Control Knob (Fluid Adjustment Screw)*

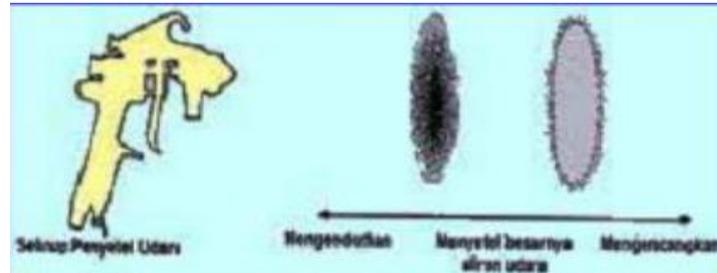
*Fluid Adjustment Screw* atau *Fluid Control Knob* adalah sebuah komponen yang berfungsi untuk mengatur jumlah cat atau fluida yang dikeluarkan seperti pada gambar 2.19 dengan cara melonggarkan atau mengencangkan jumlah gerakan jarum sehingga dapat menghasilkan jumlah cat atau fluida yang diinginkan. (Firman et al., 2018).



Gambar 2.19 *Fluid Adjustment Screw*

c) Sekrup Pengatur Udara (*Air Valve Control*)

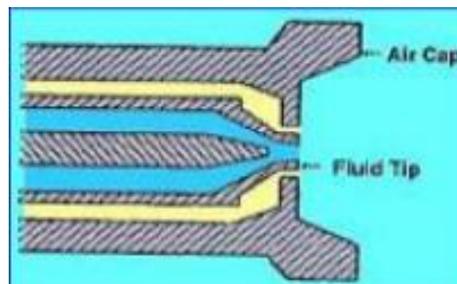
*Air valve control* atau sekrup pengatur udara merupakan sebuah bagian yang berfungsi untuk mengatur besar kecilnya tekanan udara yang keluar dengan cara melonggarkan atau mengencangkan sekrup pengatur sehingga menghasilkan tekanan udara yang sesuai seperti pada gambar 2.20. (Firman et al., 2018)



Gambar 2.20 *Air Valve Control*

d) *Fluid Tip*

*Fluid tip* merupakan sebuah komponen yang berfungsi untuk mengatur dan mengarahkan jumlah cat dari gun ke dalam air stream yang memiliki bentuk tirus seperti pada gambar 2.21 dengan cara mendekatkan atau menjauhkan jarum pada fluid tip sehingga menghasilkan aliran cat yang dapat di atur jumlah pengeluarannya. (Firman et al., 2018)



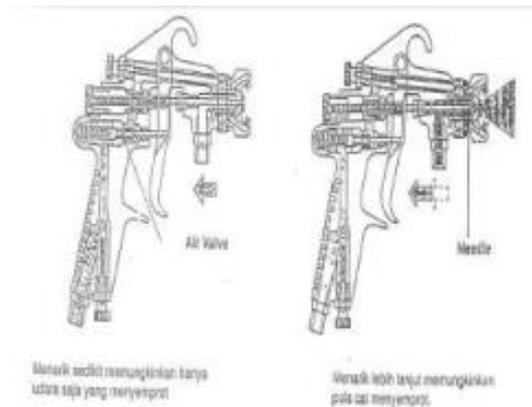
Gambar 2.21 *Fluid Tip*

e) *Spray Gun Head (Air Cap)*

*Air cap* atau *spray gun head* merupakan sebuah komponen yang membantu atomisasi cat dan mengubah arah pola semprotan dengan cara memutar air cap. (Firman et al., 2018)

f) *Trigger*

Merupakan sebuah komponen yang berfungsi untuk mengatur buka atau tutup jalur udara dan cat apabila ingin melakukan penyemprotan seperti pada gambar 2.22 dengan cara menarik pelatuk trigger agar jalur udara dan cat terbuka sehingga spray gun siap untuk melakukan penyemprotan. (Firman et al., 2018)



Gambar 2.22 *Trigger*

### 2.3.4 Kompresor Udara (*Air Compressor*)

Kompresor udara seperti pada gambar 2.23 merupakan sebuah alat yang menghasilkan udara bertekanan dengan cara mengkompresikan atau menghisap udara dengan tekanan tinggi dari luar untuk di kumpulkan pada tabung penyimpanan, setelah itu alat ini digunakan untuk mensuplai kebutuhan udara yang telah di kompresikan ke tempat-tempat atau alat yang memerlukan udara bertekanan seperti *spray gun* pada proses pengecatan. Pada lubang hisap kompresor udara terdapat filter yang berfungsi untuk menghindari masuknya uap air, debu, dan kotoran ke dalam tabung penyimpanan. Berdasarkan sumber energi penggerak yang digunakan, kompresor pada umumnya memiliki 2 jenis sumber energi yaitu energi dari motor listrik dan energi dari mesin pembakaran dalam dengan bahan bakar bensin yang kemudian output putarannya di sambung ke sebuah mesin kompresor dengan berbagai jenis konfigurasi silinder.

Selain itu pada umumnya kompresor juga memiliki *air transformer* sebagai alat penunjang yang bertujuan untuk menyaring udara bertekanan dari tabung penyimpanan agar terhindar dari terjadinya peristiwa kondensat atau uap air, pada *air transformer* terdapat 2 bagian yaitu :



Gambar 2.23 Kompresor

- a) Kondensor, suatu komponen yang berfungsi sebagai penyaring kotoran, embun, minyak yang terdapat pada tabung penyimpanan udara.
- b) Regulator, suatu komponen yang mempunyai fungsi untuk mengatur tekanan udara dengan patokan *pressure gauge* agar menghasilkan tekanan udara yang sesuai pada saat dibutuhkan.

Penggunaan ukuran pipa juga sangat berpengaruh terhadap kemampuan kompresor agar mendapat kan hasil tekanan udara yang maksimal, apabila semakin kecil ukurang pipa maka semakin besar pula tekanan udara yang di hasilkan dari suatu kompresor. (Firman et al., 2018)

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu

#### 3.1.1 Tempat Penelitian

Tempat pelaksanaan penelitian *End Effector Nozzle Cat* Dan Sistem Penyemprotan Pada Robot Lengan dilakukan di Laboratorium Automasi dan Robotika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Jl. Mukhtar Basri No. 03 Medan.

#### 3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dan kegiatan pengujian dilakukan sejak tanggal usulan oleh Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

NO	Jenis Kegiatan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan Judul	■					
2	Studi Literatur	■	■				
3	Perancangan		■				
4	Pembuatan, Perakitan, dan Pemograman			■	■		
5	Pengambilan dan Analisa Data				■		
6	Penulisan Laporan Tugas Akhir					■	
7	Seminar Hasil						■

### 3.2 Bahan dan Alat

#### 3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian *End Effector Nozzle Cat* Dan Sistem Penyemprotan Pada Robot Lengan adalah sebagai berikut :

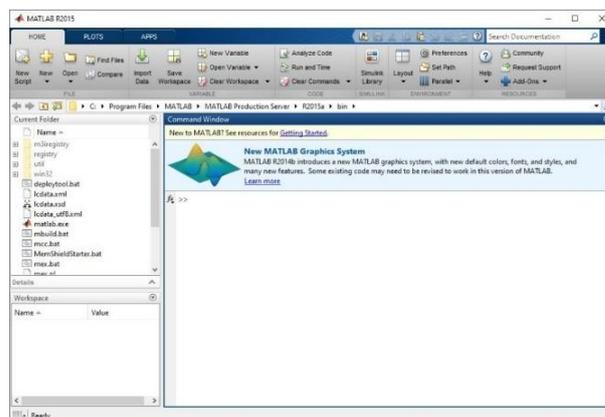


Berdasarkan pada gambar 3.2 *solidwork* merupakan suatu software atau perangkat lunak *CAD (Computer Aided Design)* dari perusahaan Dassault Systems yang dapat digunakan untuk mendesain, menggambar, serta menganalisis secara digital sebuah gambar 3D maupun 2D. Dalam penelitian ini *solidwork* digunakan untuk mendesain dan menggambar bagian – bagian robot lengan terlebih dahulu, sebelum nantinya di cetak melalui printer 3D. Berikut merupakan spesifikasi software *SolidWork* yang digunakan pada penelitian ini adalah pada tabel 3.2 :

Tabel 3.2 Spesifikasi Software *SolidWork*

Version	SW2020 SP1.0
Operating System Version	Windows 10 Home 64bit
Size	9.6 GB
RAM	8 GB

### 3. *MATLAB (Matrix Laboratory)*



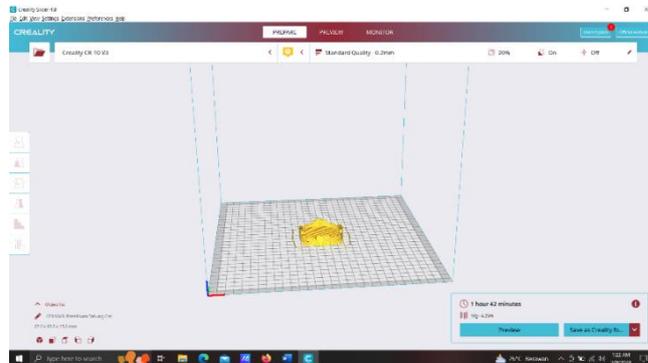
Gambar 3.3 *MATLAB*

Pada gambar 3.3 adalah sebuah software atau perangkat lunak yang salah satunya berupa tools untuk menganalisis, memvisualisasikan suatu komputasi numerik yang pemrogramannya digunakan secara luas dalam bidang ilmu komputer, rekayasa matematika, dan berbagai bidang ilmu lainnya. Berikut merupakan spesifikasi *MATLAB* yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada tabel 3.3:

Tabel 3.3 Spesifikasi Software *Matlab*

Version	R2015a (8.5.0.197613)
Operating System Version	Windows 10 Home 64bit
Size	10.4 GB
RAM	4 GB

#### 4. *Crealty Slicer*



Gambar 3.4 *Crealty Slicer*

*Crealty slicer* adalah sebuah software atau aplikasi pendukung printer 3D seperti pada gambar 3.4 yang digunakan untuk mengubah jenis file sebelumnya merupakan jenis file STL kemudian diubah ke jenis file *Gcode*. Berikut merupakan spesifikasi software *creality slicer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada tabel 3.4:

Tabel 3.4 Spesifikasi Software *Crealty Slicer*

Version	Crealty Slicer 4.8.2
Operating System Version	Windows 10 Home 64bit
Size	562 MB
RAM	4 GB

#### 5. Laptop



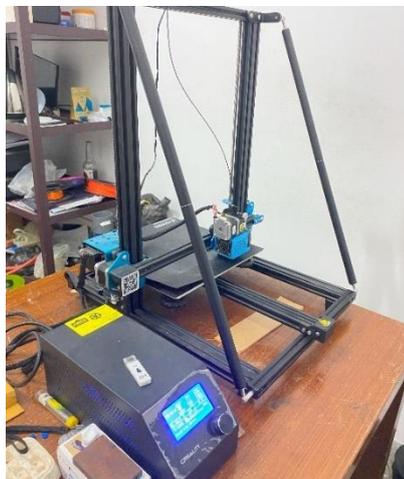
Gambar 3.5 Laptop

Laptop merupakan suatu perangkat komputasi portable atau komputer dengan ukuran relatif kecil seperti gambar 3.5 yang digunakan untuk mendesain, memprogram, serta mensimulasikan pergerakan robot lengan. Berikut merupakan spesifikasi laptop yang digunakan pada penelitian robot lengan ini adalah pada tabel 3.5:

Tabel 3.5 Spesifikasi Laptop

Model/Type	Asus Tuf Gaming F15
Processor	Intel(R) Core(TM) i7-10870H CPU @ 2.20GHz 2.21 GHz
Ram	8.00 GB
Operation System	Windows 10 Home Single Language

## 6. Printer 3D



Gambar 3.6 Printer 3D

Printer 3D pada gambar 3.6 adalah mesin printer yang dapat mencetak objek berupa 3 dimensi dengan melalui penggambaran *CAD* terlebih dahulu, dalam penelitian ini printer 3D digunakan untuk membuat *base*, *body*, serta *end effector* pada robot. Berikut merupakan spesifikasi printer 3D yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada tabel 3.6:

Tabel 3.6 Spesifikasi Printer 3D

Model/Type	CR-10 V3
Print Size	300mm x 300mm x 400mm
Print Precision	± 0.05 mm

Print Speed	Reguler 60-80 mm/s, Max 150-200 mm/s
Power Supply	24V/350W

#### 7. Kompresor Udara (*Air Compressor*)



Gambar 3.7 Kompresor Udara

Kompresor udara seperti gambar 3.7 adalah sebuah alat yang menghasilkan udara bertekanan dengan cara mengkompresikan atau menghisap udara dengan tekanan tinggi dari luar untuk di kumpulkan pada tabung penyimpanan dengan tujuan untuk mensuplai kebutuhan udara jika diperlukan, dalam penelitian ini kompresor udara digunakan untuk mensuplai udara pada tabung penyimpanan. Berikut merupakan spesifikasi Kompresor udara yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada tabel 3.7:

Tabel 3.7 Spesifikasi Kompresor Udara

Model/Type	Pro-Quip QXA12
Daya/Power	600 W/0.75 HP
Voltase	220 V/50 Hz
Volume	150 L/Min
Kapasitas Tangki	12 Liter
Tekanan Maksimal	8.0 Bar
Kecepatan Rotasi	2850 Rpm

## 8. Tang



Gambar 3.8 Tang

Tang seperti gambar 3.8 adalah peralatan perkakas yang khusus digunakan untuk memegang, memotong, melepas, dan memasang sesuatu pada benda kerja, dalam penelitian ini tang digunakan sebagai alat bantu untuk memegang, memotong, atau melepas pasang sesuatu pada robot lengan.

## 9. Obeng



Gambar 3.9 Obeng

Obeng pada gambar 3.9 adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengencangkan dan mengendurkan sekrup atau baut, dalam penelitian ini obeng digunakan untuk membantu merakit robot lengan dengan mengencangkan sekrup pada body robot.

## 10. Kikir



Gambar 3.10 Kikir

Kikir adalah salah satu bagian dari peralatan perkakas tangan seperti gambar 3.10 yang berguna untuk meratakan, membentuk, serta menghaluskan suatu permukaan atau bidang pada benda kerja, dalam penelitian ini kikir digunakan untuk menghaluskan dan meratakan permukaan pada body robot.

## 11. Kunci L (*Allen*)



Gambar 3.11 Kunci L/*Allen*

Kunci *allen* adalah suatu alat atau tools spesial yang dimana kunci ini seperti gambar 3.11 digunakan untuk mengencangkan maupun melonggarkan baut yang kepala bautnya berbentuk bulat tetapi didalamnya terdapat lubang yang berbentuk segienam, dalam penelitian ini kunci allen digunakan untuk memasang atau

melepaskan *nipple drat fitting pneumatic* dengan penutup tabung tempat penyimpanan cat.

## 12. Kunci Ring Pas



Gambar 3.12 Kunci Ring Pas

Kunci ring pas pada gambar 3.12 adalah suatu hand tools atau perkakas tangan yang biasanya digunakan untuk memasang atau melepaskan baut dan mur yang kepala baut dan murnya berbentuk segienam dengan berbagai ukuran, dalam penelitian ini kunci ring pas digunakan untuk mengencangkan dan mengendurkan *nipple* kuningan pada tabung penyimpanan udara.

## 13. Gerjaji Besi



Gambar 3.13 Gerjaji Besi

Gergaji besi pada gambar 3.13 merupakan salah satu perkakas tangan yang digunakan untuk memotong material seperti besi, pvc, maupun triplek, gergaji ini memiliki mata potong yang bergerigi

halus dan rapat. Dalam penelitian ini gergaji besi digunakan untuk memotong pipa pvc pada tabung tempat penyimpanan cat.

#### 14. Tap Tangan (*Hand Tap*)



Gambar 3.14 Tap Tangan

Hand tap atau tap tangan adalah sebuah alat tangan atau tools yang bekerja dengan proses penyayatan berfungsi untuk membuat ulir pada lubang yang telah dilubangi dengan prinsip kerja yang sama dengan proses pengeboran, dalam penelitian ini hand tap pada gambar 3.14 diperlukan untuk membuat ulir pada tutup tempat penyimpanan cat yang telah dilubangi.

#### 15. Jangka Sorong (*Digital Sigmat*)



Gambar 3.15 *Digital Sigmat*

Jangka sorong pada gambar 3.15 adalah salah satu alat ukur skala kecil yang digunakan untuk mengetahui panjang, diameter luar, diameter dalam, serta mengukur kedalaman lubang pada sebuah

benda kerja tertentu, dalam penelitian ini jangka sorong dibutuhkan untuk mengukur bagian – bagian pada robot lengan agar menciptakan hasil perhitungan yang presisi. Berikut merupakan spesifikasi jangka sorong yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

Tabel 3.8 Spesifikasi *Digital Sigmat*

Size	0 – 300 mm (12”)
Minimum Indication	0.01 mm/0.0005 inch
Material	Stainless Hardened
Battery Type	Lr44

### 3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian *End Effector Nozzle* Cat Dan Sistem Penyemprotan Pada Robot Lengan adalah sebagai berikut :

1. Arduino Nano



Gambar 3.16 Arduino Nano

Pada gambar 3.16 arduino nano adalah perangkat keras yang digunakan untuk mengendalikan komponen elektronika seperti motor servo dengan cara menginput suatu bahasa pemrograman kedalamnya. Berikut merupakan spesifikasi Arduino yang digunakan pada penelitian robot lengan ini adalah pada tabel 3.9 :

Tabel 3.9 Spesifikasi Arduino Nano

Mikrokontroler	ATmega 328P
Tegangan Kerja	5V atau 3,33V

Kecepatan Clock	16 Mhz
Memori	32 KB
Bootloader	SRAM 2 KB
EEPROM	1 KB
I/O	22 pin (14 pin digital, 8 pin analog)
Komunikasi	UART, 12C, SPI
Dimensi	18 x 45 mm

## 2. Motor Servo



Gambar 3.17 Motor Servo

Motor servo adalah suatu motor yang bekerja dengan mekanisme loop tertutup serta menggunakan umpan balik posisi untuk mengontrol gerakan dan posisi akhirnya, pada penelitian ini motor servo pada gambar 3.17 diperlukan sebagai penggerak atau aktuator pada robot lengan. Berikut merupakan spesifikasi motor servo yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada tabel 3.10:

Tabel 3.10 Spesifikasi Motor servo

Type	Servo MG996R
Weight	55 g
Dimension	40.7 x 19.7 x 42.9 mm
Stall Torque	11 kgf.cm
Operating Speed	0.17 s/60° ~ 0.14 s/60°
Operating Voltage	4.8 v ~ 7.2 v

### 3. Extention Arduino Nano Board



Gambar 3.18 Extantion Arduino Nano Board

Extention arduino nano board adalah sebuah papan atau board tambahan yang dibikin khusus untuk arduino nano yang berguna untuk memperbanyak slot pin agar memudahkan penyambungan pin dalam jumlah yang banyak. Dalam penelitian ini extention Arduino nano board seperti gambar 3.18 digunakan untuk memudahkan penyambungan atau pemasangan pin dengan jumlah yang banyak.

### 4. *Relay*



Gambar 3.19 *Relay*

*Relay* seperti gambar 3.19 adalah sebuah komponen elektronika yang mempunyai prinsip seperti saklar dengan elektromagnetik yang dapat menggerakkan kontaktor agar memindahkan ON dan OFF dengan menggunakan tenaga listrik,

dalam penelitian ini *relay* digunakan sebagai saklar otomatis yang diprogram oleh Arduino untuk mematikan dan menghidupkan solenoid valve. Berikut merupakan spesifikasi *relay* yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada tabel 3.11:

Tabel 3.11 Spesifikasi *Relay*

Maximum Load	Ac 250V/10A, Dc 30V/10A
Channel	1
Working Voltage	5V
Weight	60 gram

### 5. *Solenoid Valve Dc*



Gambar 3.20 *Solenoid Valve Dc*

*Solenoid valve* adalah sebuah kran atau katup otomatis yang dikendalikan oleh arus AC maupun DC, seperti gambar 3.20 katup ini pada umumnya digunakan untuk sistem hidrolik, pneumatik, maupun sistem kontrol mesin yang memerlukan elemen kontrol otomatis, dalam penelitian ini *solenoid valve dc* digunakan sebagai kran otomatis untuk mengatur udara masuk maupun keluar pada tabung penyimpanan cat. Berikut merupakan spesifikasi *solenoid valve dc* yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada tabel 3.12:

Tabel 3.12 Spesifikasi *Solenoid Valve Dc*

Model	2ACK-1/4-12VDC-GValve
Type	2 Way Normally Closed (NC)
Power/Daya	DC 12 V 6.5 W
Material	Anodized Aluminium Seal
Operating Pressure	Vacuum to 115 PSI

## 6. Kabel



Gambar 3.21 Kabel

Kabel adalah suatu alat yang digunakan untuk mentransmisikan sebuah sinyal dari satu tempat ke tempat lainnya, dalam penelitian ini kabel seperti gambar 3.21 dibutuhkan sebagai penghubung arus dari mikrokontroler, motor servo, *end effector*, hingga berbagai pendukung perangkat elektronik lainnya.

## 7. Adaptor (*Power Supply*)



Gambar 3.22 Adaptor/*Power Supply*

Adaptor adalah sebuah rangkaian elektronika seperti gambar 3.22 yang berfungsi untuk pengubah tegangan (arus bolak – balik) AC yang tinggi ke (arus searah) DC yang rendah, dalam penelitian ini adaptor digunakan untuk menghidupkan *relay* yang akan menyalakan *solenoid valve* serta sebagai power untuk menghidupkan motor servo dan arduino. Berikut merupakan

spesifikasi adaptor yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada tabel 3.13 :

Tabel 3.13 Spesifikasi Adaptor/*Power Supply*

Model/Type	S-120-12
AC Input	110/220 V $\pm$ 15%
DC Output	12V 10A
Size	200 x 100 x 45 mm

#### 8. *Air Filter Regulator*



Gambar 3.23 *Air Filter Regulator*

*Air filter regulator* seperti gambar 3.23 merupakan sebuah komponen yang biasa terdapat pada kompressor dengan fungsi yaitu dapat menyesuaikan tekanan udara keluar dari kompressor sesuai yang diinginkan, serta mampu menyaring udara maupun air yang dihasilkan oleh kompressor. Berikut adalah spesifikasi *air filter regulator* yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada tabel 3.14:

Tabel 3.14 Spesifikasi *Air Filter Regulator*

Brand/Model	AIRTAC
Type	BFR 2000
Drat	$\frac{1}{4}$ inch
Rated Flow	1165 L/min
Proof Pressure	1.5 Mpa
Max.Working Pressure	1.0 Mpa
Working Temperature	5 - 60°C
Pressure Adjusting Range	0.05 – 0.85 Mpa

## 9. Manometer (*Pressure Gauge*)



Gambar 3.24 Manometer/*Pressure Gauge*

Manometer adalah sebuah alat ukur yang pada umumnya digunakan untuk mengukur tingkat tekanan suatu cairan atau gas pada ruang hampa, dalam penelitian ini manometer pada gambar 3.24 digunakan untuk mengukur tekanan udara pada tabung penyimpanan udara. Berikut merupakan spesifikasi *pressure gauge* yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada tabel 3.15 :

Tabel 3.15 Spesifikasi Manometer/*Pressure Gauge*

Merk/Brand	TEKIRO
Type	AU-PG0990
Kapasitas Maksimal	25 Bar/350 Psi
Ukuran Drat	1/4"
Ukuran Kaca	2.5 (2 1/2)"
Berat	120 Gram

## 10. Nozzle Sprayer



Gambar 3.25 *Nozzle Sprayer*

Pada gambar 3.25 *nozzle sprayer* adalah alat yang dirancang untuk menentukan arah dan karakteristik aliran suatu fluida, khususnya untuk meningkatkan tekanan atau kecepatan fluida yang

keluar. Dalam penelitian ini *nozzle sprayer* digunakan sebagai end effector pada robot lengan.

#### 11. Selang PU (*Polyurethane*)



Gambar 3.26 Selang PU (*Polyurethane*)

Selang PU adalah selang yang pada umumnya digunakan untuk selang pneumatik, selang ini berbahan *polyurethane* yaitu sebuah bahan khusus yang tahan terhadap sebuah tekanan, gesekan, maupun zat kimia ringan. Dalam penelitian ini selang PU pada gambar 3.26 digunakan untuk mengalirkan udara bertekanan ke dalam tabung penyimpanan cat hingga menyalurkan cat keluar melalui *nozzle*.

#### 12. *Dobel Nipple*



Gambar 3.27 *Dobel Nipple*

*Dobel nipple* adalah sebuah jenis fitting pipa yang digunakan untuk menghubungkan dua ujung pipa dengan ulir luar (*male thread*) dalam posisi sejajar, dalam penelitian ini *dobel nipple* pada gambar 3.27 digunakan sebagai dudukkan pentil ban dengan cara di las untuk menghubungkan pentil ban dengan tabung penyimpanan

udara. Berikut merupakan spesifikasi *doubel nipple* yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada tabel 3.16 :

Tabel 3.16 Spesifikasi *Doubel Nipple*

Merk	ONDA
Ukuran	1/4"
Material	Kuningan (Brass)

### 13. Tee Nipple



Gambar 3.28 Tee Nipple

*Tee nipple* adalah fitting yang memiliki bentuk seperti huruf “T” seperti gambar 3.28 dan digunakan untuk menghubungkan tiga pipa atau saluran, dalam penelitian ini *tee nipple* dibutuhkan untuk menyambungkan antara tabung penyimpanan udara dengan manometer atau *pressure gauge* serta sebagai saluran output udara. Berikut merupakan spesifikasi *tee nipple* yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada tabel 3.17 :

Tabel 3.17 Spesifikasi *Tee Nipple*

Merk	ONDA
Ukuran	1/4"
Material	Kuningan (Brass)

#### 14. Ball Valve



Gambar 3.29 Ball Valve

*Ball valve* adalah jenis katup atau *valve* yang memiliki bentuk seperti bola biasa digunakan untuk mengatur aliran fluida berupa air atau gas, dalam penelitian ini ball valve pada gambar 3.29 digunakan untuk membuka atau menutup aliran keluar udara bertekanan dari tabung penyimpanan udara. Berikut merupakan spesifikasi *ball valve* yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada tabel 3.18:

Tabel 3.18 Spesifikasi *Ball Valve*

Merk	HATO
Material	Kuningan (Brass)
Ukuran	1/4 inchi

#### 15. Nipple Pneumatik



Gambar 3.30 Nipple Pneumatik

*Nipple pneumatic* pada gambar 3.30 adalah sebuah fitting untuk menghubungkan berbagai elemen dalam sistem pneumatik seperti pipa, selang, atau aktuator. Dalam penelitian ini nipple pneumatik dibutuhkan untuk menghubungkan antara selang dengan *nozzle* maupun menghubungkan selang dengan tempat penyimpanan

cat. Berikut merupakan spesifikasi nipple pneumatik yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada tabel 3.19 :

Tabel 3.19 Spesifikasi Nipple Pneumatik

Model	Straight Slip Lock Drat Male
Ukuran	Pc 6 mm x Drat 1/8"
Material	Plastic Alumunium

#### 16. Dop Pipa



Gambar 3.31 Dop Pipa

Dop pipa pada gambar 3.31 adalah sebuah perlengkapan perpipaan yang biasanya digunakan untuk menghentikan aliran atau menutup aliran suatu fluida di dalam pipa, dalam penelitian ini dop pipa pvc digunakan sebagai alas atau penutup bawah pada tabung penyimpan cat. Berikut merupakan spesifikasi dop pipa pvc yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada tabel 3.20:

Tabel 3.20 Spesifikasi Dop Pipa

Merk/Model	RUCIKA
Type	Polos
Ukuran	1½" (1.5 inch)
Material	PVC

## 17. Dop Drat Pipa



Gambar 3.32 Dop Drat Pipa

Dop drat pipa memiliki persamaan seperti dop pipa pada umumnya yang berguna untuk menghentikan aliran suatu perpipaan, namun pada gambar 3.32 dop drat pipa mempunyai perbedaan sedikit dimana adanya ulir atau drat yang berfungsi dapat di lepas pasang atau tidak permanen seperti dop biasa, dalam penelitian ini dop drat pipa digunakan sebagai penutup tabung penyimpanan cat. Berikut merupakan spesifikasi dop drat pipa yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada tabel 3.21 :

Tabel 3.21 Spesifikasi Dop Drat Pipa

Merk/Model	G Brand
Type	Drat Dalam
Ukuran	1½" (1.5 inch)
Material	Galvanis

## 18. Pipa Pvc

Pipa pvc adalah sebuah perpipaan yang dimana pada gambar 3.33 umumnya untuk menyalurkan air dll, dengan jenis bahan berupa PVC (*Poly Vinyl Chloride*) yaitu thermoplastik yang dipanaskan kemudian di cetak menjadi berbagai bentuk seperti pipa dan sambungannya.



Gambar 3.33 Pipa Pvc

Dalam penelitian ini pipa pvc digunakan sebagai body pada tabung penyimpanan cat. Berikut merupakan spesifikasi pipa pvc yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada tabel 3.22 :

Tabel 3.22 Spesifikasi Pipa Pvc

Merk	WAVIN
Type	AW
Ukuran	1 ½" (1.5 inch)
Material	PVC

#### 19. Sock Drat Luar



Gambar 3.34 Sock Drat Luar

Sock drat luar adalah suatu jenis fitting perpipaan seperti gambar 3.34 untuk memperpanjang pipa dengan cara menyambungkannya secara lurus antara pipa satu dengan pipa lainnya sedangkan pada sisi satunya dapat digunakan untuk menyambungkan *valve* atau dop, dalam penelitian ini sock drat luar

digunakan sebagai penutup atas atau bagian atas pada tabung penyimpanan cat. Berikut merupakan spesifikasi sock drat luar yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada tabel 3.23:

Tabel 3.23 Spesifikasi Sock Drat Luar

Merk	RUCIKA
Type	AW Sock Drat Luar (SDP)
Ukuran	1 ½” (1.5 inch)
Berat	0.1 Kg
Material	PVC

## 20. Filamen Printer 3D



Gambar 3.35 Filamen Printer 3D

Filamen Printer 3D adalah bahan baku pada printer 3D untuk membuat sesuatu objek 3 dimensi, dalam penelitian ini filamen pada gambar 3.35 dibutuhkan sebagai bahan baku untuk membuat *base*, *body* serta *end effector* pada robot. Berikut merupakan spesifikasi filamen printer 3D yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada tabel 3.24 :

Tabel 3.24 Spesifikasi Filamen Printer 3D

Merk	SUNLU
Material	PLA+
Diameter	1.75 mm
Roundness Tolerance	0.01 – 0.02 mm
Print Temperature	205 - 220°C
Print Bed Temperature	30 - 40°C
Weight	1000 gram

## 21. Sekrup



Gambar 3.36 Sekrup

Pada gambar 3.36 adalah sebuah batang yang memiliki alur heliks pada permukaannya berfungsi sebagai pengikat untuk menahan dua objek bersama.

## 22. Mur



Gambar 3.37 Mur

Mur adalah sebuah pengikat yang mempunyai lubang berulir di dalamnya, benda ini biasanya digunakan bersamaan dengan baut agar dapat mengikat suatu benda tertentu secara bersama. Dalam penelitian ini mur pada gambar 3.37 dipergunakan sebagai pasangan pengikat *fitting pneumatic* agar dapat mengikat pada tutup tempat penyimpanan cat.

### 23. Lem Pvc



Gambar 3.38 Lem PVC

Lem pvc pada gambar 3.38 adalah sebuah *zat adhesive* khusus berbentuk cairan yang berfungsi untuk merekatkan pipa dengan sambungannya.

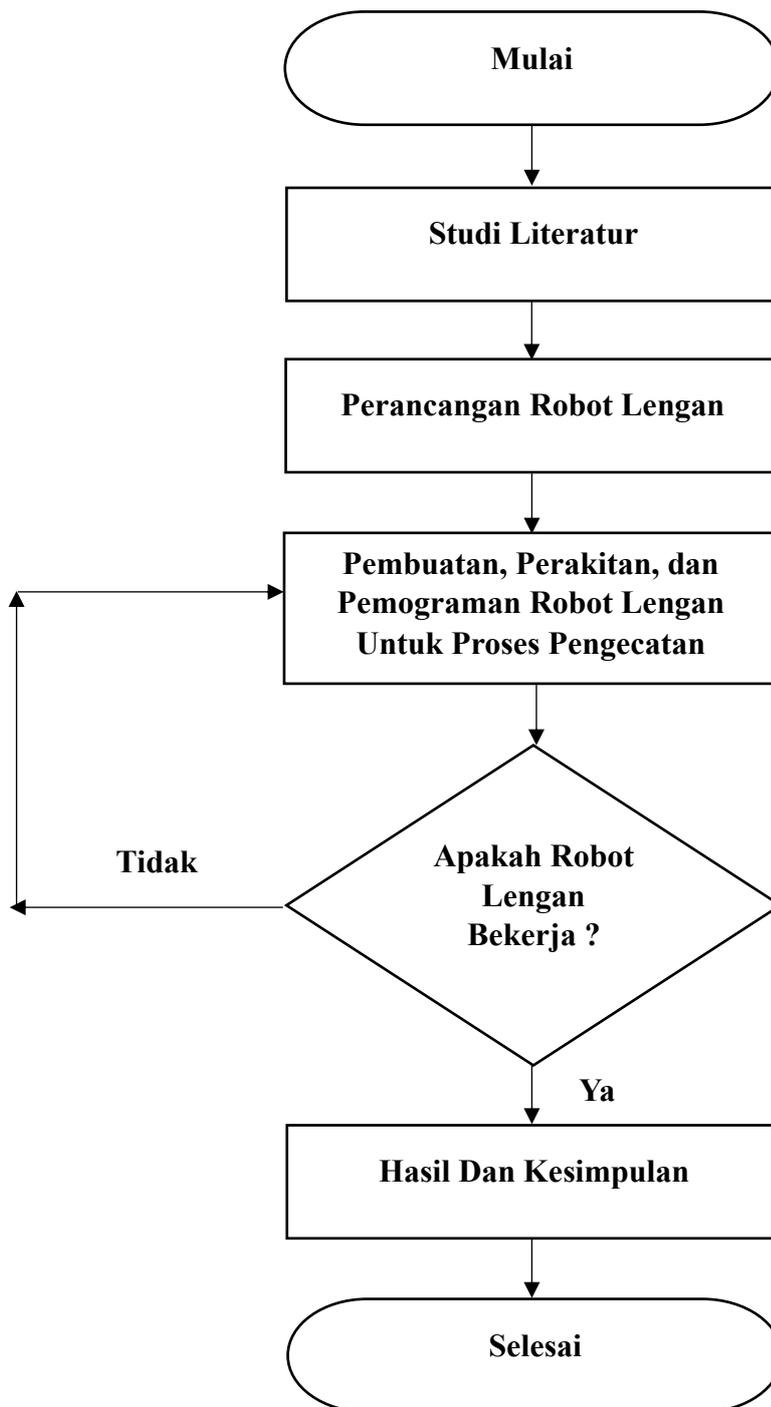
### 24. Tabung Penyimpanan Udara



Gambar 3.39 Tabung Penyimpanan Udara

Tabung penyimpanan udara seperti pada gambar 3.39 merupakan sebuah bejana yang digunakan untuk menyimpan udara terkompresi sebelum masuk ke dalam sistem perpipaan atau selang.

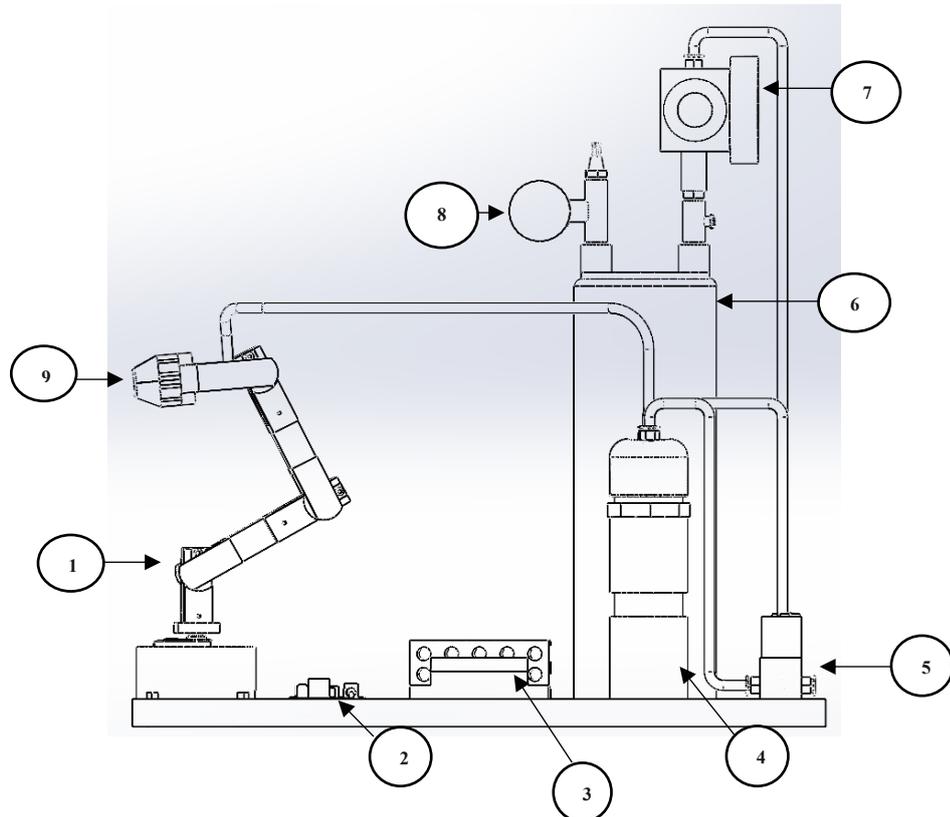
### 3.3 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.40 Bagan Alir Penelitian

### 3.4 Rancangan Alat Penelitian

Rancangan alat ini dibuat dengan menggunakan software *CAD solidwork* sebagai acuan dalam pembuatan robot lengan.



Gambar 3.41 Rancangan Alat Penelitian

Keterangan :

1. Lengan Pada Robot
2. *Relay*
3. *Power Supply*
4. Tabung Penyimpanan Cat
5. *Solenoid Valve*
6. Tabung Penyimpanan Udara
7. *Air Filter Regulator*
8. Manometer (*Pressure Gauge*)
9. *Nozzle Sprayer*

### 3.5 Prosedur Penelitian

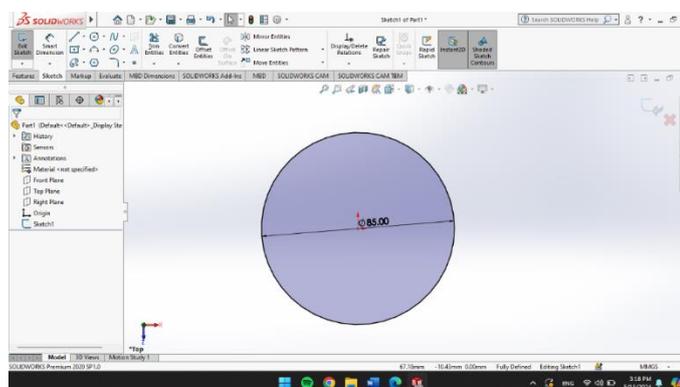
Adapun prosedur penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

#### 3.5.1 Prosedur Perancangan

1. Menentukan jenis dan desain robot lengan serta mencari referensi yang sesuai.
2. Membuat sketsa dasar gambar robot lengan dikertas gambar.
3. Menyiapkan aplikasi *SolidWork* sebagai aplikasi gambar *CAD*.
4. Menggambar bagian-bagian robot lengan menggunakan *SolidWork* sesuai dengan sketsa dasar gambar yang telah dibuat.
5. Menyesuaikan ukuran bagian-bagian robot lengan.
6. Melakukan *assembly* bagian-bagian robot lengan agar membentuk satu kesatuan robot lengan yang utuh.
7. Melakukan koreksi atau perbaikan gambar apabila ditemukan kesalahan pada saat *assembly* gambar.
8. Menyimpan gambar yang telah sesuai dalam formal file *.STL* (*Stereolithography Mesh*).
9. Menyesuaikan model gambar 3D rancangan robot lengan dalam bentuk format *.stl* menggunakan aplikasi *Creality Slicer* untuk diprint 3D.
10. Menyimpan file gambar dalam format *.gcode* (*G-code toolpath*).

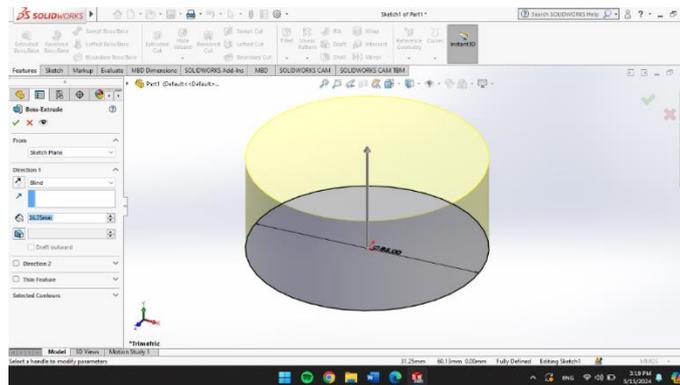
#### 3.5.2 Prosedur Penggambaran *CAD* Robot Lengan

1. Menyiapkan Plane Gambar Bagian *Base* Dengan Membuat Lingkaran Berdiameter 85 mm.



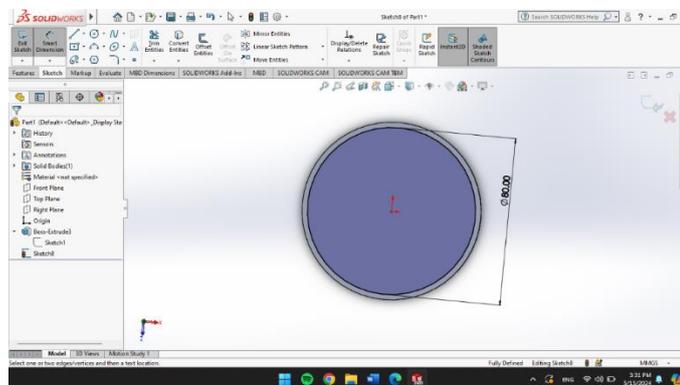
Gambar 3.42 Lingkaran Dasar *Base*

- Melakukan Perintah *Extrude Boss* Dengan Ketinggian Sebesar 36.75 mm.



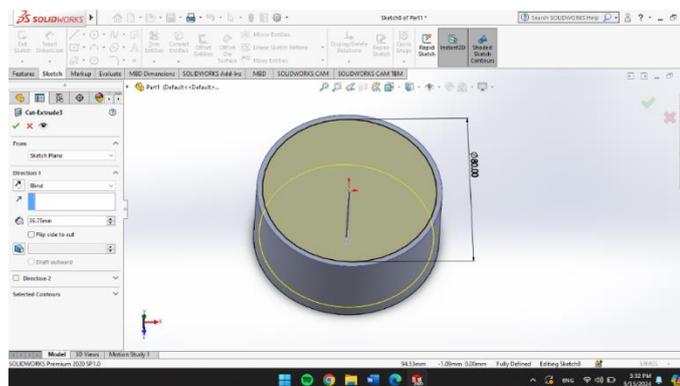
Gambar 3.43 *Extruded* Lingkaran Dasar *Base*

- Menggambar Lingkaran Pada Bagian Atas Dengan Ukuran Diameter 80 mm.



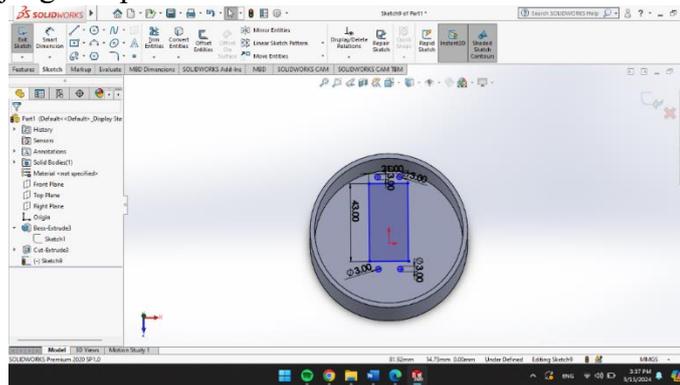
Gambar 3.44 Lingkaran Dalam *Base*

- Melakukan *Extrude Cut* Pada Sketsa Dengan Kedalaman 36.65 mm.



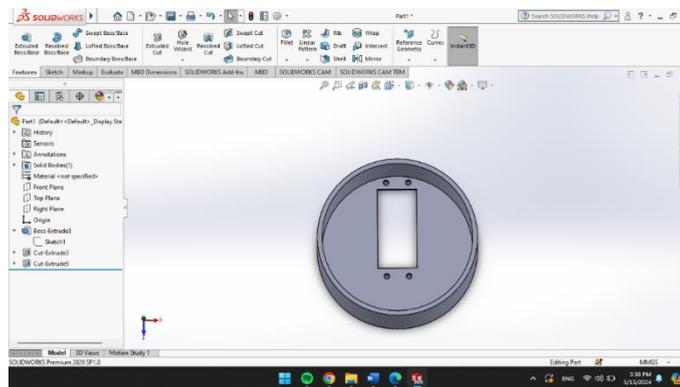
Gambar 3.45 *Extruded Cut* Lingkaran Dalam

5. Melakukan Penggambaran Sketsa Di dalamnya Dengan Bentuk Persegi Panjang Tempat Meletakkan Motor Servo.



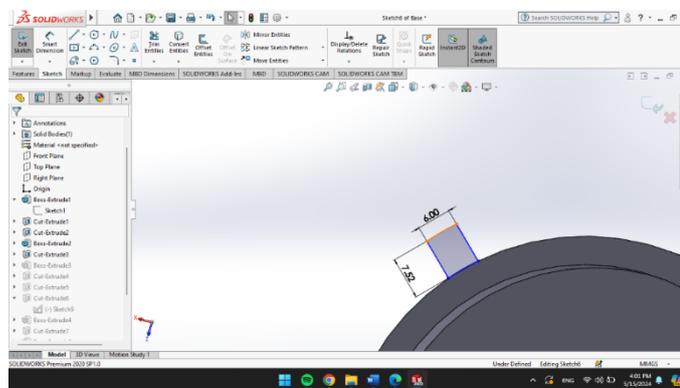
Gambar 3.46 Sketsa Kotak Tempat Motor Servo

6. Hasil Penggambaran Tempat Meletakkan Motor Servo.



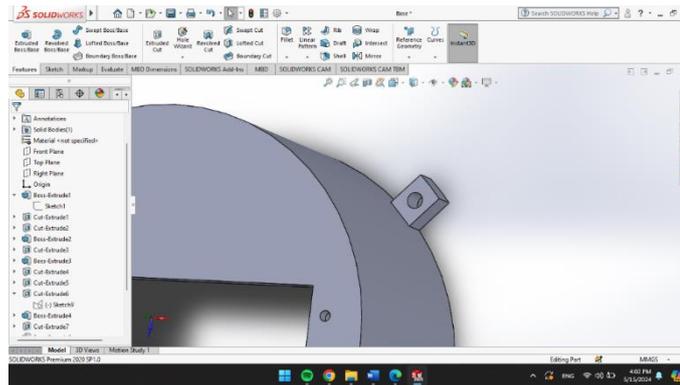
Gambar 3.47 Hasil *Extruded Cut* Tempat Motor Servo

7. Melakukan Penggambaran Sketsa Rumah Skrup Untuk Mengikat Base Pada Platform.



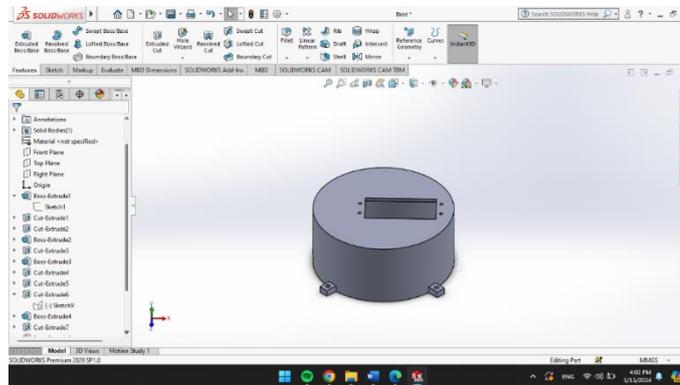
Gambar 3.48 Sketsa Gambar Rumah Skrup Base

8. Hasil Gambar Rumah Skrup Tempatkan Untuk Mengikat *Base* Pada Platform.



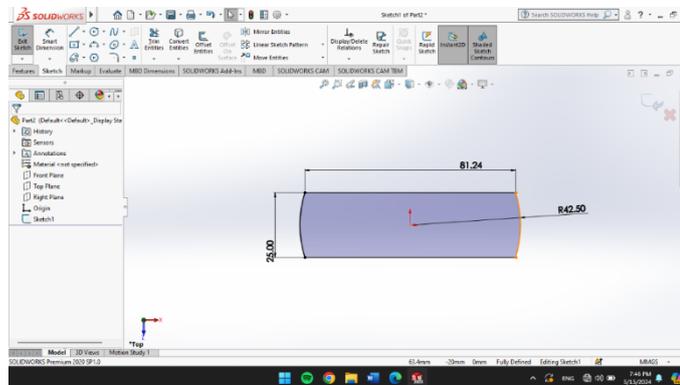
Gambar 3.49 Hasil *Extruded* Sketsa Rumah Skrup Base

9. Hasil Akhir Dari Penggambaran Bagian *Base* Pada Robot Lengan.



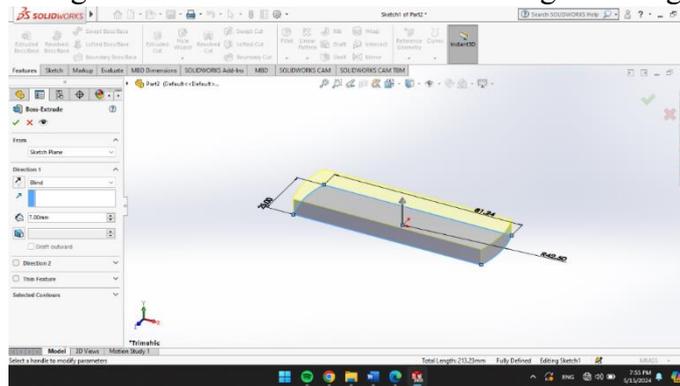
Gambar 3.50 Hasil Gambar Bagian *Base*

10. Melakukan Penggambaran Sketsa Bagian Bawah Dari Bagian *Upper Base*.



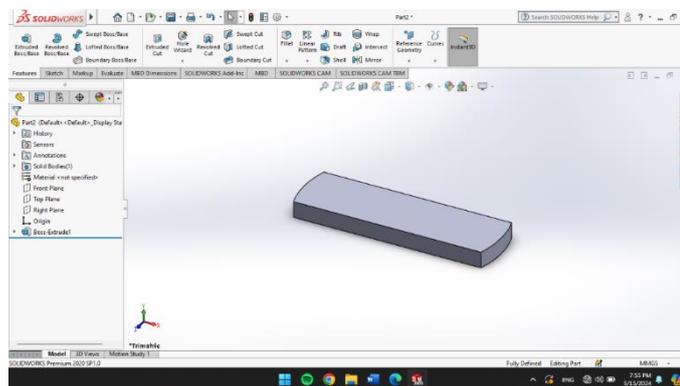
Gambar 3.51 Sketsa Bagian Bawah *Upper Base*

11. Mengextruded Boss Sketsa Tersebut Dengan Ketinggian 7 mm.



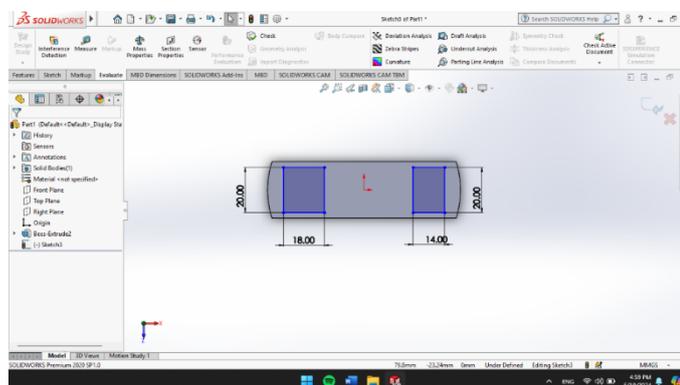
Gambar 3.52 Extruded Boss Bagian Bawah Upper Base

12. Hasil Extrude Bagian Dasar Dari Upper Base.



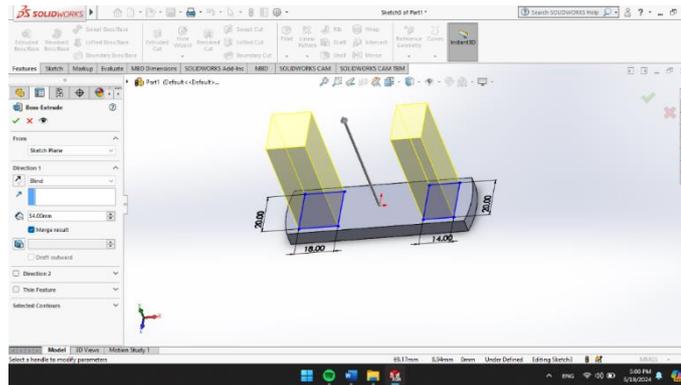
Gambar 3.53 Hasil Extrude Bagian Bawah Upper Base

13. Melakukan Penggambaran Sketsa Bagian Tiang Pada Upper Base.



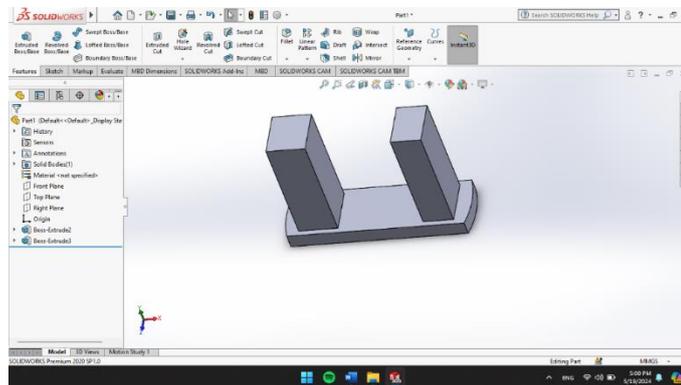
Gambar 3.54 Sketsa Bagian Tiang Pada Upper Base

14. Mengextruded Boss dengan Ketinggian 54 mm.



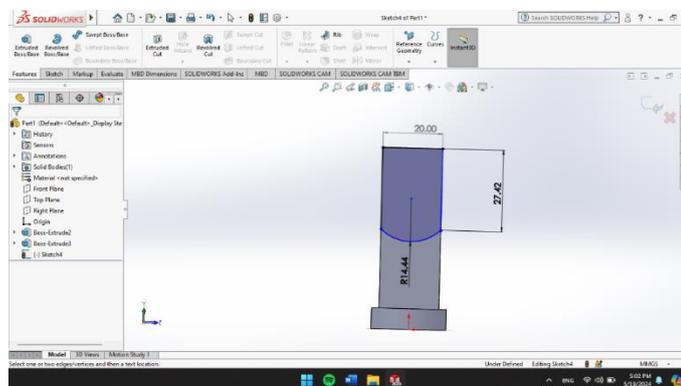
Gambar 3.55 Extrude Boss Bagian Tiang Upper Base

15. Hasil Extruded Bagian Tiang Dari Upper Base.



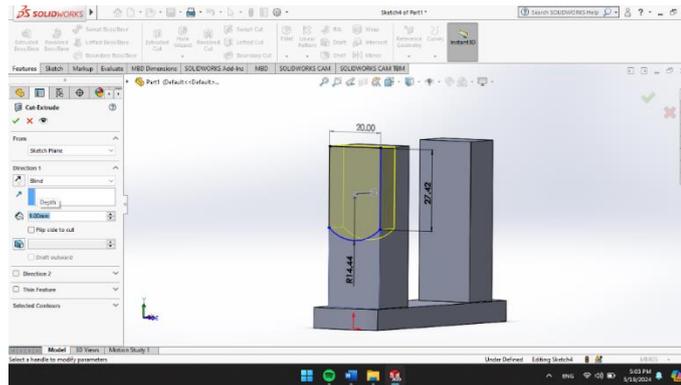
Gambar 3.56 Hasil Extruded Boss Bagian Tiang Upper Base

16. Menggambar Sisi Samping Kiri Dari Upper Base Tempat Untuk Menyambungkan Antara Upper Base Dengan Bagian Lengan.



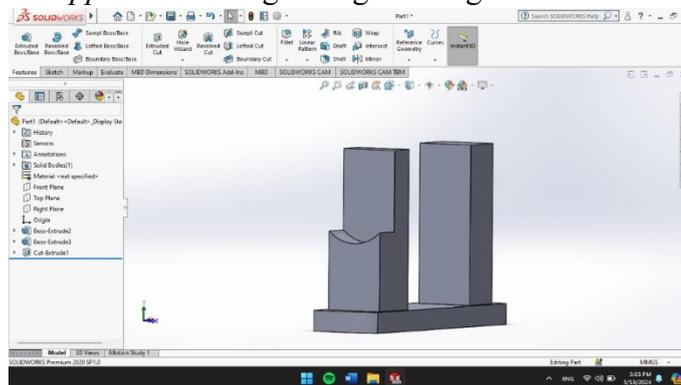
Gambar 3.57 Sketsa Sisi Samping Kiri Pada Upper Base

17. Mengextruded Cut Hasil Sketsa Dari Gambar Sisi Samping Kiri.



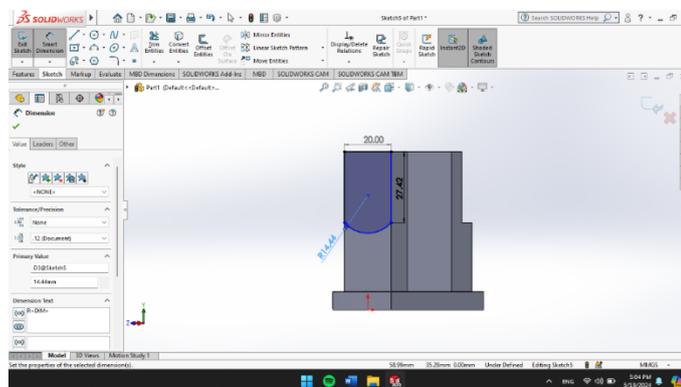
Gambar 3.58 Extruded Cut Sisi Samping Kiri Pada Upper Base

18. Hasil Extrude Cut Sisi Samping Kiri Tempat Untuk Menyambungkan Antara Upper Base Dengan Bagian Lengan.



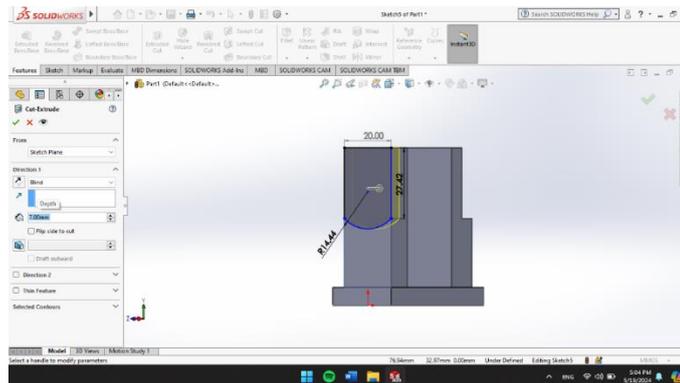
Gambar 3.59 Hasil Extruded Cut Sisi Samping Kiri Pada Upper Base

19. Melakukan Sketsa Penggambaran Sisi Satunya Lagi Pada Sisi Kanan.



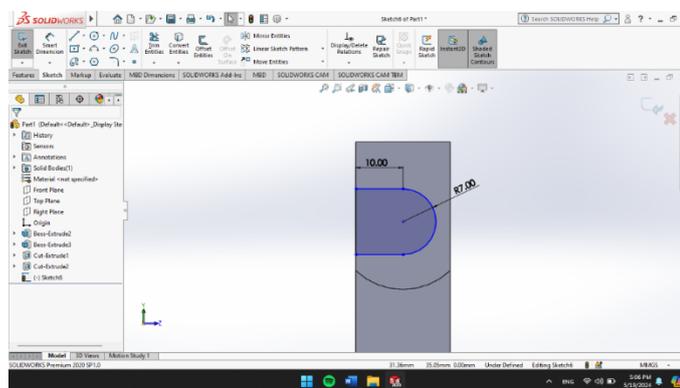
Gambar 3.60 Sketsa Sisi Samping Kanan Pada Upper base

20. Mengextruded Cut Dari Hasil Sketsa Pada Sisi Kanan Dengan Pemakanan Sebesar 7 mm.



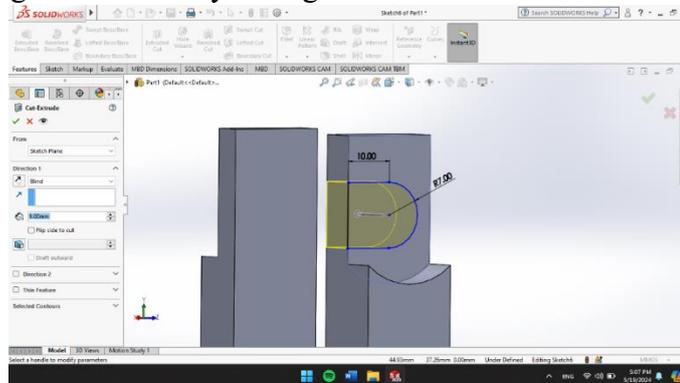
Gambar 3.61 *Extruded Cut* Sisi Samping Kanan Pada *Upper Base*

21. Setelah Selesai, Kemudian Melakukan Penggambaran Sketsa Untuk *Servo Horn* pada Sisi Kanan *Upper Base*.



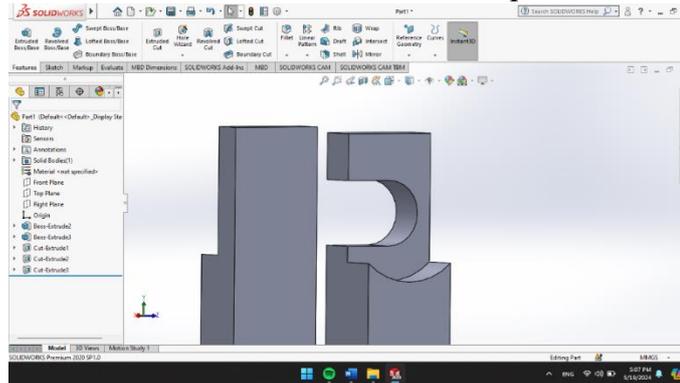
Gambar 3.62 Sketsa Gambar Rumah *Servo Horn* Pada Sisi Kanan *Upper Base*

22. Mengextruded Cutnya Dengan Kedalaman 9 mm.



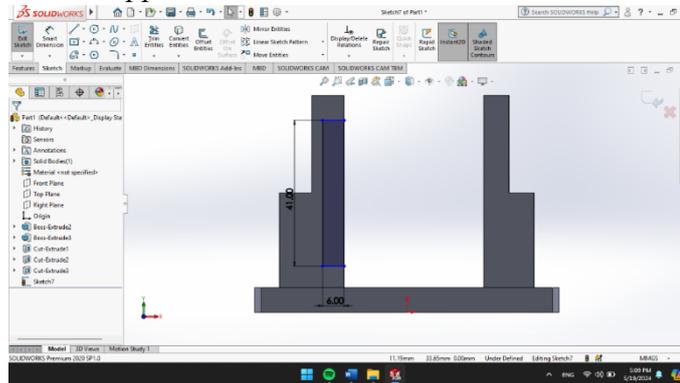
Gambar 3.63 *Extruded Cut* Rumah *Servo Horn* Pada Sisi Kanan *Upper Base*

23. Hasil Dari *Extruded Cut* Untuk *Servo Horn* pada Sisi Kanan *Upper Base*.



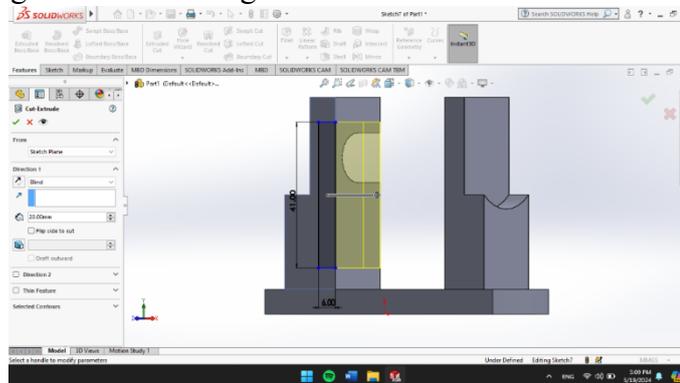
Gambar 3.64 Hasil *Extruded Cut* Rumah *Servo Horn* Pada Sisi Kanan *Upper Base*

24. Melakukan Penggambaran Sketsa Tempat Untuk Meletakkan Motor Servo Pada *Upper Base*.



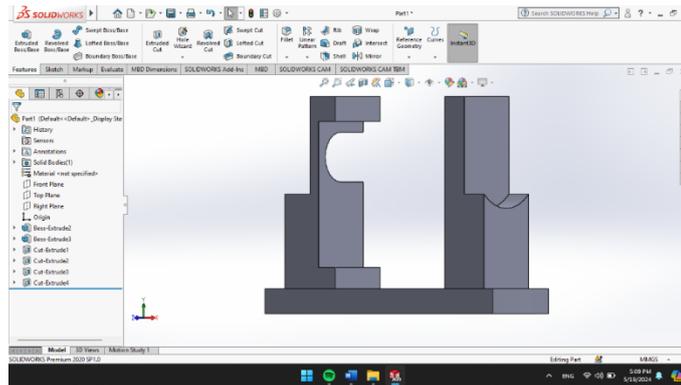
Gambar 3.65 Sketsa Gambar Tempat Meletakkan Motor Servo

25. Mengextrude Cut Dengan Kedalaman 20 mm.



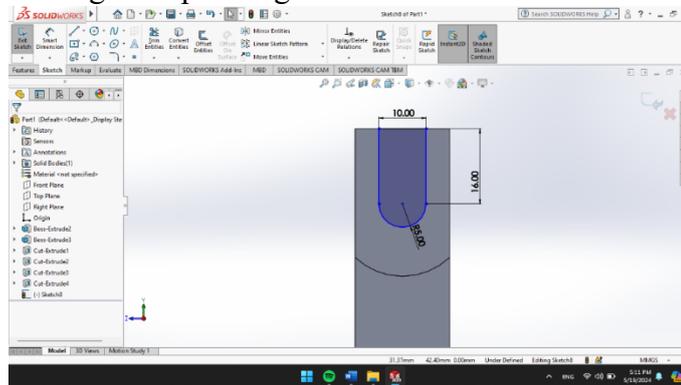
Gambar 3.66 *Extruded Cut* Tempat Meletakkan Motor Servo

26. Hasil *Extrude Cut* Tempat Untuk Meletakkan Motor Servo Pada *Upper Base*.



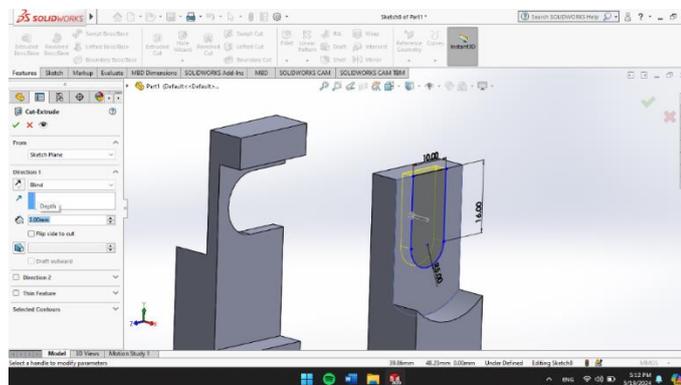
Gambar 3.67 Hasil *Extruded Cut* Tempat Meletakkan Motor Servo

27. Kemudian Melakukan Penggambaran Sketsa Rumah Engsel Tempat Robot Lengan Dapat Bergerak.



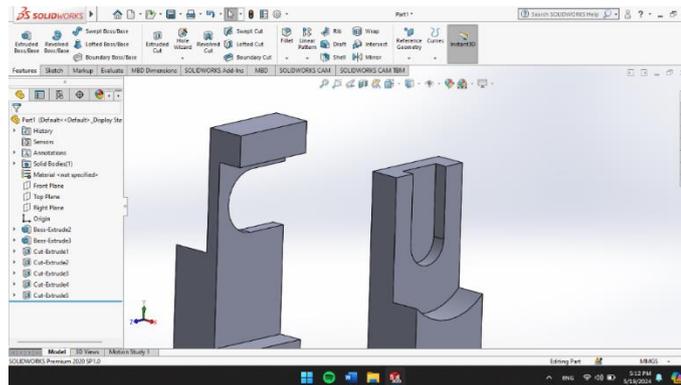
Gambar 3.68 Sketsa Rumah Engsel

28. Meng*extruded Cut*nya Dengan Kedalaman 3 mm.



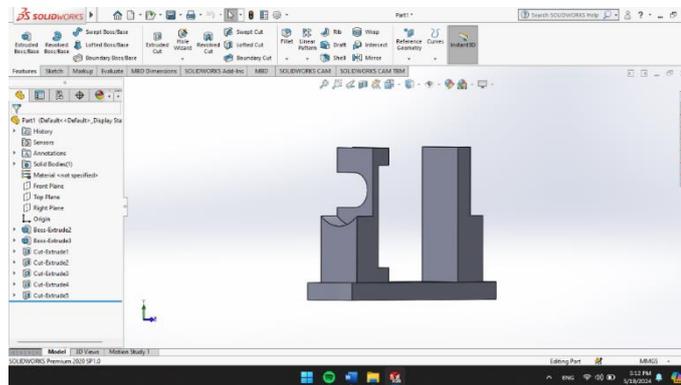
Gambar 3.69 *Extruded Cut* Rumah Engsel

29. Hasil *Extruded Cut* Dari Rumah Engsel Tempat Robot Lengan Dapat Bergerak.



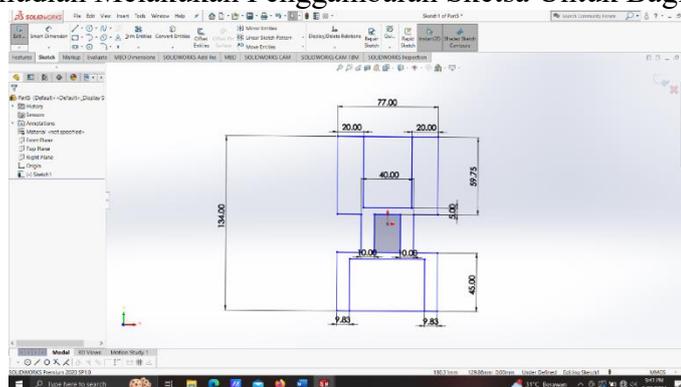
Gambar 3.70 Hasil *Extruded Cut* Rumah Engsel

30. Hasil Akhir Dari Penggambaran Bagian *Upper Base* Pada Robot Lengan.



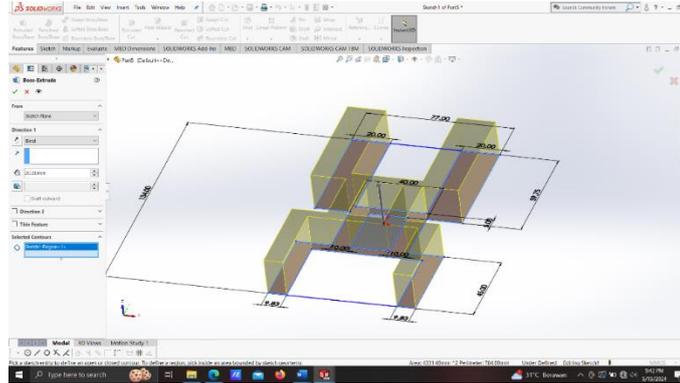
Gambar 3.71 Hasil Akhir Gambar *Upper Base*

31. Kemudian Melakukan Penggambaran Sketsa Untuk Bagian Lengan.



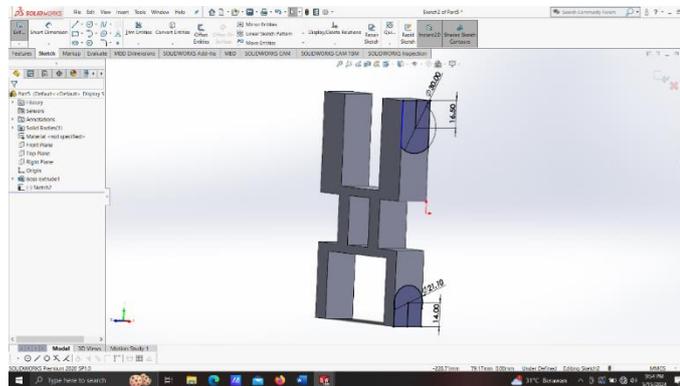
Gambar 3.72 Sketsa Bagian Lengan

32. Mengextruded Boss Hasil Sketsa Dengan Ketinggian 20 mm.



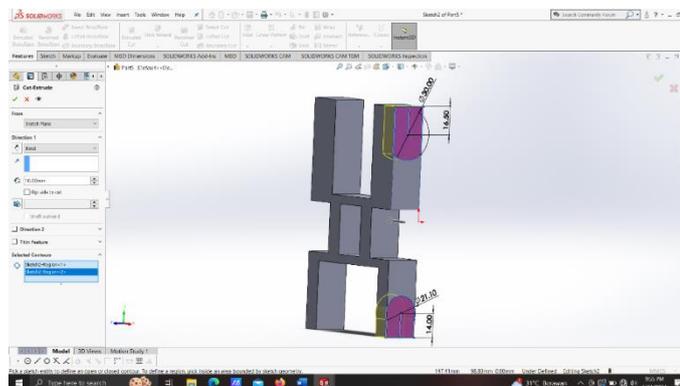
Gambar 3.73 Extruded Boss Bagian Lengan

33. Setelah Selesai Mengextrude Dilanjutkan Dengan Menggambar Sketsa Pada Sisi Kanan Bagian Lengan.



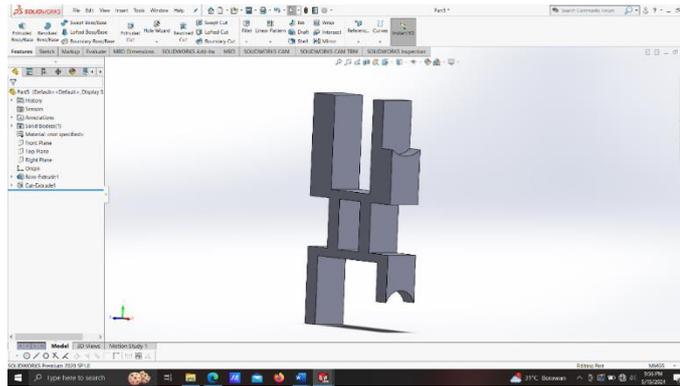
Gambar 3.74 Gambar Sketsa Pada Sisi Samping Kanan

34. Mengextruded Cut Dari Hasil Gambar Sketsa Pada Sisi kanan Dengan Kedalaman Sebesar 10 mm.



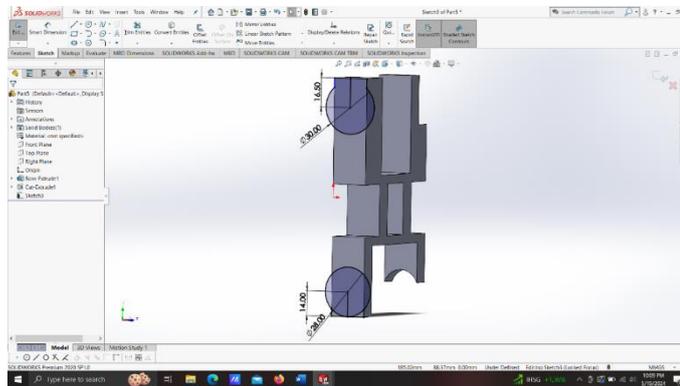
Gambar 3.75 Extruded Cut Pada Sisi Samping Kanan

35. Hasil Dari *Extruded Cut* Pada Sisi Kanan Bagian Lengan.



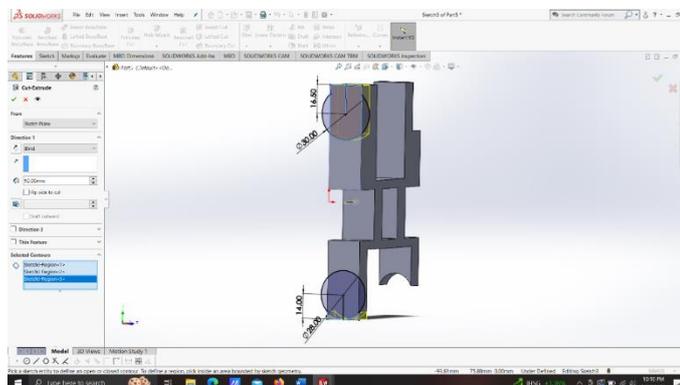
Gambar 3.76 Hasil *Extruded Cut* Sisi Samping Kanan

36. Kemudian Dilanjut Dengan Melakukan Penggambaran Sketsa Sisi Samping Kiri Pada Bagian Lengan.



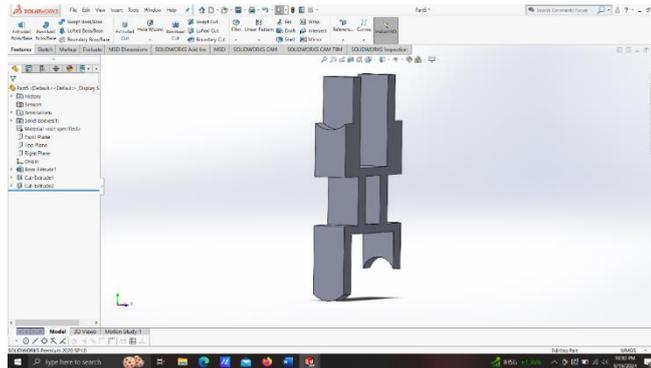
Gambar 3.77 Gambar Sketsa Pada Sisi Samping Kiri

37. Mengextruded *Cut* Hasil Sketsa Dengan Kedalaman 10 mm.



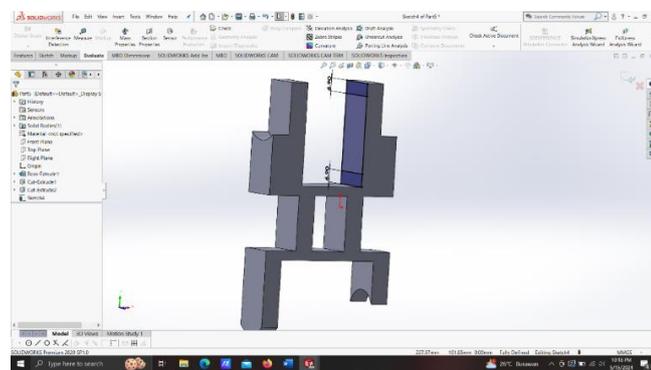
Gambar 3.78 *Extruded Cut* Pada Sisi Samping Kiri

38. Hasil *Extruded Cut* Dari Penggambaran Sketsa Sisi Samping Kiri Pada Bagian Lengan.



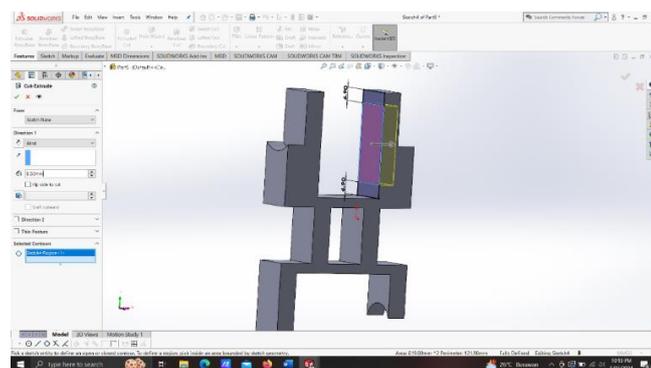
Gambar 3.79 Hasil *Extruded Cut* Pada Sisi Samping Kiri

39. Kemudian Dilanjut Dengan Melakukan Penggambaran Sketsa Tempat Untuk Meletakkan Motor Servo.



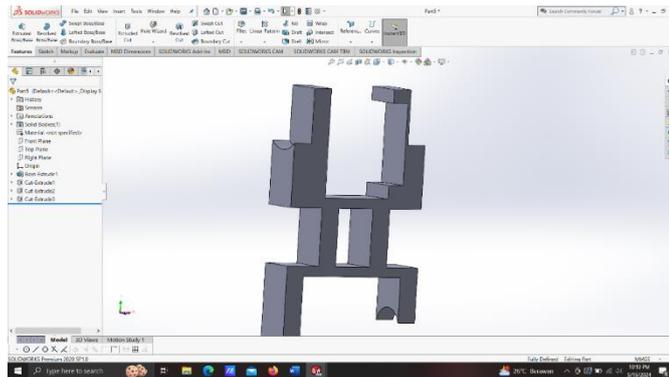
Gambar 3.80 Sketsa Gambar Tempat Meletakkan Motor Servo

40. Kemudian Melakukan *Extruded Cut* Dari Hasil Sketsa Dengan Kedalaman 8.50 mm.



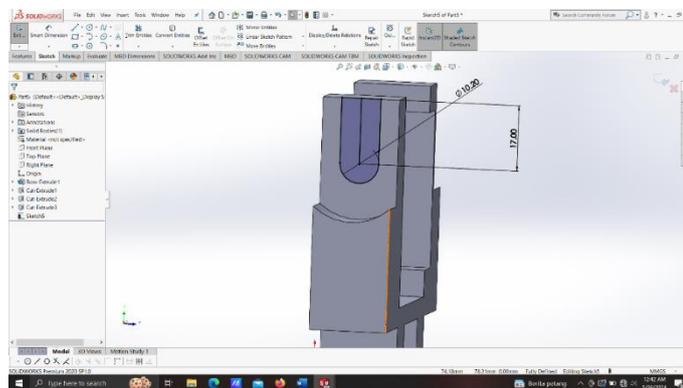
Gambar 3.81 *Extruded Cut* Dudukan Motor Servo

41. Hasil *Extruded Cut* Dari Sketsa Tempat Untuk Meletakkan Motor Servo.



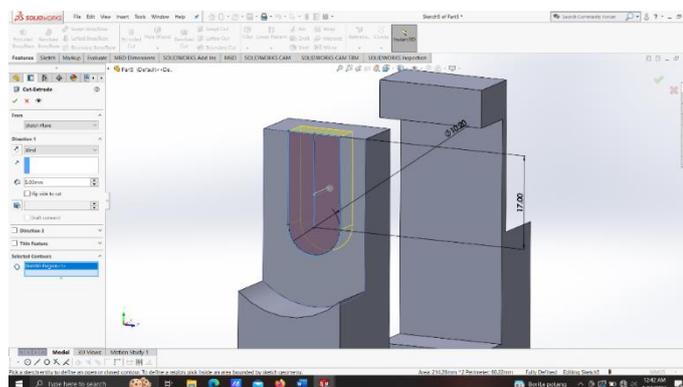
Gambar 3.82 Hasil *Extruded Cut* Dudukan Motor

42. Kemudian Dilanjut Melakukan Penggambaran Sketsa Tempat Rumah Engsel Bergerak.



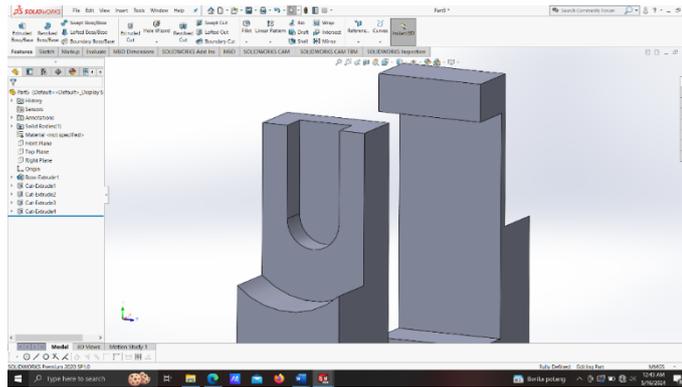
Gambar 3.83 Sketsa Gambar Rumah Engsel

43. Melakukan *Extruded Cut* Dari Hasil Sketsa Dengan Kedalaman 5 mm.



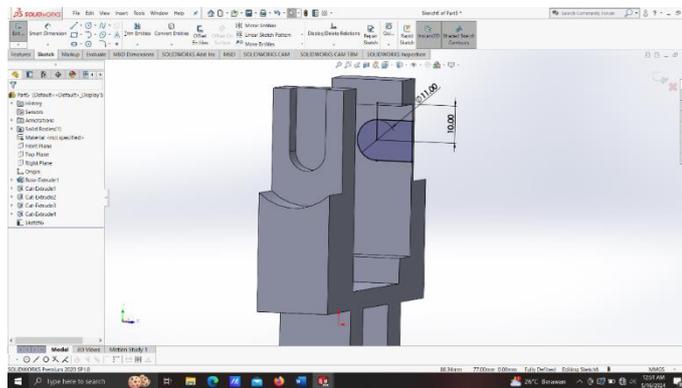
Gambar 3.84 *Extruded Cut* Rumah Engsel

44. Hasil *Extruded Cut* Dari Sketsa Tempat Rumah Engsel Bergerak.



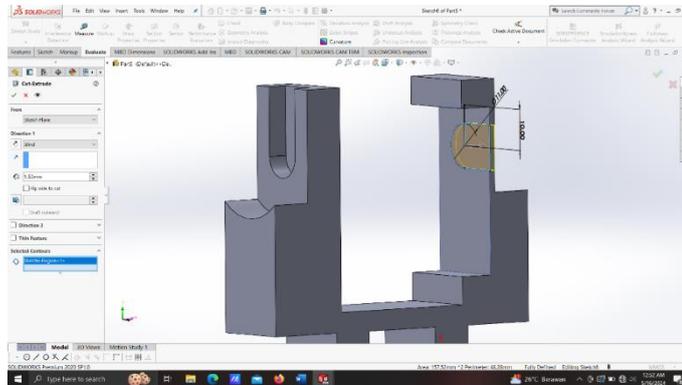
Gambar 3.85 Hasil *Extruded Cut* Rumah Engsel

45. Kemudian Melakukan Penggambaran Sketsa Lubang Untuk Tempat *Servo Horn* Pada Sisi Kanan.



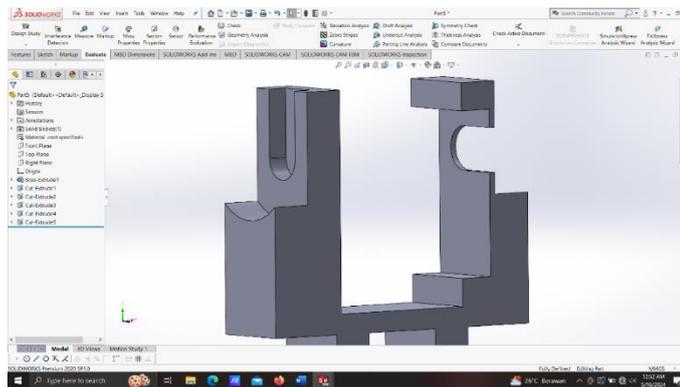
Gambar 3.86 Sketsa Gambar Lubang Tempat *Servo Horn*

46. Melakukan *Extruded Cut* Dari Hasil Sketsa Dengan Kedalaman 1.50 mm.



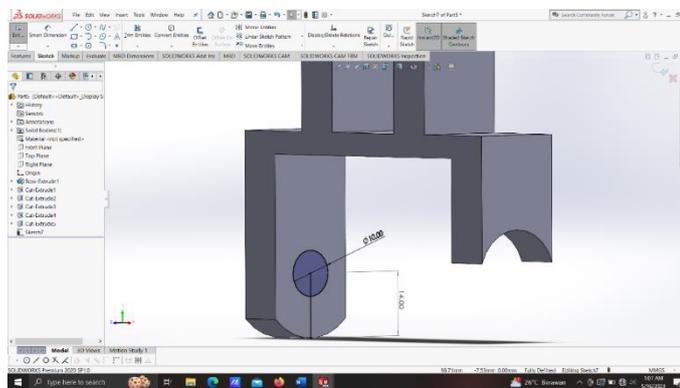
Gambar 3.87 *Extruded Cut* Lubang Tempat *Servo Horn*

47. Hasil *Extruded Cut* Dari Sketsa Lubang Untuk Tempat *Servo Horn* Pada Sisi Kanan.



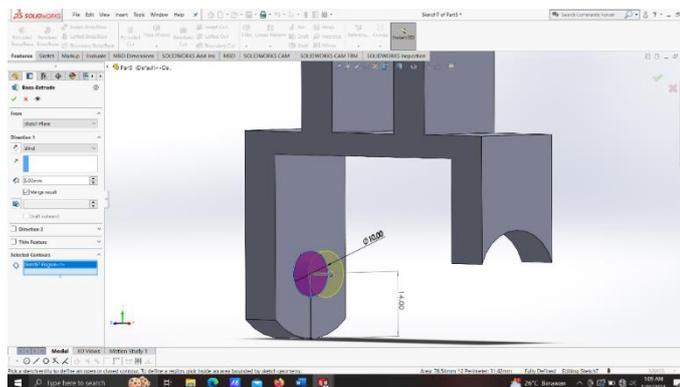
Gambar 3.88 Hasil *Extruded Cut* Lubang Tempat *Servo Horn*

48. Kemudian Dilanjutkan Dengan Melakukan Penggambaran Engsel Pada Bagian Lengan.



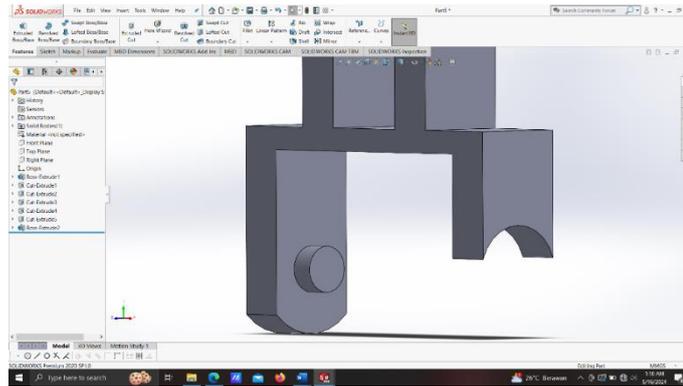
Gambar 3.89 Sketsa Gambar Engsel

49. Setelah Itu Mengextrudanya Dengan Ketinggian 5 mm.



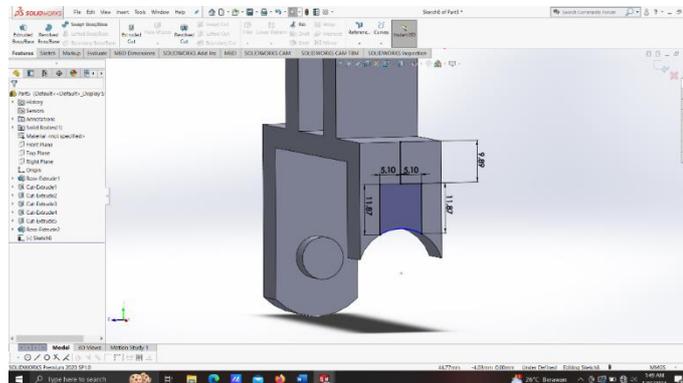
Gambar 3.90 *Extruded Cut* Engsel

50. Hasil *Extruded* Dari Sketsa Penggambaran Engsel Pada Bagian Lengan.



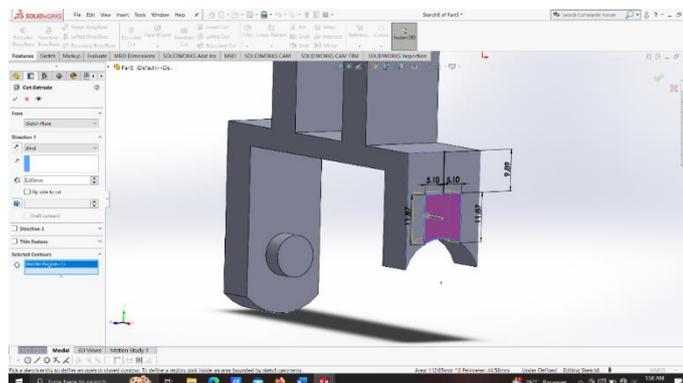
Gambar 3.91 Hasil *Extruded Cut* Engsel

51. Kemudian Dilanjutkan Dengan Melakukan Penggambaran Sketsa Pengunci *Servo Horn* atau Pengunci Sambungan.



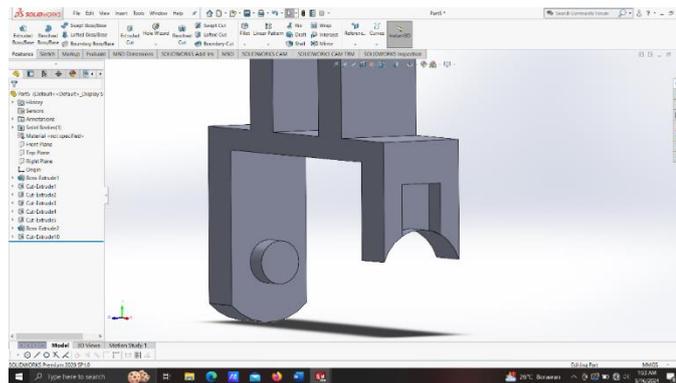
Gambar 3.92 Sketsa Gambar Pengunci *Servo Horn*

52. Mengextruded *Cut* Hasil Dari Sketsa Dengan Kedalaman 5 mm.



Gambar 3.93 *Extruded Cut* Pengunci *Servo Horn*

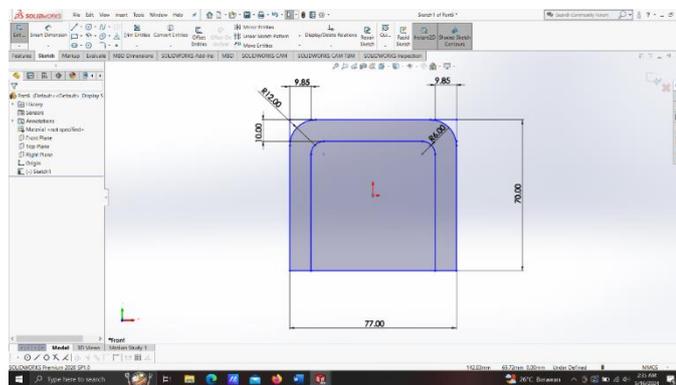
53. Hasil *Extrude Cut* Dari Sketsa Pengunci *Servo Horn* Atau Pengunci Sambungan.



Gambar 3.94 Hasil *Extruded Cut* Pengunci *Servo Horn*

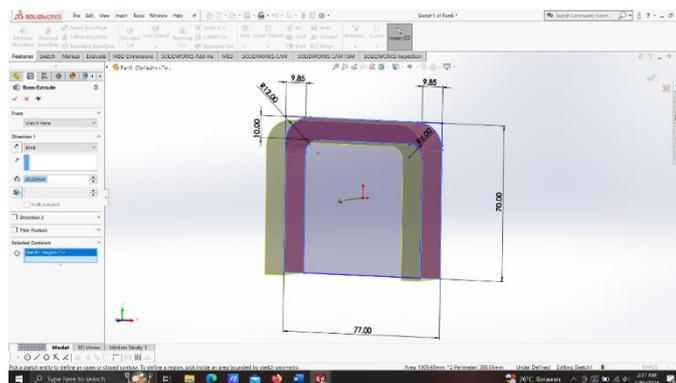
### 3.5.3 Prosedur Penggambaran *CAD End Effector*

1. Menggambar Sketsa Untuk Bagian Dasar *End Effector*.



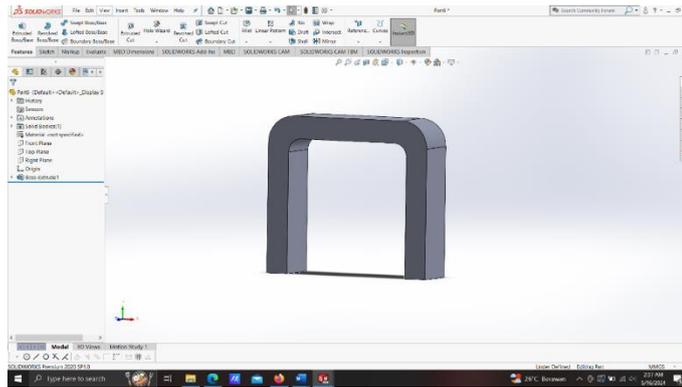
Gambar 3.95 Sketsa Gambar Bagian Dasar *End Effector*

2. Mengextruded *Boss* Hasil Sketsa Bagian Dasar *End Effector* Dengan Ketinggian 20 mm.



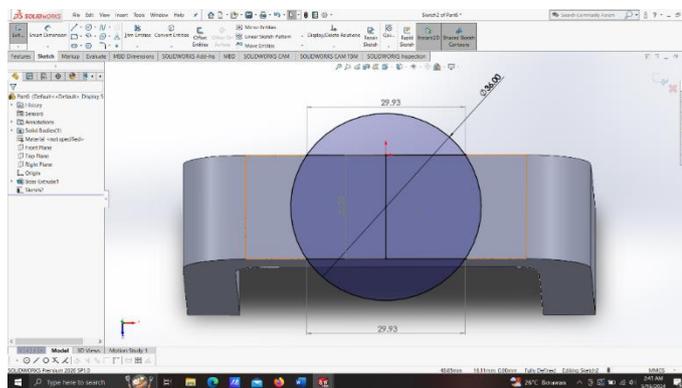
Gambar 3.96 *Extruded Boss* Bagian Dasar *End Effector*

3. Hasil *Extrude* Dari Sketsa Gambar Bagian Dasar *End Effector*.



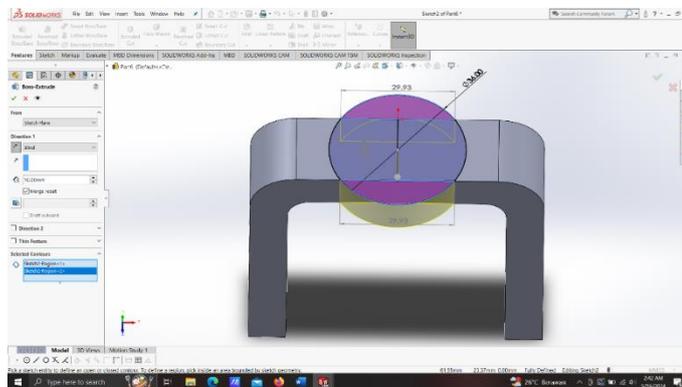
Gambar 3.97 Hasil *Extruded Boss* Bagian Dasar *End Effector*

4. Kemudian Dilanjutkan Menggambar Sketsa Lingkaran Dengan Diameter 36 mm Bertujuan Sebagai Dasar Untuk Meletakkan *End Effector Nozzle* Cat.



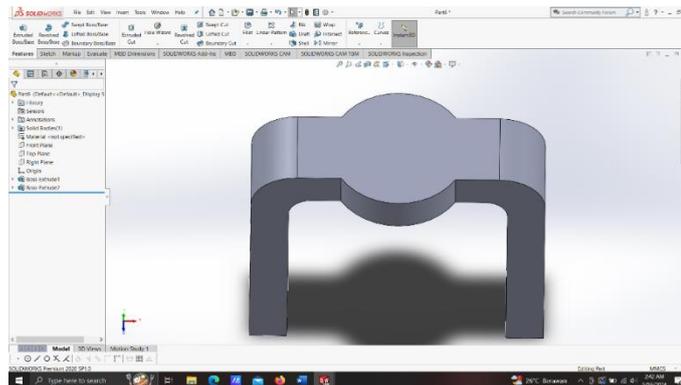
Gambar 3.98 Sketsa Gambar Lingkaran Tempat Dudukan *End Effector*

5. Meng*extruded Boss* Hasil Sketsa Dengan Ketebalan 10 mm.



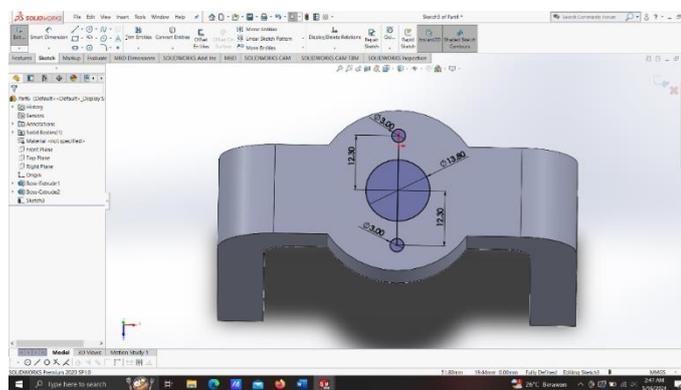
Gambar 3.99 *Extruded Boss* Tempat Dudukan *End Effector*

6. Hasil *Extruded* Dari Penggambaran Sketsa Dasar Untuk *End Effector Nozzle Cat*.



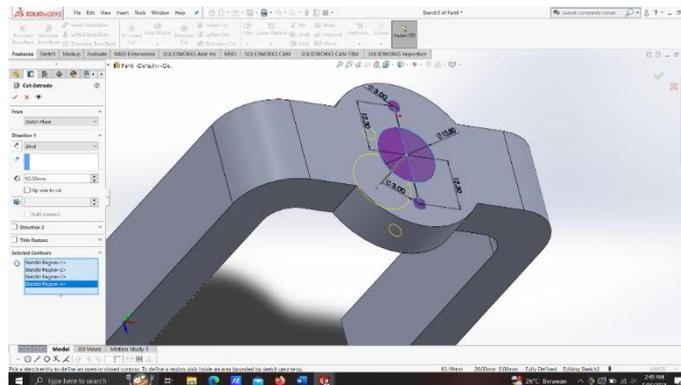
Gambar 3.100 Hasil *Extruded Boss* Tempat Dudukan *End Effector*

7. Kemudian Melakukan Sketsa Penggambaran Lubang Untuk Tempat Menyambungkan *Part* Dudukan *Nozzle Cat*.



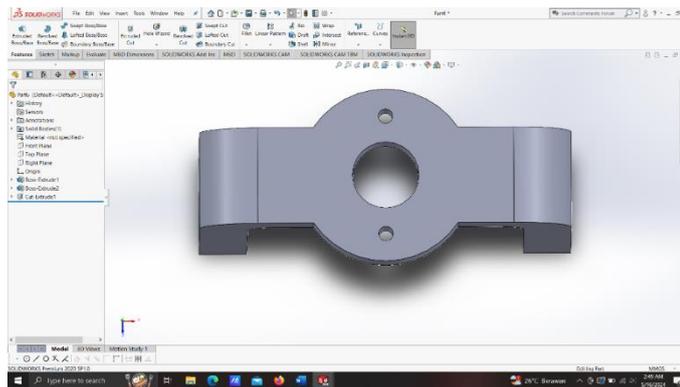
Gambar 3.101 Sketsa Gambar Lubang Penyambungan *End Effector*

8. Meng*extruded Cut* Hasil Sketsa Dengan Kedalaman 10 mm.



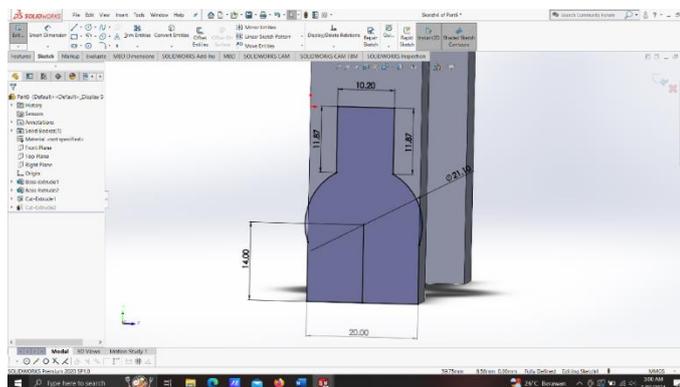
Gambar 3.102 *Extruded Cut* Lubang Penyambungan *End Effector*

9. Hasil *Extruded Cut* Dari Sketsa Penggambaran Lubang Untuk Tempat Menyambungkan *Part* Dudukan *Nozzle Cat*.



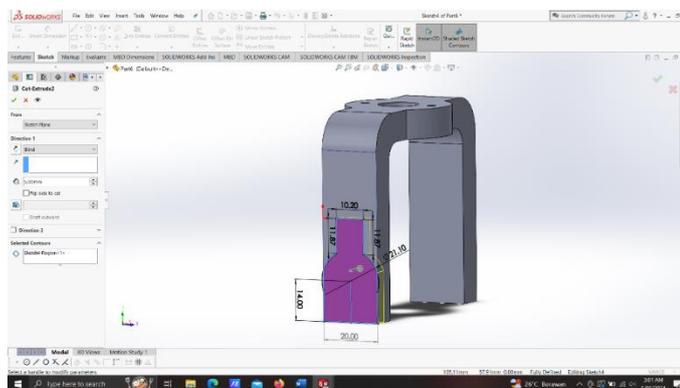
Gambar 3.103 Hasil *Extruded Cut* Lubang Penyambungan *End Effector*

10. Kemudian Dilanjutkan Melakukan Sketsa Gambar Untuk Tempat Pengunci *Servo Horn*.



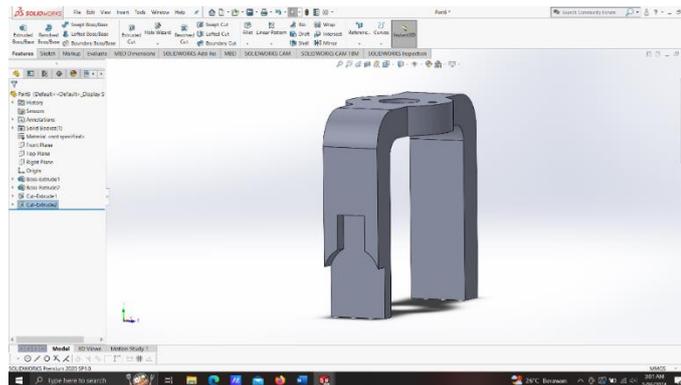
Gambar 3.104 Sketsa Gambar Pengunci *Servo Horn*

11. Melakukan *Extruded Cut* Dari Hasil Sketsa Dengan Kedalaman 5 mm.



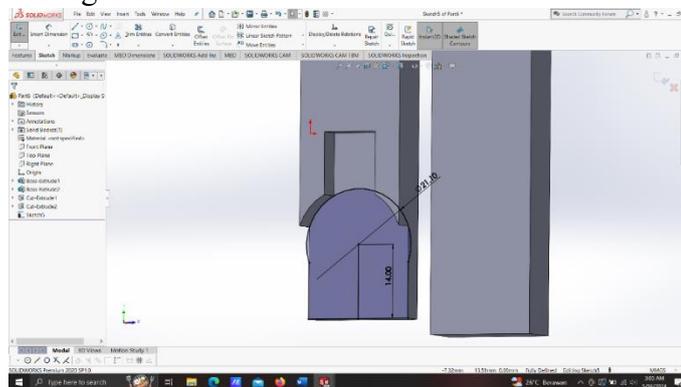
Gambar 3.105 *Extruded Cut* Pengunci *Servo Horn*

12. Hasil *Extruded Cut* Dari Sketsa Gambar Untuk Tempat Penguncian Pada *Servo Horn*.



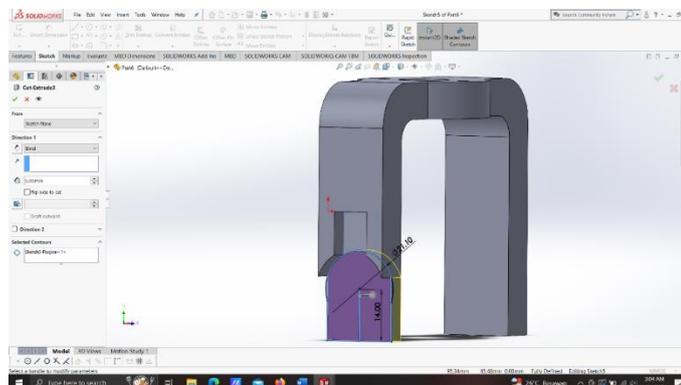
Gambar 3.106 Hasil *Extruded Cut* Pengunci *Servo Horn*

13. Setelah Itu, Dilanjutkan Melakukan Penggambaran Sketsa Tempat Motor *Servo* Bergerak.



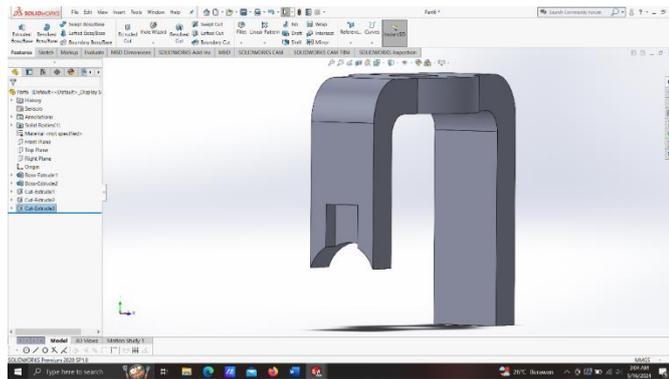
Gambar 3.107 Sketsa Tempat Motor *Servo*

14. Melakukan *Extruded Cut* Dari Hasil Sketsa Dengan Kedalaman 5 mm.



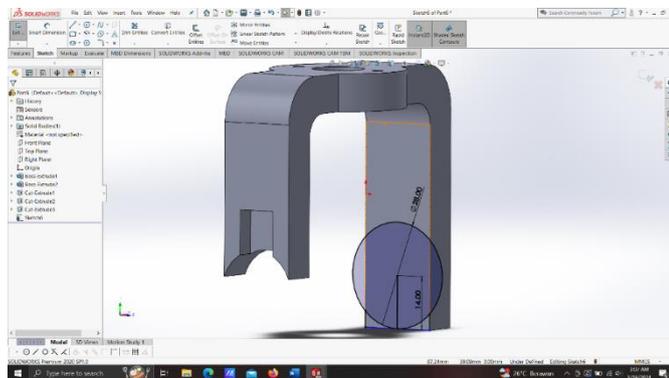
Gambar 3.108 *Extruded Cut* Tempat Motor *Servo*

15. Hasil *Extruded Cut* Dari Penggambaran Sketsa Tempat Motor Servo Bergerak.



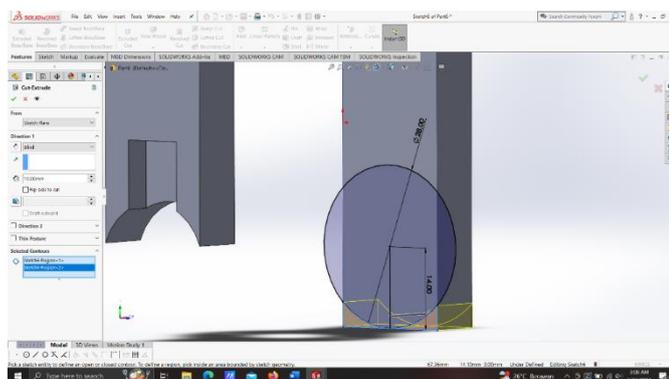
Gambar 3.109 Hasil *Extruded Cut* Tempat Motor Servo

16. Kemudian Melakukan Sketsa Penggambaran Lingkaran Pada Bagian Kaki Dengan Diameter 28 mm Yang Bertujuan Untuk Membulatkan Bagian Persegi Agar Nantinya *Part* Dapat Bergerak Dengan Lancar.



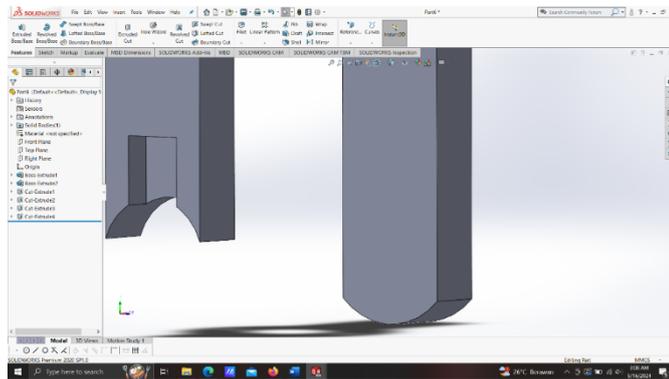
Gambar 3.110 Sketsa Gambar Bagian Penghubung

17. Melakukan *Extrude Cut* Dengan Kedalaman 10 mm.



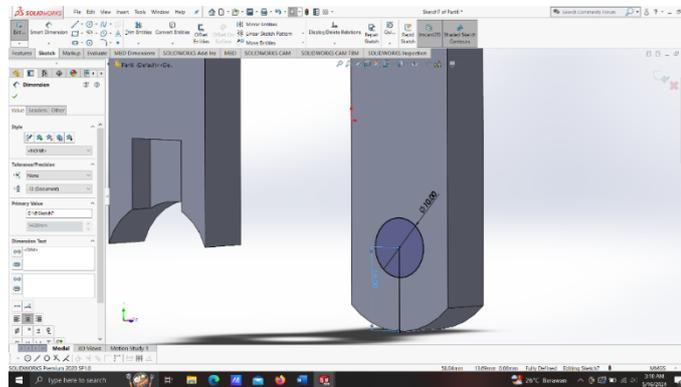
Gambar 3.111 *Extruded Cut* Penghubung Bagian Kaki

18. Hasil *Extruded Cut* Dari Sketsa Penggambaran Lingkaran Pada Bagian Kaki Dengan Bentuk yang Membulat.



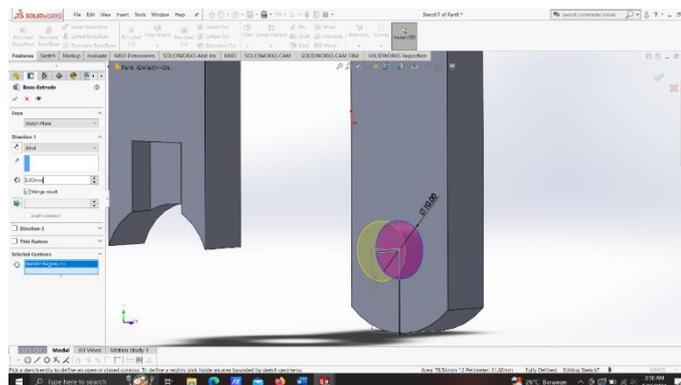
Gambar 3.112 Hasil *Extruded Cut* Penghubung Bagian Kaki *End Effector*

19. Kemudian Dilanjutkan Dengan Sketsa Penggambaran Engsel Dudukan Tempat Robot Dan *End Effector* Bergerak.



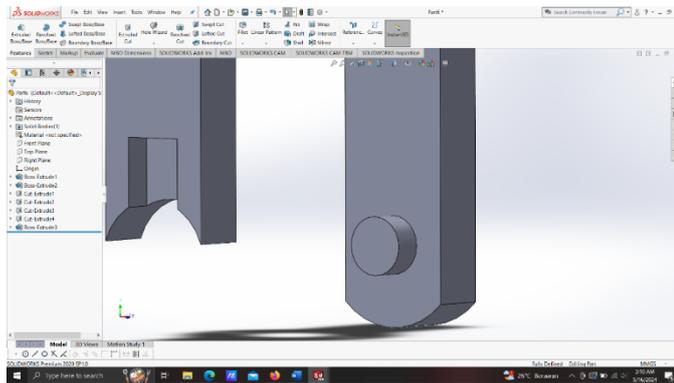
Gambar 3.113 Sketsa Gambar Bagian Engsel *End Effector*

20. Meng*extruded Bosskan* Hasil Sketsa Dengan Ketinggian 5 mm.



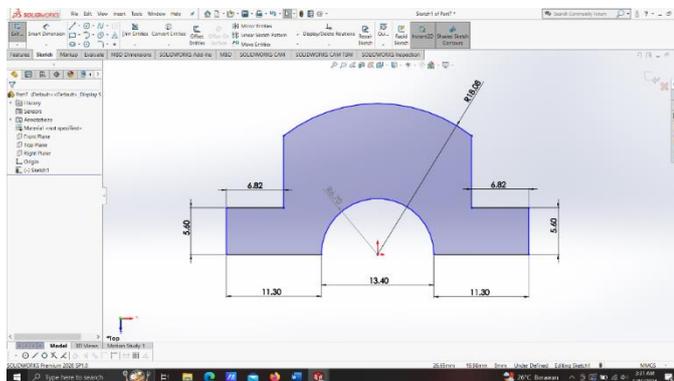
Gambar 3.114 *Extruded Bosskan* Bagian Engsel *End Effector*

21. Hasil *Extruded* Dari Sketsa Penggambaran Engsel Dudukan Tempat Robot Dan *End Effector* Bergerak.



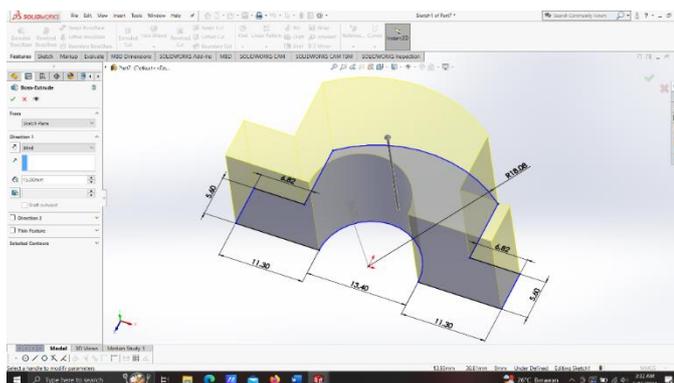
Gambar 3. 115 Hasil *Extruded Boss* Bagian Engsel *End Effector*

22. Kemudian Melakukan Sketsa Gambar Dudukan *Nozzle Cat* Bagian Atas Dan Bawah



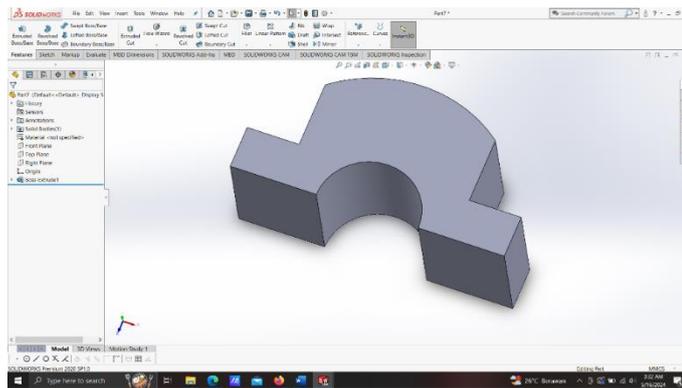
Gambar 3.116 Sketsa Gambar Dudukan Atas Dan Bawah *Nozzle Cat*

23. Meng*extruded*nya Dengan Ketinggian 15 mm.



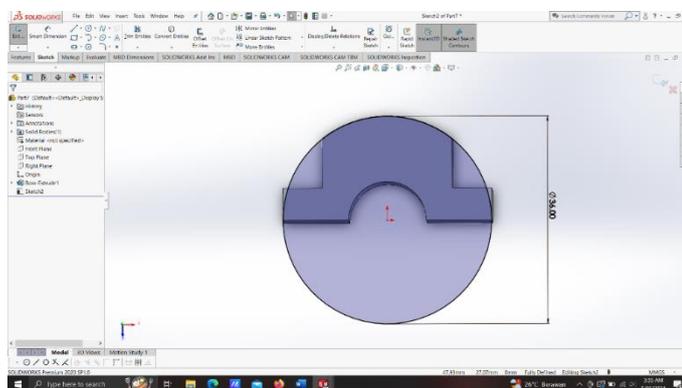
Gambar 3.117 *Extruded Boss* Dudukan Atas Dan Bawah *Nozzle Cat*

24. Hasil *Extruded* Dari Sketsa Gambar Dudukan *Nozzle Cat* Bagian Atas.



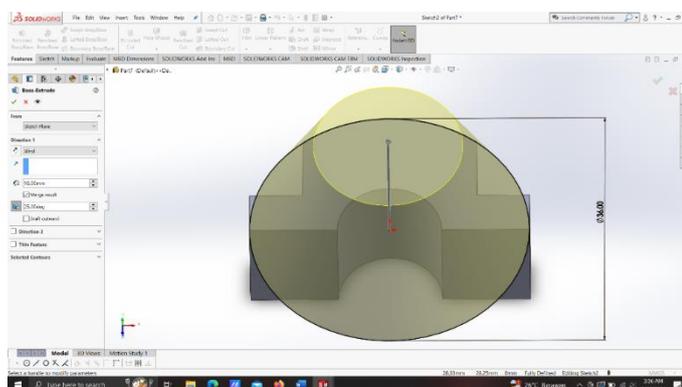
Gambar 3.118 Hasil *Extruded Boss* Dudukan Atas Dan Bawah *Nozzle Cat*

25. Dilanjutkan Melakukan Penggambaran Sketsa Dengan Bentuk Lingkaran Berdiameter 36 mm.



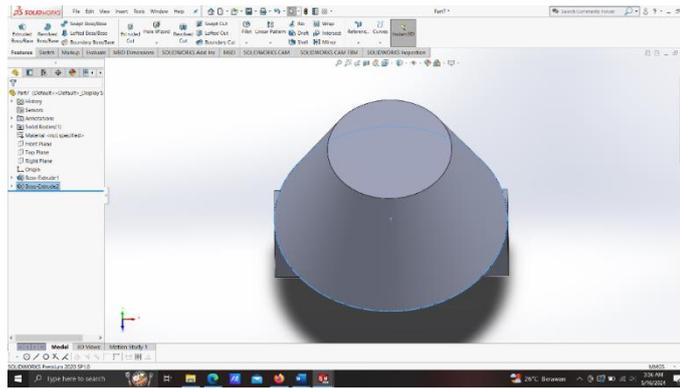
Gambar 3.119 Sketsa Gambar Bagian Ujung Dudukan *Nozzle Cat*

26. Kemudian Mengextrudeny.



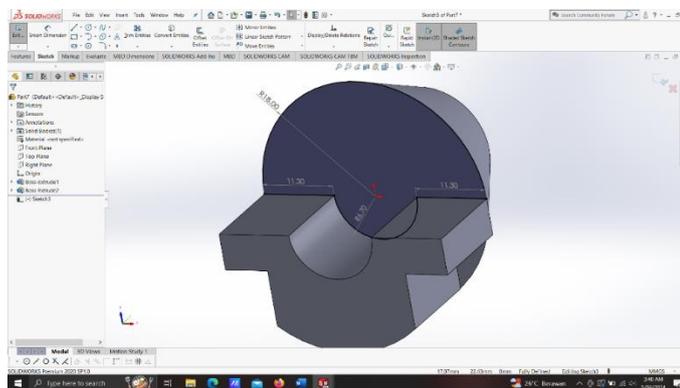
Gambar 3.120 *Extruded Boss* Bagian Ujung Dudukan *Nozzle Cat*

27. Hasil Dari *Extrude* Sketsa Bagian Ujung *End Effector Nozzle Cat*.



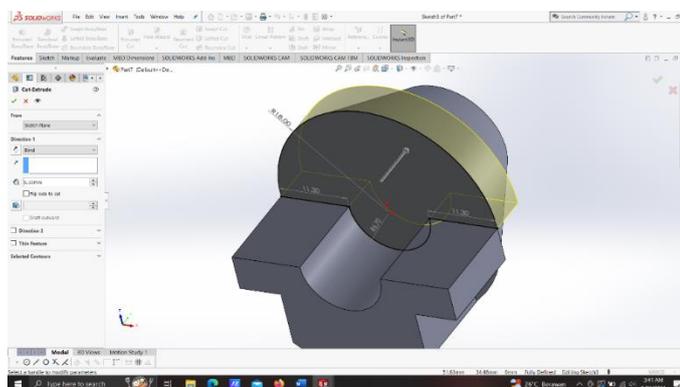
Gambar 3.121 Hasil *Extruded Boss* Bagian Ujung Dudukan *Nozzle Cat*

28. Kemudian Melakukan Sketsa Penggambaran Untuk Memotong Bagian Ujung *End Effector Nozzle Cat*.



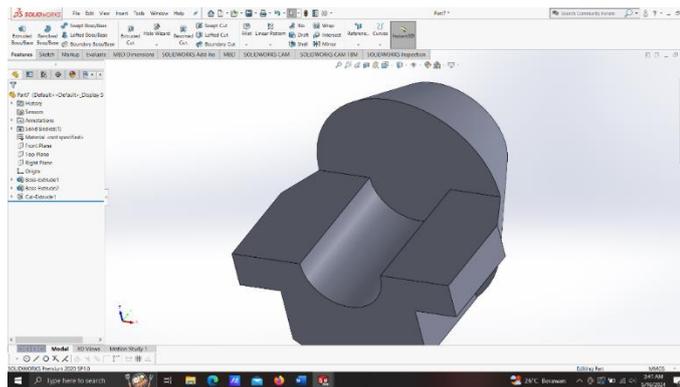
Gambar 3.122 Sketsa Gambar Pemotongan Bagian Ujung *Nozzle Cat*

29. Kemudian Meng*extruded Cut*nya



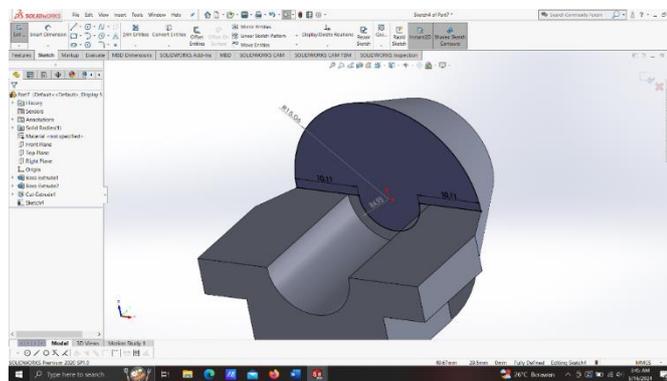
Gambar 3.123 *Extruded Cut* Potongan Bagian Ujung *Nozzle Cat*

30. Hasil *Extrude Cut* Dari Sketsa Penggambaran Untuk Memotong Bagian Ujung *End Effector*.



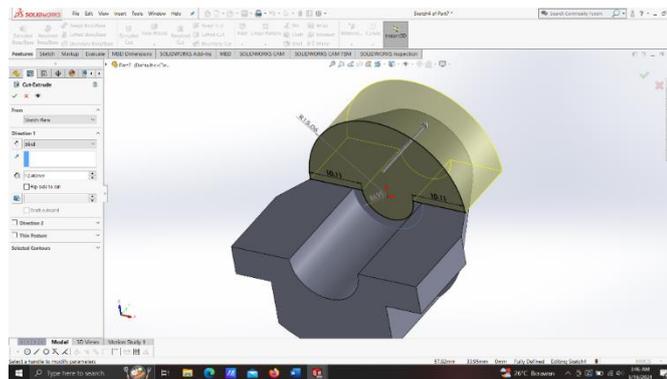
Gambar 3.124 Hasil *Extruded Cut* Potongan Bagian Ujung *Nozzle Cat*

31. Kemudian Dilanjutkan Dengan Menggambar Sketsa Untuk Memotong Bagian Ujung Pada Dudukan *End Effector*.



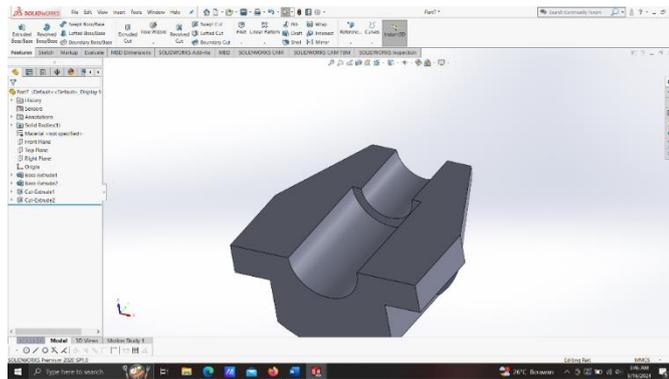
Gambar 3.125 Sketsa Gambar Pemotongan Bagian Ujung Lanjutan

32. Setelah itu, Meng*extruded Cut*nya.



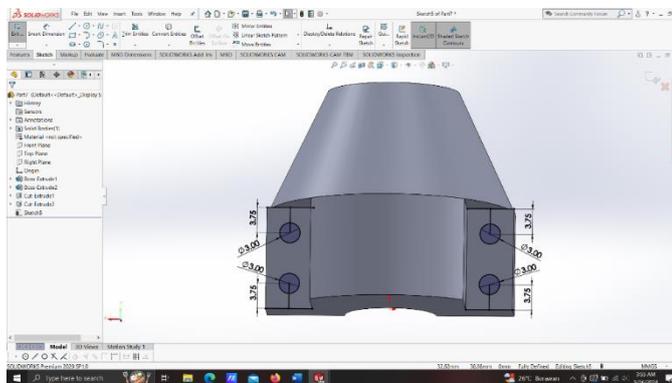
Gambar 3.126 *Extruded Cut* Pemotongan Bagian Ujung Lanjutan

33. Hasil *Extrude Cut* Dari Sketsa Menggambar Untuk Memotong Bagian Ujung Pada Dudukan *End Effector*.



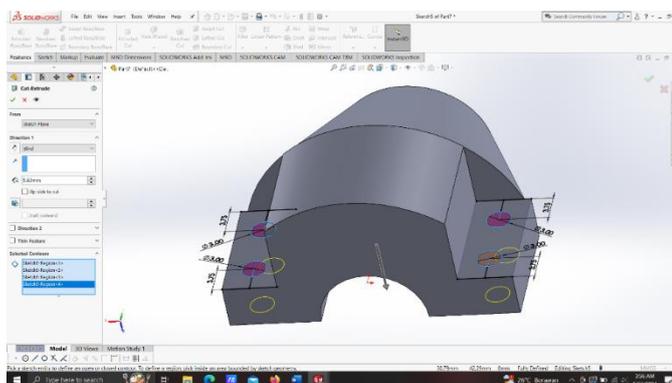
Gambar 3.127 Hasil *Extruded Cut* Pemotongan Bagian Ujung Lanjutan

34. Membuat Sketsa Lubang Baut Pada Dudukan *End Effector Nozzle Cat* Bagian Atas.



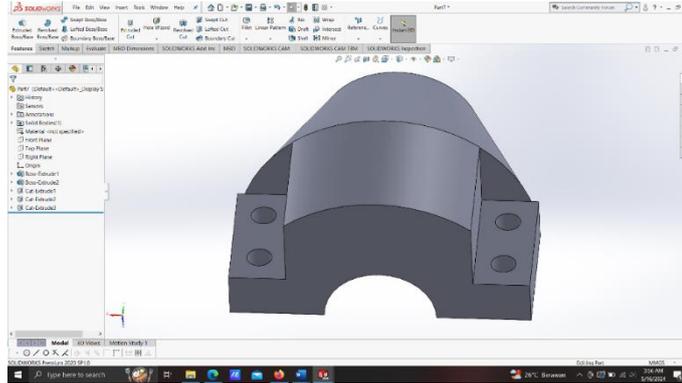
Gambar 3.128 Sketsa Gambar Lubang Baut Dudukan *Nozzle Cat*

35. Setelah Itu Meng*extruded Cut*nya.



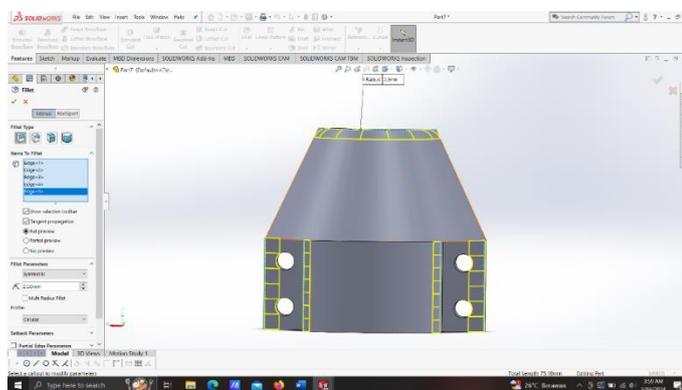
Gambar 3.129 *Extrude Cut* Sketsa Lubang Baut Dudukan *Nozzle Cat*

36. Hasil *Extruded Cut* Dari Sketsa Gambar Lubang Baut.



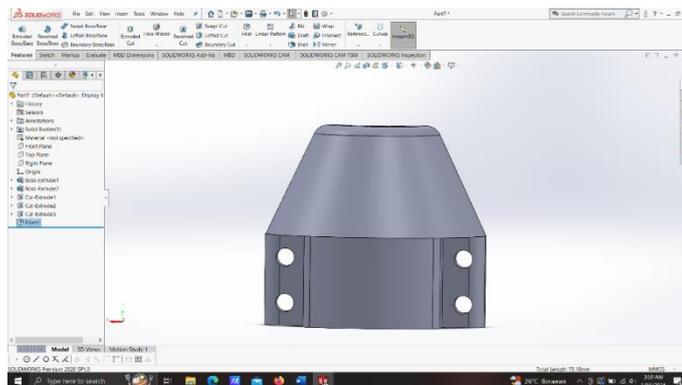
Gambar 3.130 Hasil *Extruded Cut* Lubang Baut Dudukan *Nozzle Cat*

37. Kemudian Melakukan Fillet Pada Sisinya Dengan Tujuan Mempermanis Tampilan Dudukan *End Effector*.



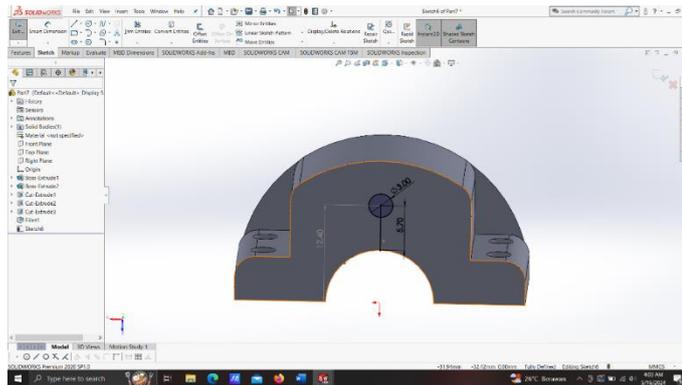
Gambar 3.131 Proses Memfillet Bagian Sisi Pada Dudukan *Nozzle Cat*

38. Hasil Fillet Pada Sisi Atas maupun Samping Pada Dudukan *End Effector*.



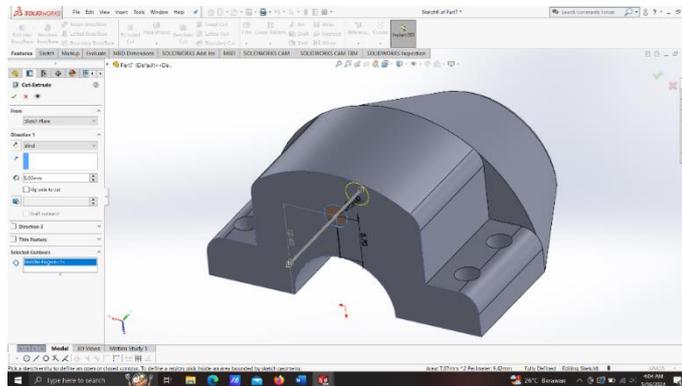
Gambar 3.132 Hasil Fillet Bagian Sisi Pada Dudukan *Nozzle Cat*

39. Kemudian Dilanjutkan Melakukan Sketsa Lubang Baut Untuk Mengikat Dudukan *End Effector* Dengan Bagian Penghubung Lengan.



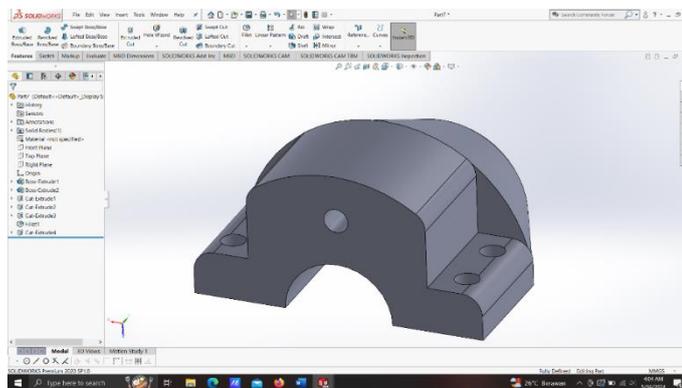
Gambar 3.133 Sketsa Gambar Lubang Baut Pengikat Dudukan *End Effector*

40. Setelah Itu Melakukan *Extrude Cut* Untuk Melubanginya



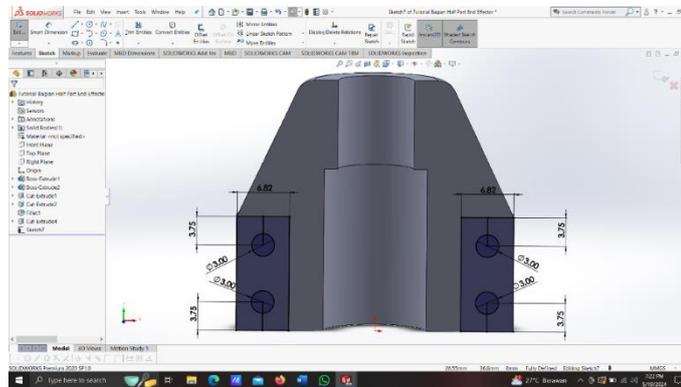
Gambar 3.134 *Extruded Cut* Dari Sketsa Gambar Lubang Pengikat

41. Hasil *Extruded Cut* Dari Penggambaran Sketsa Lubang Baut Untuk Mengikat Dudukan *End Effector* Dengan Bagian Penghubung Lengan.



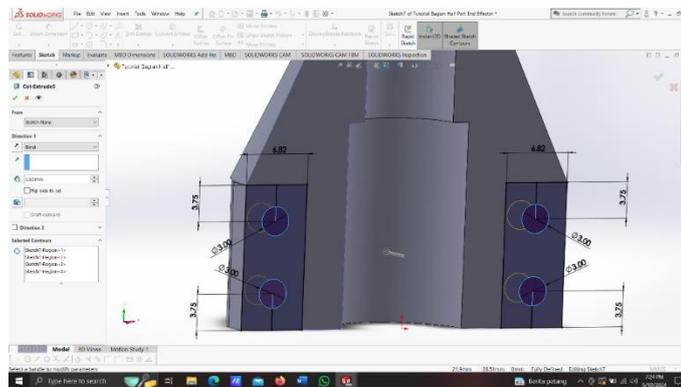
Gambar 3.135 Hasil *Extruded Cut* Lubang Baut Pengikat *End Effector*

42. Untuk Dudukan *End Effector* Bagian Bawah Proses Dan Penggambaranya Sama Dengan Dudukan *End Effector* Bagian atas, Yang Membedakan Yaitu Hanya Bagian Lubang Pengikatnya Saja.
43. Kemudian Selanjutnya Membuat Sketsa Gambar Lubang Baut Untuk Mengikat Antara Bagian Bawah dan Bagian Atas Dudukan *End Effector*.



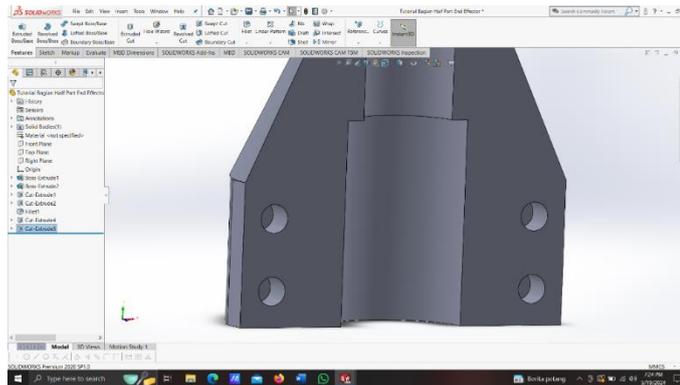
Gambar 3.136 Sketsa Gambar Lubang Baut Dudukan *Nozzle* Cat Bagian Bawah

44. Setelah Itu Mengextruded *Cutnya* Untuk Membuat Lubang Baut.



Gambar 3.137 *Extruded Cut* Lubang Baut Dudukan *Nozzle* Cat Bagian Bawah

45. Hasil *Extruded Cut* Dari Sketsa Gambar Lubang Baut Untuk Mengikat Antara Bagian Bawah dan Bagian Atas Dudukan *End Effector*.



Gambar 3.138 Hasil *Extruded Cut* Lubang Baut Dudukan *Nozzle* Cat Bawah

### 3.5.4 Prosedur Pembuatan

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan dan perakitan robot lengan.
2. Mengeprint 3D file .gcode yang sudah dibuat menggunakan 3D printer.
3. Merapikan secara manual hasil 3D printing menggunakanikir.
4. Merakit dan menyatukan bagian-bagian robot lengan hasil 3D print dengan komponen lainnya seperti actuator motor servo dan *end-effector nozzle sprayer*.
5. Menyesuaikan sudut o (nol) motor servo pada robot lengan.
6. Meletakkan robot lengan yang telah dirakit diatas platform yang telah disiapkan.
7. Menyambungkan komponen elektrik *solenoid valve*, *relay*, dan adaptor dengan arduino nano.
8. Menyiapkan aplikasi Arduino IDE sebagai *text editor* untuk memprogram Arduino nano.
9. Mengupload atau menggunggah kode robot lengan yang telah dibuat kedalam Arduino nano.
10. Melakukan pengetesan robot lengan apakah robot lengan bekerja atau tidak.

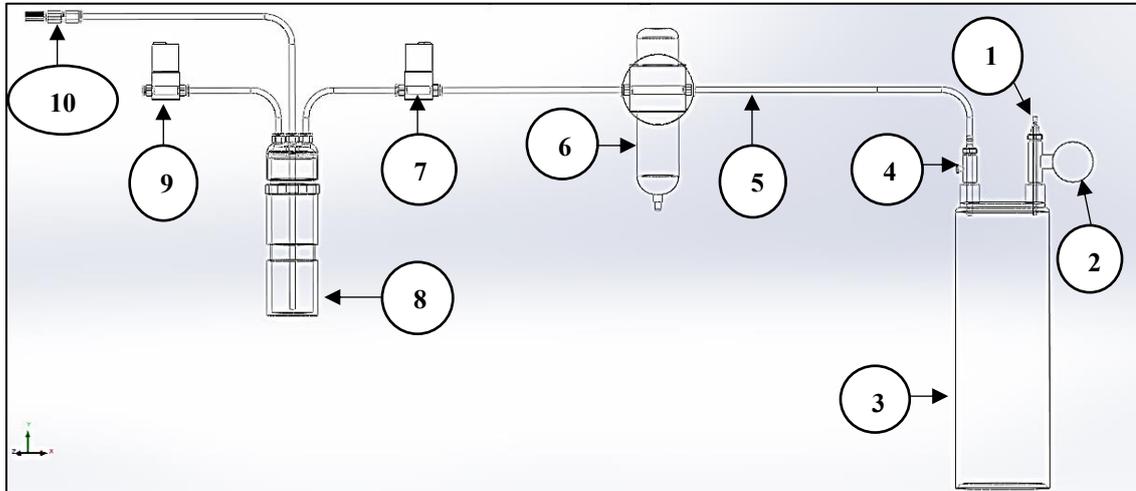
### 3.5.5 Prosedur Pengujian

1. Menyiapkan simulasi pergerakan robot lengan untuk proses penyemprotan menggunakan aplikasi *matlab*.
2. Menentukan titik input koordinat akhir *xyz end effector* atau titik tujuan pergerakan robot yang akan dilakukan proses penyemprotan.
3. Mencatat tiap input koordinat *xyz* . dan memasukan input koordinat *xyz* kedalam simulasi robot lengan *matlab*.
4. Mencatat sudut – sudut tiap *joint* pada robot lengan dari simulasi.
5. Memasukkan besaran sudut – sudut tiap *joint* yang telah diketahui dari simulasi *matlab* ke dalam *text editor* Arduino IDE untuk dilakukan pembuatan program.
6. Menyiapkan dan menuangkan larutan cat yang telah dilakukan perbandingan campuran thinner kedalam tabung penyimpanan cat untuk dilakukan proses penimbangan berat.
7. Menyiapkan seluruh peralatan sistem penyemprotan seperti tabung penyimpanan udara, kompressor, *solenoid valve*, dll.
8. Menyiapkan spesimen atau objek yang hendak di cat dengan cakupan luas yang telah di sesuaikan.
9. Menghubungkan setiap komponen atau sistem penyemprotan pada body robot lengan.
10. Menjalankan program arduino pada lengan beserta sistem penyemprotannya.
11. Mencatat waktu robot lengan pada saat berjalan melakukan proses penyemprotan.
12. Mengulangi sampai beberapa spesimen dan membandingkannya pada setiap percobaan.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Perancangan Robot Lengan Dan Sistem Penyemprotan

#### 4.1.1 Perancangan Sistem Penyemprotan



Gambar 4.1 Skema Sistem Penyemprotan

Keterangan :

1. Pentil Ban Motor (*Tire Valve Stem*)
2. Manometer (*Pressure Gauge*)
3. Tabung Penyimpanan Udara
4. Katup Udara (*Ball Valve*)
5. Selang PU (*Polyurethane*)
6. *Air Filter Regulator*
7. *Solenoid Valve In*
8. Tabung Penyimpanan Cat
9. *Solenoid Valve Out*
10. *Nozzle Sprayer*

Berdasarkan skema gambar 4.1 perancangan dibuat dengan sistem penyemprotan secara otomatis pada saat robot lengan memerlukan proses pengecatan. Proses penyemprotan pada robot lengan ini dimulai dengan masuknya udara bertekanan melalui pentil pengisian ban (1) kedalam tabung penyimpanan cat (3) yang kepadatannya diukur melalui manometer

*pressure gauge* (2), kemudian tekanan udara pada tabung penyimpanan dikeluarkan melalui katup pembuka udara (4) secara penuh untuk mengirimkan udara bertekanan menuju *air filter regulator* (6) melalui selang Pu (5). Pada *air filter regulator* dilakukan proses penyaringan endapan air serta penyesuain tekanan udara yang diinginkan agar membuat tekanan udara keluar dengan sesuai dan terbebas dari endapan air.

Setelah tekanan udara keluar dari *air filter regulator*, selanjutnya tekanan udara dikirimkan menuju *solenoid valve in* (7). *Solenoid valve in* merupakan sebuah katup udara masuk otomatis yang dapat bekerja secara integrasi dengan program pergerakan robot lengan. Kemudian setelah *solenoid valve* diperintahkan untuk membuka, maka selanjutnya tekanan udara dapat keluar dan dikirimkan menuju pada tabung penyimpanan cat (8) yang telah diisi dengan cat, hal ini lantas membuat tabung penyimpanan cat terkompresi dengan padat yang kemudian dapat memompa cat naik menuju keatas melalui selang Pu (5) untuk dikirimkan menuju *nozzle* (10) hingga terjadinya proses penyemprotan pada cat.

Selanjutnya apabila proses penyemprotan cat ingin dihentikan, maka dilakukan perintah untuk membuka katup *solenoid valve out* (9) agar dapat mengeluarkan udara bertekanan yang terkompresi pada tabung penyimpanan cat sehingga membuat proses penyemprotan cat berhenti bekerja.

#### **4.1.2 Perancangan Pembuatan Body Robot Lengan**

Sebelum melakukan proses perancangan, sebaiknya terlebih dahulu melakukan pengukuran terhadap semua komponen elektrik dan *end effector* yang digunakan yaitu merupakan motor servo Mg996r serta *nozzle sprayer* seperti gambar 4.2 . Proses pengukuran yang akurat sangat diperlukan agar nantinya robot lengan yang didesain dapat menyesuaikan motor servo dan *end effector* yang digunakan sehingga nantinya komponen dan robot lengan dapat berfungsi secara integrasi untuk melakukan pergerakan. Setelah proses pengukuran selesai, maka selanjutnya adalah melakukan perancangan robot lengan yang dikerjakan dengan melakukan pendesainan

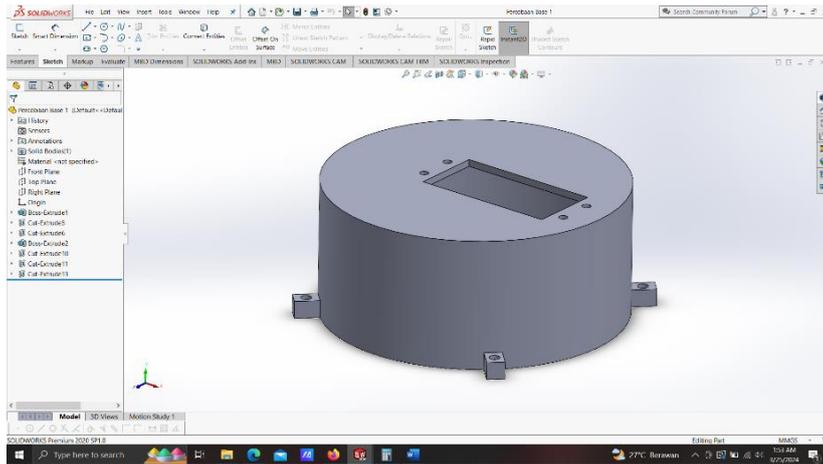
menggunakan aplikasi *CAD* berupa *SolidWorks*. Proses pendesainan robot lengan dilakukan sesuai dengan bentuk serta ukuran motor servo dan ukuran *end effector* yang digunakan.



Gambar 4.2 Pengukuran Terhadap Komponen –  
Komponen Robot Lengan

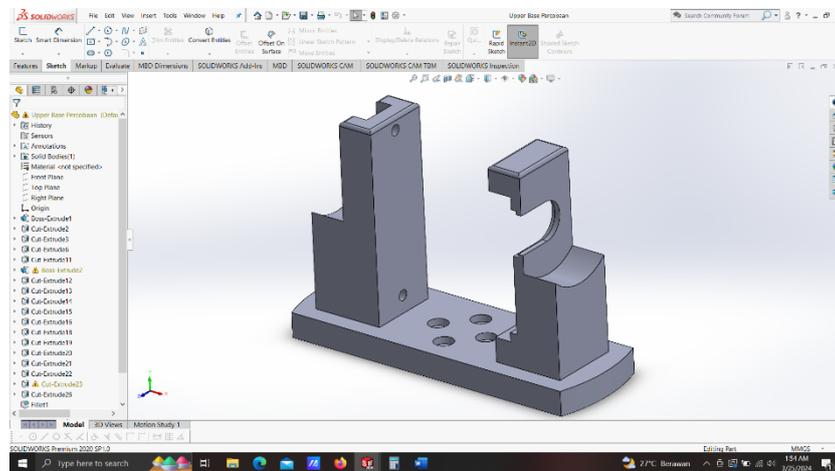
#### 4.1.2.1 Bagian Dasar (*Base*)

Proses pendesainan pertama dimulai pada base seperti pada gambar 4.3 yang merupakan bagian mendasar pada robot lengan dengan fungsi sebagai pondasi utama atau penopang seluruh badan robot lengan. Selain itu di dalam *base* juga terdapat penggerak pertama yaitu motor servo yang bergerak secara tegak lurus terhadap posisi motor servo ke dua, tiga, dan empat. *Base* ini berbentuk lingkaran yang memiliki diameter 85 mm, dengan ketebalan dinding 2.5 mm, serta ketinggian 30.85 mm. Pada bagian samping *base* juga terdapat empat lubang sekrup yang didesain apabila jika di perlukan kestabilan atau pondasi yang lebih kuat untuk menopang robot lengan, maka *base* dapat dihubungkan terhadap sebuah platform atau bidang datar dengan cara di sekrup pada keempat sisi lubangnya.



Gambar 4.4 Bagian Dasar (*Base*)

#### 4.1.2.3 Bagian Dasar Atas (*Upper Base*)

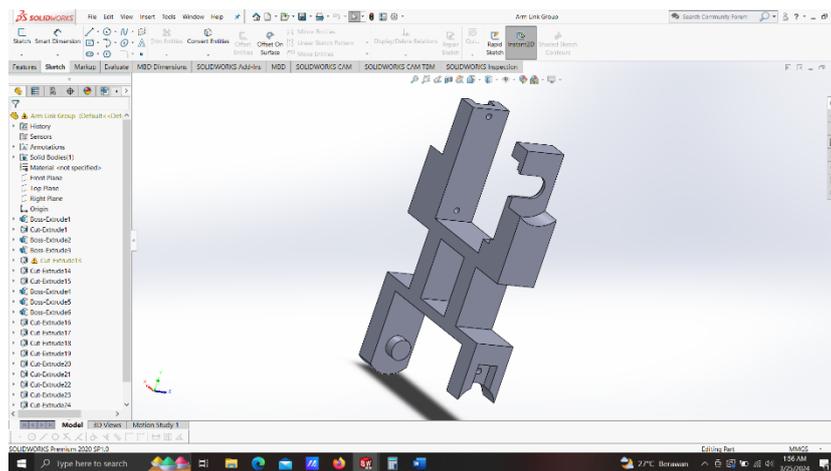


Gambar 4.3 Bagian Dasar Atas (*Upper Base*)

Proses pendesainan *CAD* berikutnya adalah sebuah *upper base* seperti pada gambar 4.4 yang merupakan bagian dasar atas, dimana tempat penggerak motor servo kedua berada yang di desain dengan rancangan dan ukuran yang pas untuk joint atau sendi sekaligus penopang penggerak motor servo tiga dan empat. Bagian ini berdimensi dengan panjang 90 mm, lebar 30 mm, dan memiliki tinggi 61.75 mm.

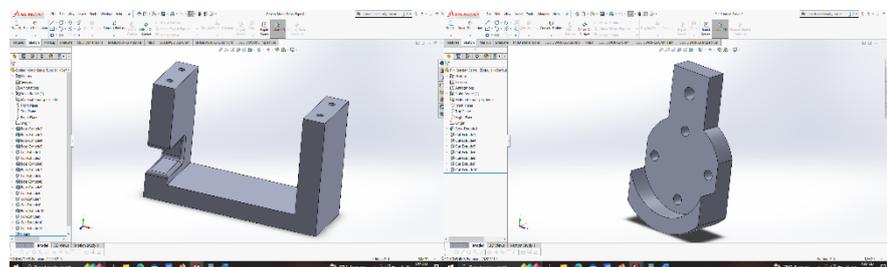
#### 4.1.2.4 Bagian Lengan (*Link*)

Gambar 4.5 adalah sebuah desain *CAD* selanjutnya yaitu bagian lengan atau *link* yang merupakan sebuah rancangan penggerak motor ketiga berada untuk menghubungkan penggerak motor kedua serta sekaligus sebagai penopang dan penghubung bagi penggerak motor keempat. Pada bagian lengan atau *link* ini terdapat 2 buah yang dimana memiliki dimensi panjang 20 mm, lebar 77 mm, dan tinggi 135 mm. Maka ,dengan dimensi dan desain tersebut dapat menopang struktur dengan kokoh sehingga mampu bergerak secara baik dan optimal.



Gambar 4.5 Bagian Lengan (*Link*)

#### 4.1.2.5 Cover Servo dan Penghubung *Servo Horn*



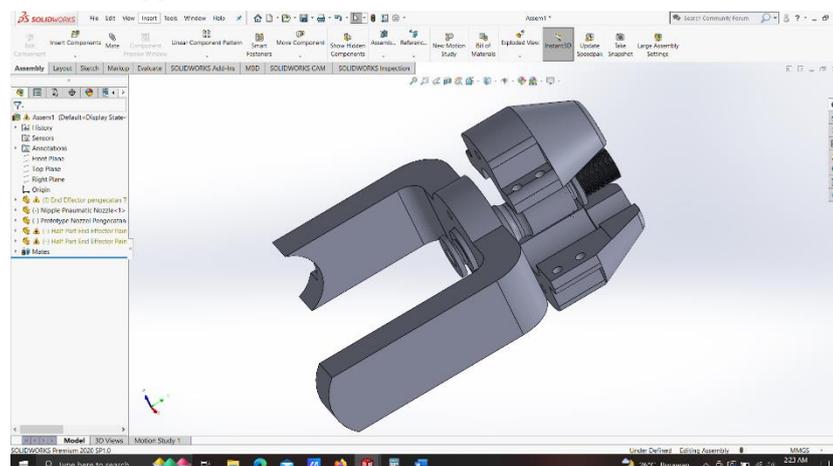
Gambar 4.6 (a) Cover Motor Servo Dan (b) Penghubung *Servo Horn*

Tahap desain *CAD* berikutnya adalah 2 buah part tambahan seperti pada gambar 4.6 (a) merupakan part cover servo yang berfungsi untuk menghubungkan *body servo* dengan dudukan *servo* pada bagian lengan (*link*) robot agar dapat di sekrup atau di kunci, kemudian gambar 4.6 (b) merupakan sebuah part penghubung yang

berfungsi untuk menghubungkan antara horn servo dengan bagian lengan (*link*) robot agar robot lengan dapat bergerak. Pada kedua part ini mempunyai dimensi dimana masing – masing pada gambar 4.6 (a) dengan panjang 9.8 mm, lebar 20 mm, tinggi 35 mm, untuk gambar 4.6 (b) memiliki panjang 20 mm, dengan lebar 53.95 mm, dan tinggi 33.2 mm.

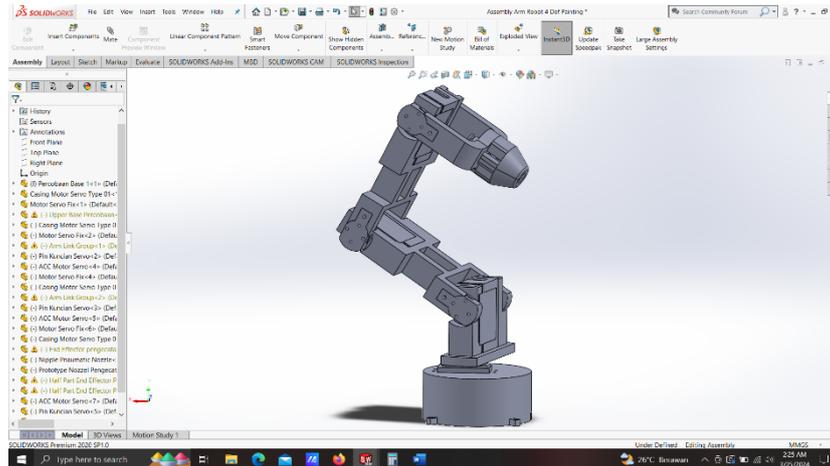
#### 4.1.2.6 Bagian *End Effector*

Gambar 4.7 adalah sebuah desain bagian *end effector* yang dimana merupakan bagian ujung atau tempat dimana diletakkannya suatu fungsi robot yaitu *nozzle sprayer* pada robot lengan. Pada model ini terdiri dari tiga (3) desain dimana yang pertama sebuah desain lengan *joint* atau penghubung untuk menghubungkan motor penggerak keempat terhadap *end effector*/fungsi robot, kemudian dua (2) desain sebagai alas dan penutup untuk mengcover *nozzle sprayer* agar dapat dikunci dan dihubungkan dengan desain pertama atau pada lengan *joint*. Pada ketiga desain ini memiliki dimensi dimana pada desain pertama memiliki panjang 36 mm, lebar 77 mm, serta tinggi 70 mm, sedangkan pada dua (2) desain lainnya yaitu sebagai *cover nozzle sprayer* memiliki masing – masing panjang 18 mm, dengan lebar 36 mm, serta tinggi 33 mm. Namun apabila ketiga part desain disatukan maka didapat hasil keseluruhan dimensi dengan panjang 36 mm, lebar 77 mm, tinggi 103 mm.



Gambar 4.7 Bagian *End Effector*

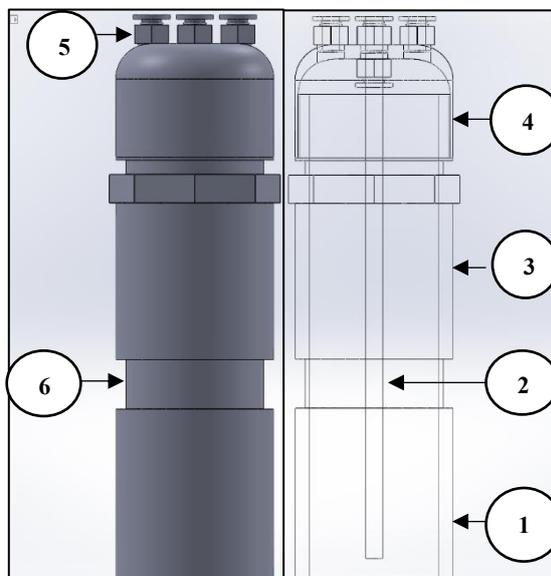
### 4.1.2.7 Assembly Robot Lengan



Gambar 4.8 Assembly Robot Lengan

Pada gambar 4.8 merupakan sebuah desain *assembly* dimana semua desain – desain atau *part* seperti bagian dasar (*base*), bagian dasar atas (*upper base*), lengan (*link*), *cover servo*, *penghubung horn servo*, dan *end effector* yang telah dirancang kemudian disusun dan dirakit secara simulasi dengan menggunakan aplikasi *solidworks* sehingga terbentuk secara utuh suatu robot lengan yang mampu bergerak dengan sempurna sesuai fungsinya.

### 4.1.3 Perancangan Pembuatan Tabung Penyimpanan Cat



Gambar 4.9 Rancangan Tabung Penyimpanan Cat

Keterangan :

1. Dop Pipa Pvc 1.5 inch
2. Selang Pu 6 mm
3. Sok Drat Luar Pipa Pvc 1.5 inch
4. Dop Drat Pipa Galvanis 1.5 inch
5. Nipple Pnaumatik Slip Lock Drat Luar 6 x 1/8 inch
6. Pipa Pvc 1.5 inch

Dalam melakukan suatu proses pengecatan tentunya dibutuhkan sebuah *storage cat* atau tempat penyimpanan cat sebelum suatu cat disebar, oleh sebab itu pada penelitian robot lengan pengecatan ini dibutuhkan sebuah tabung penyimpanan cat. Tabung penyimpanan cat yang dibutuhkan tidak perlu terlalu besar dimensinya mengingat durasi waktu yang diperlukan tidak lama, maka tabung yang akan dibangun pada penelitian ini merupakan sebuah tabung penyimpanan cat mini dengan volume  $\pm 150$  ml yang menggunakan material berupa pvc seperti pada gambar 4.9.

Dalam merancang sebuah tabung penyimpanan mini dengan volume 150 ml berbahan pvc pastinya membutuhkan pemikiran dan beberapa komponen part agar suatu perancangan dapat terealisasi untuk membangun sebuah tabung penyimpanan cat, oleh sebab itu maka rancangan pembuatan tabung penyimpanan ini dimulai dengan penggunaan dop pipa pvc 1.5 inch (1) yang diperlukan sebagai alas sekaligus penutup bawah pada tabung penyimpanan cat. Dop pipa pvc 1.5 inch kemudian disambungkan dengan pipa pvc 1.5 inch (6) dengan panjang 9.7 cm dan terbentuklah sebuah tabung. Namun agar sebuah tabung cat dapat dibuka dengan mudah untuk melakukan pengisian ulang pada cat, maka dibutuhkan sebuah sok drat luar pipa pvc 1.5 inch (3) untuk disambungkan pada pipa pvc. Sok drat luar merupakan sebuah soket sambungan pipa yang pada sisinya memiliki sebuah drat atau ulir yang dapat dilepas pasang penggunaannya pada sesama ulir, namun pada sisi satunya lagi adalah sebuah soket sambungan pipa yang digunakan secara permanen.

Selanjutnya pada bagian atas pada tabung penyimpanan dibutuhkan sebuah dop drat pipa galvanis dengan ukuran 1.5 inch (4) untuk di terapkan sebagai penutup yang dapat dilepas pasang pada tabung penyimpanan cat. Penggunaan bahan galvanis pada bagian penutup bertujuan selain tahan terhadap udara bertekanan bahan galvanis juga tahan dilakukan proses pengelasan. Pada bagian atas tutup tabung atau atas dop drat pipa galvanis terdapat tiga lubang yang akan dipasangkan empat nipple pneumatic slip lock drat luar 6 x 1/8 inch (5) dengan konfigurasi tiga diatas dan yang satu dengan posisi terbalik berada dibawah nipple tengah, pemakaian nipple pneumatic diperlukan untuk memudahkan tabung penyimpanan dalam menyambungkan dengan selang Pu (2).

Tabung yang dirancang tentunya harus *vacuum* terhadap udara dengan tujuan agar nantinya cat dapat terpompa naik ke atas apabila diisi oleh udara bertekanan. Pada tiga lubang yang dibuat memiliki tiga tujuan berbeda dimana pada lubang pertama sebagai jalur tempat masuknya udara bertekanan, lubang kedua sebagai jalur tempat keluarnya cat, dan lubang ketiga sebagai tempat keluarnya udara bertekanan.

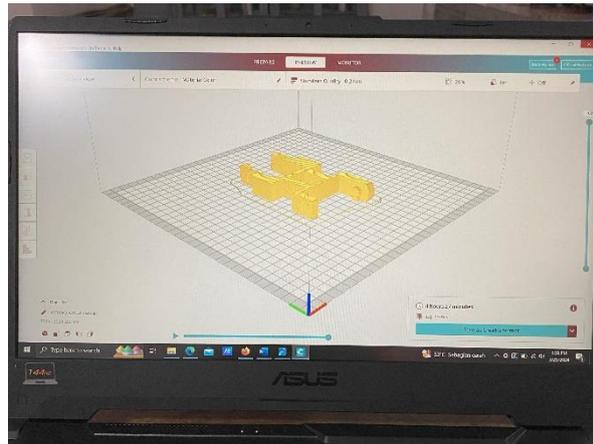
## **4.2 Pembuatan Robot Lengan**

### **4.2.1 Pembuatan dan Perakitan Body Robot Lengan**

Setelah melakukan proses pendesainan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan proses pencetakan body robot lengan dengan menggunakan printer 3 dimensi, namun sebelum melakukan proses pencetakan tentunya harus melalui beberapa tahap terlebih dahulu dimana yaitu mengkonversikan jenis file hasil desain yang dibuat menggunakan aplikasi *CAD solidworks* kedalam bentuk file *STL*. Proses pengkonversi jenis file dilakukan dengan tujuan agar file desain dapat diimpor dan dibaca oleh aplikasi lain untuk tahap berikutnya.

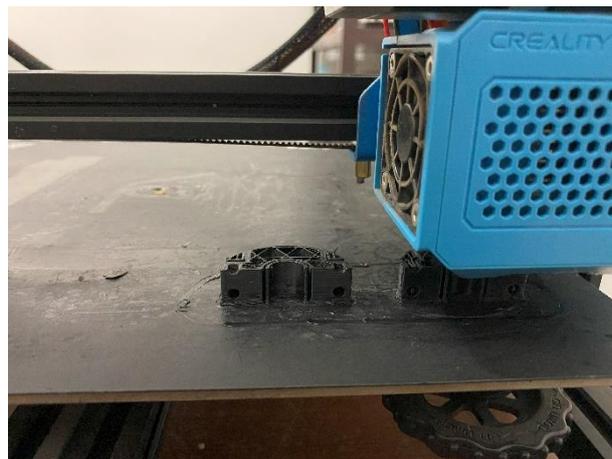
Setelah dilakukan proses pengkonversian jenis file, maka tahap berikutnya adalah melakukan proses penyesuain letak gambar desain dengan menggunakan aplikasi *creality slicer* seperti pada gambar 4.10 .

Tahap ini merupakan proses penentuan posisi secara simulasi dimana ingin meletakkan hasil desain untuk dilakukan proses pencetakan 3 dimensi.



Gambar 4.10 Aplikasi *Creality Slicer*

Kemudian setelah proses simulasi penentuan posisi pencetakan selesai, maka tahap berikutnya adalah menyimpan atau mensave hasil simulasi penyesuaian posisi ke dalam bentuk file *G-code* dengan tujuan agar file tersebut dapat dibaca dan di proses oleh mesin printer 3 dimensi seperti gambar 4.11 . Dalam proses pencetakan, bahan baku yang digunakan adalah filamen *pla+* berwarna hitam dengan diameter 1.75 mm.



Gambar 4.11 Mesin 3D Printing

Selanjutnya setelah tahap pencetakan desain selesai, maka dilakukannya tahap *finishing* yaitu suatu proses penghalusan secara manual dengan menggunakan kikir pada permukaan hasil cetakan seperti gambar 4.12, tahap ini dilakukan karena terdapat permukaan tidak merata yang

mungkin di sebabkan dari bekas sisa – sisa pencetakan dalam proses cetak atau disebabkan karena adanya faktor kualitas hasil cetak mesin print yang memiliki *offside* sebesar 0.02 mm yang mungkin dapat memengaruhi kehalusan permukaan serta akurasi dimensi pada komponen robot. Oleh karena itu proses penghalusan dilakukan agar mendapatkan permukaan serta kualitas komponen robot yang halus dan akurat sesuai dengan yang dibutuhkan.



Gambar 4.12 Proses Penghalusan Menggunakan Kikir

Setelah proses finishing selesai, tahap berikutnya seperti gambar 4.13 adalah melakukan penyesuaian pada motor servo yang dipakai untuk dilakukan penyetelan posisi awal suatu sudut motor servo dengan posisi sudut yang diinginkan dengan tujuan agar nantinya motor servo dapat bergerak bebas sesuai dengan pergerakan robot, proses ini dilakukan karena terbatasnya ruang pergerakan yang dimiliki oleh motor servo dan robot.



Gambar 4.13 Penyesuaian Sudut Motor Servo

Dalam melakukan proses penyetingan, mikrokontroler yang digunakan merupakan arduino nano dengan program khusus yaitu dapat mengetahui besaran sudut dalam melakukan proses penyetingan posisi sudut motor servo.

Jika semua bagian robot lengan telah selesai dibuat dan dikikir, maka tahap berikutnya adalah melakukan proses perakitan pada robot lengan. Tahap ini merupakan suatu proses menyatukan atau menyusun dengan menggunakan sekrup pada setiap bagian lengan satu persatu sehingga terbentuk sebuah robot lengan secara utuh. Dalam proses menyatukan, tentunya harus memperhatikan langkah penyusunan bagian mana yang terlebih dahulu dimulai agar tidak timbul bingung dan keliru dalam proses perakitan.

Oleh sebab itu, langkah pertama pada tahap perakitan robot lengan adalah melakukan pemasangan motor servo pertama bersama *servo horn* yang sudah disesuaikan sudutnya kedalam bagian dasar (*base*) seperti gambar 4.14 dengan memperhatikan posisi motor yaitu menghadap ke atas *base*. Hal ini sebelumnya setiap motor servo telah dipasangkan cover motor servo yang bersamaan dengan sekrupnya. Pemasangan motor servo pada base diperkuat dengan adanya lubang sekrup yang telah disediakan untuk memastikan motor servo kokoh selama berada didalam base.



Gambar 4.14 Pemasangan Motor Servo Ke Dalam *Base*

Kemudian dilanjutkan dengan melakukan pemasangan bagian dasar atas (*upper base*) ke sisi atas *base*, tepatnya mendudukkan *upper base* diatas *servo horn* pada motor servo pertama seperti gambar 4.15 . Perakitan *upper base* diperkuat dengan dilakukannya pemasangan sekrup yang langsung mengikat pada *servo horn*. Pemasangan *upper base* juga dipermudah dengan adanya coakan atau dudukan khusus untuk *servo horn* pada sisi bawah *upper base*, tentunya dengan adanya hal ini dapat membuat *upper base* lebih seimbang dan kokoh.



Gambar 4.15 Perakitan *Upper Base*

Langkah berikutnya adalah melakukan pemasangan motor servo bersamaan dengan *servo horn* pada masing – masing tempatnya seperti motor servo kedua dilakukan pemasangan pada *upper base*, motor servo ketiga dilakukan pemasangan pada lengan (*link*) kesatu, dan motor servo keempat dilakukan pemasangan pada lengan (*link*) kedua. Setiap proses pemasangan ini tentunya di perkuat juga dengan pemasangan sekrup untuk mengikat setiap bagian.

Setelah motor servo dua, tiga, dan empat selesai dipasangkan, selanjutnya dilakukan perakitan bagian lengan pada robot lengan dengan menyambungkan atau menghubungkan setiap lengan – lengan pada *upper base* yang telah di rakit seperti gambar 4.16 , hal ini tentunya dibarengi dengan dilakukannya pemasangan part penghubung *servo horn* pada motor

servo dua, dan tiga dengan menggunakan sekrup yang membuat setiap lengan dapat terhubung.



Gambar 4.16 Perakitan Lengan Terhadap *Upper Base*

Sesudah selesai seluruh bagian lengan pada robot lengan dirakit pada *upper base*, langkah selanjutnya adalah melakukan perakitan *end effector* pada robot lengan seperti gambar 4.17. Tentunya sebelum dilakukan perakitan bagian *end effector* pada robot lengan, dilakukan proses pemasangan *nozzle sprayer* pada covernya terlebih dahulu, kemudian dilanjut dengan menyambungkan *cover nozzle sprayer* yang sudah dirakit pada bagian *end effector*. Setelah proses cover dipasang dan dirakit pada *end effector* selesai, maka langkah terakhir adalah melakukan pemasangan bagian *end effector* pada robot lengan yang tepatnya pada motor servo keempat secara utuh dengan di barengi pemasangan part sambungan *servo horn* pada motor servo keempat. Pada setiap proses pemasangan tentunya di perkuat dengan pemasangan sekrup pada setiap sambungan bagian.



Gambar 4.17 Pemasangan Bagian *End Effector*

Sesudah pemasangan *end effector* selesai, langkah terakhir adalah memantau, dan memastikan semua part atau bagian pada robot lengan serta sekrup terpasang dengan baik secara utuh sehingga membuat robot lengan dapat bergerak dengan optimal.

#### 4.2.2 Pembuatan Tabung Penyimpanan Cat

Sebelum masuk ke tahap pembuatan tabung, tentunya harus mempersiapkan bahan - bahannya terlebih dahulu yaitu seperti pipa pvc 1 ½ inch, tutup dop pipa pvc biasa berukuran 1 ½ inch, tutup dop drat pipa galvanis berukuran 1 ½ inch, sok drat luar pvc berukuran 1 ½ inch, dan nipple drat pneumatic dengan ukuran 6 mm x 1/8 inch.

Setelah semua bahan selesai di kumpulkan, langkah selanjutnya adalah memotong pipa pvc 1 ½ inch yang telah diukur sebesar 9.7 cm dengan menggunakan gergaji pipa seperti gambar 4.18. Pemotongan dilakukan sesuai dengan ukuran secara hati – hati dan teliti agar dapat menghasilkan bentuk pemotongan yang rapi dan presisi. Kemudian setelah selesai dilakukan pemotongan, dilanjutkan dengan melakukan pemasangan serta pemberian lem pvc pada tutup dop pipa pvc dan sok drat luar pvc terhadap pipa yang telah dipotong. Proses pemasangan dilakukan pada sisi atas dan sisi bawah pipa yang dimana pada sisi bawah pipa dipasangkan dengan dop pipa pvc sedangkan pada sisi atas pipa dipasangkan dengan sok drat luar pvc sehingga terbentuk seperti sebuah tabung yang memiliki drat di luarnya.



Gambar 4.18 Proses Pemotong Pipa Pvc

Setelah selesai melakukan pemotongan dan pemasangan, langkah selanjutnya adalah melakukan pengeboran pada dop drat pipa galvanis 1 ½ inch yang dimana tahap ini dikerjakan dengan mesin *milling emco f3* seperti gambar 4.19 untuk melubangi sisi luar atas pada dop pipa galvanis. Proses ini juga dilakukan menggunakan mata *drill* berukuran 9 mm untuk mengebor tiga titik pelubangan secara sejajar. Pengeboran tiga titik dilakukan dengan tujuan sebagai jalur tempat sebuah cat dapat berjalan mengalir keluar dan berhenti. Dalam hal pengerjaan, proses pengeboran harus dikerjakan dengan jarak yang seimbang dan presisi yaitu dengan jarak pelubangan yang tidak boleh terlalu berada di sisi pinggir luar permukaan dop, hal ini di khawatirkan proses pelubangan dapat mengenai ulir drat yang berada di dalam dop.



Gambar 4.19 Proses Pengeboran Bagian Dop Drat Galvanis

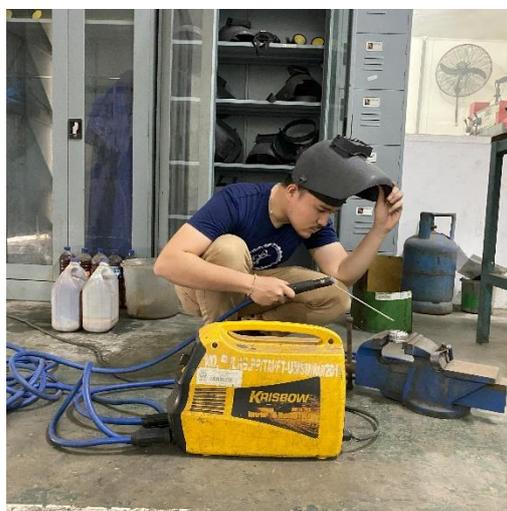
Setelah proses pengeboran selesai dikerjakan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan proses pengetapan pada lubang yang telah dilakukan pengeboran. Proses pengetapan atau pembuatan ulir dilakukan secara manual dengan menggunakan tangan pada lubang sebelah sisi kanan dan kiri dengan menggunakan mata tap berukuran 1/8 inch seperti gambar 4.20. Proses pembuatan ulir ini dilakukan dengan tujuan agar *nipple drat pneumatic* dapat di pasang pada kedua lubang yang telah dilakukan pengetapan, namun pada lubang yang di tengah perlu dilakukan pengerjaan

tambahan agar dapat memasang 2 *nipple drat pneumatic* secara timbal balik yang berada di luar dan di dalam dop pipa galvanis.



Gambar 4.20 Proses Pengetapan atau Pembuatan Ulir

Oleh sebab itu setelah proses pengetapan selesai dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan proses pengelasan pada lubang bagian tengah yang telah dilakukan proses pengeboran seperti gambar 4.21. Proses pengelasan dikerjakan dengan menggunakan mesin las berjenis listrik untuk merekatkan sebuah mur secara timbal balik pada lubang bagian tengah dop pipa galvanis. Dalam proses pengerjaannya, mur yang dipakai merupakan sebuah mur berulir atau drat halus yang dapat dipasangkan pada *nipple drat pneumatic* berukuran 1/8 inch.



Gambar 4.21 Proses Pengelasan Dop Drat Pipa

Setelah proses pengelasan selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan uji kebocoran pada hasil pengelasan mur terhadap dop pipa galvanis seperti gambar 4.22 . Proses pengujian dilakukan dengan cara memasang tutup dop drat pipa galvanis pada tabung penyimpanan cat yang sudah selesai dirakit, kemudian isi udara bertekanan pada tabung penyimpanan cat, setelah itu tutup semua lubang pada tabung penyimpanan cat, terakhir berikan air sabun pada hasil pengelasan dengan menggunakan kuas. Apabila pada saat melakukan pengujian terdapat kebocoran dengan adanya gelembung yang keluar dari hasil pengelasan, maka tandai titik gelembung tersebut kemudian segera perbaiki kebocoran. Ulangi langkah ini secara terus menerus sampai tidak di temukannya suatu kebocoran.



Gambar 4.22 Uji Kebocoran Tabung Penyimpanan Cat

Setelah pengujian hasil pengelasan selesai, maka langkah selanjutnya adalah merakit setiap komponen pada dop drat pipa galvanis. Proses perakitan dop drat pipa galvanis dilakukan dengan memberikan *nipple drat pneumatic* serta selang *polyurethane* pada setiap lubang dop drat pipa.

### 4.3 Hasil Pembuatan Robot Lengan Pengecatan

#### 4.3.1 Hasil Pembuatan Body Robot Lengan Dan *End Effector* Cat



Gambar 4.23 (a) Body Robot Lengan Dan (b) *End Effector* Cat

Pada gambar 4.23 bagian (a) merupakan sebuah body robot lengan dari hasil perancangan yang telah selesai dilakukan proses pembuatan serta perakitan sesuai pada langkah – langkah pengerjaannya. Robot ini merupakan sebuah *type* robot lengan *articulated manipulator* yang memiliki 4 DOF yaitu motor servo MG996r yang dapat bergerak 180 derajat, serta sebuah robot lengan yang mempunyai *end effector* berupa *nozzle sprayer* seperti pada gambar 4.23 (b) untuk melakukan suatu proses pengecatan.

#### 4.3.2 Hasil Pembuatan Tabung Penyimpanan Cat



Gambar 4.24 Hasil Pembuatan Tabung Penyimpanan Cat

Pada gambar 4.24 merupakan sebuah tabung penyimpanan cat dari hasil perancangan yang telah selesai dilakukan proses pembuatan serta pemasangan sesuai pada langkah – langkah pengerjaannya, dengan hal ini sehingga tabung dapat digunakan dengan optimal sistemnya untuk melakukan sebuah proses pengecatan. Pada sisi atas tutup tabung terdapat tiga buah *nipple pneumatic* yang dibuat dengan tujuan sebagai tempat jalur sistem pengecatan bekerja.

#### 4.4 Hasil Pengujian Robot Lengan Pengecatan

Pengujian dilakukan setelah robot lengan telah dipastikan dapat bergerak. Pengujian diawali dengan pemilihan koordinat yang nantinya akan diubah menjadi output untuk sudut servo. Selanjutnya pengujian dilakukan dengan menuliskan program pengujian untuk proses penyemprotan. Robot lengan penyemprotan diposisikan di hadapan specimen berupa platform tempat dilakukan penyemprotan cat. *Nozzle* penyemprotan memiliki jarak minimal 10 cm dari specimen pengujian.

Hasil pengujian robot lengan penyemprotan adalah :

Tabel 4.1 Tabel Hasil Pengujian Robot Lengan Penyemprotan

Pengujian	Cakupan (cm <sup>2</sup> )	Waktu (Detik)	Jumlah cat (Gram)
1	2100	15	66.3
2	1752	13	57.5
3	1495	12	52.6
4	1250	10	44.2
5	1980	14	61.4
Rata-Rata	1715.4	12.8	56.4

Berdasarkan tabel 4.1 diatas, dapat diketahui rata-rata cakupan cat dalam pengujian adalah sebesar 1715.4 cm<sup>2</sup> dan rata-rata waktu yang digunakan untuk melakukan proses cat dalam pengujian adalah 12.8 detik. Adapun *volume* cat yang digunakan dicari menggunakan rumus konversi dengan berat jenis cat sebesar 0.9 g/ml sebagai berikut:

$$V = \frac{\text{Massa}}{\text{Berat jenis}}$$

Tabel 4.2 Tabel Konversian

Pengujian	Massa Cat (gram)	Volume Cat (ml)
1	66.3	73.67
2	57.5	63.89
3	52.6	58.45
4	44.2	49.12
5	61.4	68.23
Rata-Rata	56.4	62.672

Pada pengujian pertama, hasil pengecatan dapat dilihat pada gambar 4.25 dibawah ini. Pada pengujian ini diperlukan 66.3 gram cat atau 73.67 ml cat untuk mengecat *specimen* dengan cakupan 2100 cm<sup>2</sup> atau 0.21 m<sup>2</sup> dengan waktu pengecatan sebesar 15 detik.



Gambar 4.25 Hasil Pengujian Pertama

Pada pengujian kedua, hasil pengecatan dapat dilihat pada gambar 4.26 dibawah ini. Pada pengujian ini diperlukan 57.5 gram cat atau 63.89 ml cat untuk mengecat *specimen* dengan cakupan 1752 cm<sup>2</sup> atau 0,1752 m<sup>2</sup> dengan waktu pengecatan sebesar 13 detik.



Gambar 4.26 Hasil Pengujian Kedua

Pada pengujian ketiga, hasil pengecatan dapat dilihat pada gambar 4.27 dibawah ini. Pada pengujian ini diperlukan 52.6 gram cat atau 58.45 ml cat untuk mengecat *specimen* dengan cakupan 1495 cm<sup>2</sup> atau 0,1495 m<sup>2</sup> dengan waktu pengecatan sebesar 12 detik.



Gambar 4.27 Hasil Pengujian Ketiga

Pada pengujian keempat, hasil pengecatan dapat dilihat pada gambar 4.28 dibawah ini. Pada pengujian ini diperlukan 44.2 gram cat atau 49.12 ml cat untuk mengecat *specimen* dengan cakupan 1250 cm<sup>2</sup> atau 0,125 m<sup>2</sup> dengan waktu pengecatan sebesar 10 detik.



Gambar 4.28 Hasil Pengujian Keempat

Pada pengujian kelima, hasil pengecatan dapat dilihat pada gambar 4.29 dibawah ini. Pada pengujian ini diperlukan 61.4 gram cat atau 68.23 ml cat untuk mengecat *specimen* dengan cakupan 1980 cm<sup>2</sup> atau 0,198 m<sup>2</sup> dengan waktu pengecatan sebesar 14 detik.



Gambar 4.29 Hasil Pengujian Kelima

Adapun rata-rata penggunaan cat dalam percobaan sebesar 62,672 ml cat. *Effisiensi* waktu dan penggunaan cat dapat dicari dengan menggunakan rumus *effisiensi* berikut:

$$efisiensi\ cat = \frac{jumlah\ cat}{luas\ cakupan\ cat}$$

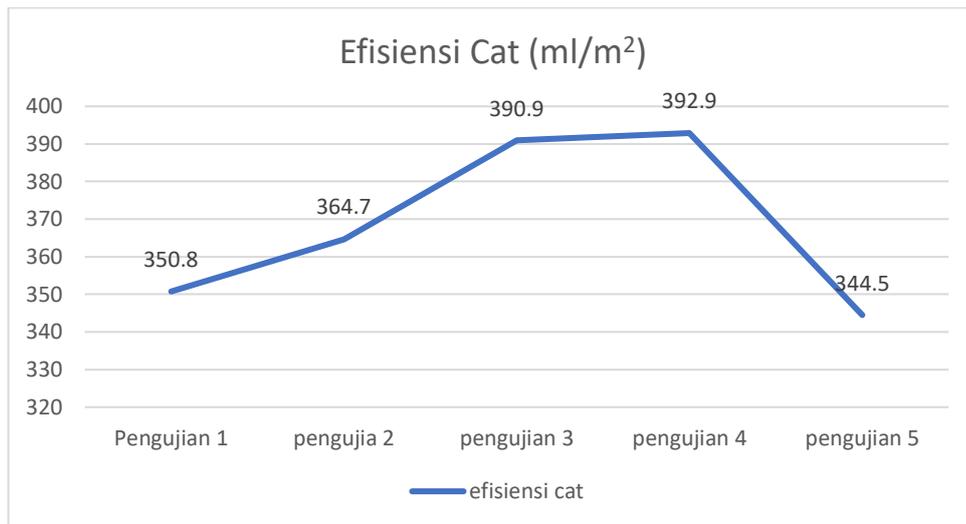
$$efisiensi\ waktu = \frac{waktu\ pengecatan}{luas\ cakupan\ cat}$$

Adapun *efisiensi* penggunaan cat dan *efisiensi* waktu pengecatan dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut ini :

Tabel 4.3 *Efisiensi* Penggunaan Cat Dan Efisiensi Waktu

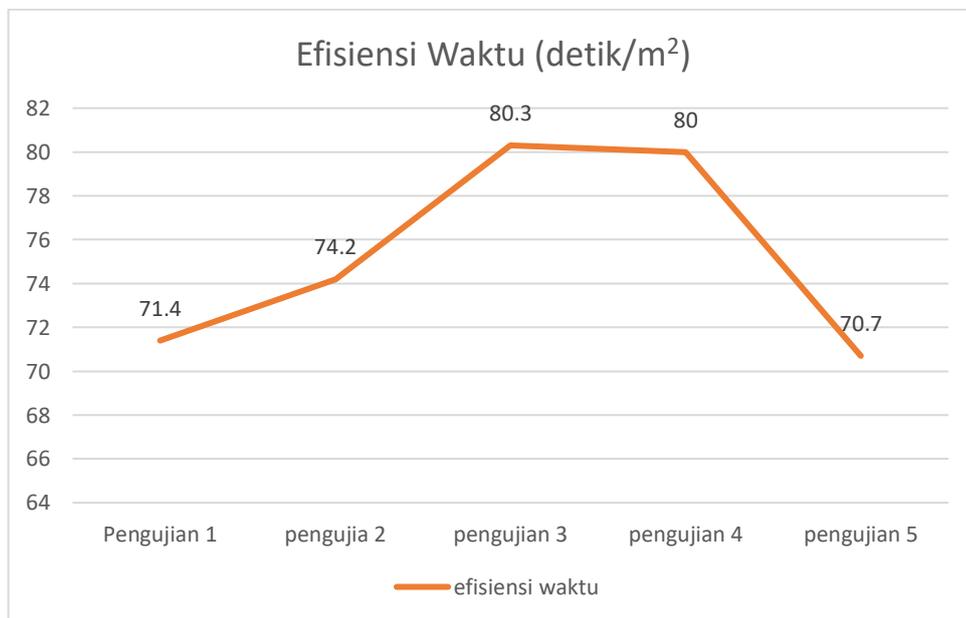
Pengujian	Efisiensi cat (ml/m <sup>2</sup> )	Efisiensi waktu (detik/m <sup>2</sup> )
1	350.8	71.4
2	364.7	74.2
3	390.9	80.3
4	392.9	80
5	344.5	70.7
Rata-rata	365.3	74.6

Adapun *efisiensi* penggunaan cat dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4.30 Grafik *Efisiensi* Penggunaan Cat

Adapun *efisiensi* waktu pengecatan dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4.31 Grafik *Efisiensi* Waktu Pengecatan

Dari tabel 4.3 dapat dilihat rata-rata *efisiensi* penggunaan cat sebesar 365.3 ml/m<sup>2</sup>, Dimana untuk mengecat permukaan dengan cakupan 1 m<sup>2</sup> membutuhkan rata-rata 365.3 ml cat atau 0.3653 liter cat. Sedangkan rata-rata efisiensi waktu pengecatan adalah 74.6 detik/m<sup>2</sup>, Dimana untuk mengecat permukaan dengan cakupan 1 m<sup>2</sup> membutuhkan waktu sebesar 74.6 detik atau 1.46 menit.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian tugas akhir adalah sebagai berikut :

Perancangan dan pembuatan dimulai dengan melakukan perancangan pada sistem penyemprotan terlebih dahulu, perancangan ini dilakukan dengan sistem penyemprotan secara otomatis pada saat robot lengan memerlukan proses pengecatan yang tentunya didukung oleh komponen – komponen pendukungnya. Perancangan robot lengan dilakukan dengan mendesain robot lengan bagian bawah (*base*), bagian atas bawah (*upper base*), bagian lengan (*link*), *cover servo* dan penghubung *servo horn*, serta bagian *end effector*. Perancangan tabung penyimpanan cat berkapasitas 150 ml dengan menggunakan material jenis pvc yang tahan terhadap udara bertekanan.

Pembuatan robot lengan dilakukan dengan menggunakan mesin 3D printing yang dilanjutkan dengan proses pengikiran dan penyesuaian sudut servo sebelum di lakukannya proses perakitan body robot lengan. Proses pembuatan tabung penyimpanan cat dilakukan dengan proses pemotongan sesuai ukuran dan penyambungan komponen tabung dengan menggunakan lem, pada tutup tabung dilakukan proses pengeboran 3 titik dan pengelasan jalur pemasangan *nipple pneumatic* yang setelah itu melakukan uji kebocoran.

Pengujian dilakukan setelah robot lengan telah dipastikan dapat bergerak. Pengujian diawali dengan pemilihan koordinat yang nantinya akan diubah menjadi output untuk sudut servo. Selanjutnya pengujian dilakukan dengan menuliskan program pengujian untuk proses penyemprotan. Robot lengan penyemprotan diposisikan di hadapan *specimen* berupa platform tempat dilakukan penyemprotan cat. *Nozzle* penyemprotan memiliki jarak minimal 10 cm dari *specimen* pengujian.

Hasil pengujian mendapatkan nilai rata-rata *efisiensi* penggunaan cat sebesar 365.3 ml/m<sup>2</sup>, Dimana untuk mengecat permukaan dengan cakupan 1 m<sup>2</sup> membutuhkan rata-rata 365.3 ml cat atau 0.3653 liter cat. Sedangkan rata-rata *efisiensi* waktu pengecatan adalah 74.6 detik/m<sup>2</sup>, Dimana untuk mengecat permukaan dengan cakupan 1 m<sup>2</sup> membutuhkan waktu sebesar 74.6 detik atau 1.46 menit.

#### **4.2 Saran**

Adapun saran pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Diharap menggunakan motor servo yang mampu berputar 360 derajat serta mempunyai aspek rasio gigi tambahan yang lebih halus.
2. Dapat mengembangkan sistem pengecatan dengan sistem yang lebih kompleks lagi.
3. Dapat memilih atau menemukan *nozzle* cat yang lebih sempurna lagi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, B., Iqbal, A., Saqib, R., Mirza, M. M., & Lali, A. ul M. (2019). Design and implementation of bluetooth controlled painting robot for auto industry. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 857, 359–367. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-01177-2\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01177-2_26)
- Aziz, F. A., & Puriyanto, R. D. (2019). Rancang Bangun Mesin Pengecat Dinding Otomatis Berbasis PLC CP1E-NA20DR-A. *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, 1(3), 118–130. <https://doi.org/10.12928/biste.v1i2.1050>
- Ben-Ari, M., & Mondada, F. (2018). *Elements of Robotics*. Springer International Publishing. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-62533-1>
- Didi, M., Marindani, D., & Elbani, A. (2016). Rancang Bangun Pengendalian Robot Lengan 4 DOF dengan GUI (Graphical User Interface) Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 1, 1–11. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/14580>
- Firman, Y., Utama, S., & Pd, M. T. (2018). *Teknologi Pengecatan Kendaraan Bermotor* (Y. Firman, S. Utama, & M. T. Pd, Eds.; 1.1). ResearchGet. [https://www.researchgate.net/profile/Firman-Yasa-Utama-2/publication/327393813\\_Teknologi\\_Pengecatan\\_Kendaraan\\_Bermotor/links/5b8cf7f6299b1d5a73a3a87/Teknologi-Pengecatan-Kendaraan-Bermotor.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Firman-Yasa-Utama-2/publication/327393813_Teknologi_Pengecatan_Kendaraan_Bermotor/links/5b8cf7f6299b1d5a73a3a87/Teknologi-Pengecatan-Kendaraan-Bermotor.pdf)
- Gasparetto, A., & Scalera, L. (2019). A Brief History of Industrial Robotics in the 20th Century. *Advances in Historical Studies*, 08(01), 24–35. <https://doi.org/10.4236/ahs.2019.81002>
- Hari Arief Dharmawan. (2017). Mikrokontroler Konsep Dasar dan Praktis. In *UB Press*. <https://books.google.com/books/about/Mikrokontroler.html?hl=id&id=GQJO DwAAQBAJ>
- Iliukhin, V. N., Mitkovskii, K. B., Bizyanova, D. A., & Akopyan, A. A. (2017). The Modeling of Inverse Kinematics for 5 DOF Manipulator. *Procedia Engineering*, 176, 498–505. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.349>
- Islahudin, N. (2019). TEKNOLOGI PROSES PENGECATAN MENGGUNAKAN SISTEM ATOMISASI PADA PRODUK BERBAHAN PLASTIK DI INDUSTRI PERAKITAN SEPEDA MOTOR. *UMJ SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 13(1), 1–11. <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/sintek>
- Jadeja, Y., & Pandya, B. (2019). Design And Development Of 5-DOF Robotic Arm Manipulators. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH*, 8(11). [www.ijstr.org](http://www.ijstr.org)

- Maududy, R., & Nursamsi, D. R. (2023). Pengembangan Real-Time Monitoring dan Data Logging Berbasis Web Pada Proses Robot Painting untuk Meningkatkan Efisiensi Produksi. *Informatics And Digital Expert (INDEX)*, 5(2), 89–94. <https://e-journal.unper.ac.id/index.php/informatics>
- Nu'man, H. S., Sofyan, Y., & Al Tahtawi, A. R. (2020). Pengendalian Robot Lengan Pemilah Benda Berdasarkan Bentuk Menggunakan Teknologi Computer Vision. *SEMNASTERA (Seminar Nasional Teknologi Dan Riset Terapan)*, 2, 1–7. <https://semnastera.polteksmi.ac.id/index.php/semnastera/article/view/110>  
<https://semnastera.polteksmi.ac.id/index.php/semnastera/article/view/110>
- Prasetyawan, P., Ferdianto, Y., Ahdan, S., & Trisnawati, F. (2018). Pengendali Lengan Robot Dengan Mikrokontroler Arduino Berbasis Smartphone. *Jurnal Teknik Elektro ITP*, 7(2), 104–109. <https://doi.org/10.21063/jte.2018.3133715>
- Singh, K. (2021). *Working of Robotic Arm in Industries*. 38. [https://www.researchgate.net/publication/353478116\\_WORKING\\_OF\\_ROBOTIC\\_ARM\\_IN\\_INDUSTRIES](https://www.researchgate.net/publication/353478116_WORKING_OF_ROBOTIC_ARM_IN_INDUSTRIES)
- Singh, T. P., Suresh, P., & Chandan, S. (2017). Forward and Inverse Kinematic Analysis of Robotic Manipulators. *International Research Journal of Engineering and Technology*. [www.irjet.net](http://www.irjet.net)
- Suari, M. (2017). Pemanfaatan Arduino nano dalam Perancangan Media Pembelajaran Fisika. *Natural Science Journal*, 3(2), 1–7. <https://ejournal.uinib.ac.id/jurnal/index.php/naturalscience/article/view/443/363>
- Sujarwata. (2013). Pengendali Motor Servo Berbasis Mikrokontroler Basic Stamp 2SX untuk Mengembangkan Sistem Robotika. *Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang (UNNES) Semarang*, 5(1). [http://stta.name/data\\_lp3m/sujarwata.pdf](http://stta.name/data_lp3m/sujarwata.pdf)
- Sumarsono, & Wahyu Saptaningtyas, D. (2018). Pengembangan Mikrokontroler sebagai Remote Control Berbasis Android. *JURNAL TEKNIK INFORMATIKA*, 11(1), 67–74. <https://doi.org/10.15408/jti.v11i1.6293>
- Triawan, Y., & Sardi, J. (2020). Perancangan Sistem Otomatisasi pada Aquascape Berbasis Mikrokontroler Arduino Nano. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 1(2). <https://doi.org/10.24036/jtein.v1i2.30>
- Zbiss, K., Kacem, A., Santillo, M., & Mohammadi, A. (2022). Automatic Collision-Free Trajectory Generation for Collaborative Robotic Car-Painting. *IEEE Access*, 10, 9950–9959. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3144631>

## **LAMPIRAN**

## LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

### PERANCANGAN DAN PEMBUATAN END EFFECTOR NOZZLE CAT DAN SISTEM PENYEMPROTAN PADA ROBOT LENGAN 4 DERAJAT KEBEBASAN

Nama : Rangga Fiqri Hasibuan

NPM : 1907230139

Dosen Pembimbing : Khairul Umurani, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	3/5 2023	Revisi Latar Belakang dan Tujuan	u
2.	14/6 2023	Perbaiki Bab 2	u
3.	26/6 2023	Perbaiki Alat/Bahan dan Prosedur	u
4.	3/7 2023	Acc, Seminar Proposal	u
5.	9/1 2024	Perbaiki Bab 3	u
6.	7/2 2024	Perbaiki Bab 4	u
7.	22/2 2024	Revisi Kesimpulan	u
8.	26/3 2024	Acc, Seminar Hasil	u
9.	22/5 2024	Acc, Skripsi	u

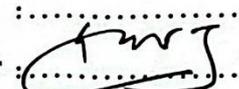
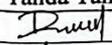
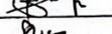
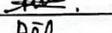
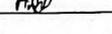
**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK – UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2023 – 2024**

Peserta seminar

Nama : Rangga Fiqri Hasibuan

NPM : 1907230139

Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Lengan (ARM) Robot 4 Degrees Of Freedom Untuk Proses Pengecatan

DAFTAR HADIR		TANDA TANGAN	
Pembimbing – I : Khairul Umurani, ST, MT		:.....	
Pembanding – I : Munawar Alfansury Siregar, ST, MT		:..... 	
Pembanding – II : Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT		:..... 	
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	2007230070	MHD. Rizal Kusnayan	
2	2007230039	Imam Ndawijaya	
3	1907270160	Dimas SETYO HARU	
4	1907230166	A-Gurcer Thi Marwan	
5	1907230172	DICKY RAHMANTY SYAHRIL	
6	1907230176	Muhammad Dafta	
7	1907230009	Haifa Andri pasanibu	
8	1907230104	RUSTAM EPENDI	
9	1907230077	ARIS SANDI LEMAND	
10			

Medan, 17 Syawal 1445 H  
26 April 2024 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

Nama : Ranga Fiqri Hasibuan  
NPM : 1907230139  
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Lengan (ARM) Robot 4 Degrees Of Freedom Untuk  
Proses Pengecatan

Dosen Pembanding – I : Munawar Alfansury Siregar, ST, MT  
Dosen Pembanding – II : Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT  
Dosen Pembimbing – I : Khairul Umurani, ST, MT

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :  
*Perbaikan: Substansi pengelasan terkait judul dan latar belakang (pendahuluan dan hasil).*
3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :  
.....  
.....  
.....  
.....

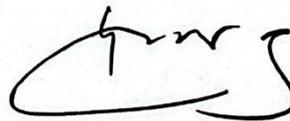
Medan, 17 Syawal 1445 H  
26 April 2024 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- I



Munawar Alfansury Siregar, ST, MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

Nama : Rangga Fiqri Hasibuan  
NPM : 1907230139  
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Lengan (ARM) Robot 4 Degrees Of Freedom Untuk  
Proses Pengecatan

Dosen Pembanding – I : Munawar Alfansury Siregar, ST, MT  
Dosen Pembanding – II : Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT  
Dosen Pembimbing – I : Khairul Umurani, ST, MT

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
- ② Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain : *perbaiki*  
.....  
①. *Prosedur disesuaikan dgn tugas*  
.....  
②. *Hasil disesuaikan dengan prosedur & tugas*  
.....
3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :  
.....  
.....  
.....  
.....

Medan 17 Syawal 1445 H  
26 April 2024 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T. Mesin

Dosen Pembanding- II



Chandra A Siregar, ST, MT

Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



### A. DATA PRIBADI

Nama : Rangga Fiqri Hasibuan  
NPM : 1907230139  
Tempat/Tanggal Lahir : Rantau Prapat, 20 Maret 2001  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Status : Belum Menikah  
Agama : Islam  
Alamat : Jl.Pengabdian, Komplek Graha Pengabdian  
No. 02, Bandar Setia, Percut Sei Tuan, Deli  
Serdang, Sumatera Utara.  
No. HP/WA : 0852 6540 2595  
E -mail : [ranggafiqri20@gmail.com](mailto:ranggafiqri20@gmail.com)

Nama Orang Tua  
Ayah : Ir. H. Miswar Effendi Hasibuan  
Ibu : Hj. Eny Rosmiana Lubis  
Alamat : Jl.Pengabdian, Komplek Graha Pengabdian  
No. 02, Bandar Setia, Percut Sei Tuan, Deli  
Serdang, Sumatera Utara.

### B. DATA PENDIDIKAN

1	SDN 95 JAMBI	( 2007 – 2013 )
2	SMPN 17 JAMBI SMPN 2 KISARAN	( 2013 – 2014 ) ( 2014 – 2016 )
3	MAN 2 MODEL MEDAN	( 2016 – 2019 )
4	UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATRA UTARA	( 2019 – 2024 )