

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN END-EFFECTOR BOR MINI UNTUK PROSES DRILLING PADA LENGAN ROBOT 4 DERAJAT KEBEBASAN

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

Disusun Oleh:

DICKY RAHMAN SYAHRI HUTASUHUT
1907230172



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Dicky Rahman Syahri Hutasuhut

NPM : 1907230172

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Tugas Akhir : Perancangan Dan Pembuatan End-Effector Bor Mini Untuk
Proses Drilling Pada Lengan Robot 4 Derajat Kebebasan

Bidang Ilmu : Konstruksi Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai penelitian Tugas Akhir 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



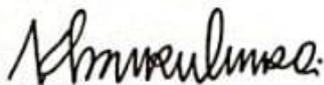
Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T

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 : Dicky Rahman Syahri Hutasuhut
Tempat /Tanggal Lahir : Bukit Tujuh /22 Mei 2001
NPM : 1907230172
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“PERANCANGAN DAN PEMBUATAN END-EFFECTOR BOR MINI UNTUK PROSES DRILLING PADA LENGAN ROBOT 4 DERAJAT KEBEBASAN”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik 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 Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 22 Mei 2024



Saya yang menyatakan,

Dicky Rahman Syahri H

ABSTRAK

Proses drilling adalah proses pembuatan lubang tertentu pada produk yang telah disesuaikan dengan rencana kerja yang ingin dibuat namun hasil penelitian menunjukkan bahwa bahwa pilot drilling dapat meningkatkan penyimpangan akurasi sebesar 22,87% Untuk mengatasi tantangan ini, industri manufaktur mulai beralih ke solusi otomatisasi industry manufaktur menggunakan lengan robot untuk drilling. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan membangun end-effector bor mini pada lengan robot 4 derajat kebebasan serta menguji pergerakannya sehingga mengoptimalkan pergerakan pada proses *drilling*. Penelitian ini dilakukan dengan merancang dan membangun end-effector dan lengan robot untuk *drilling* menggunakan lengan mekanik, aktuator motor servo, *end effector* bor *drilling* serta analisis kinematic dan program perintah menggunakan mikrokontroller arduino nano. Hasil pengujian lengan robot menggunakan metode *forward* kinematik menunjukkan error posisi relatif maksimal sebesar 6.934% dengan rata-rata error sebesar 4.381%, dan akurasi minimal sebesar 93.066%. Untuk sumbu x, error maksimal sebesar 3,378% dengan rata-rata error 1,541%, dan akurasi minimal 96.622%. Untuk sumbu y, error maksimal sebesar 4,459% dengan rata-rata error 1,225%, dan akurasi minimal 95,541%. Sedangkan pada sumbu z, error maksimal sebesar 5,135% dengan rata-rata error 3,676%, dan akurasi minimal 94.865%. Pengujian menggunakan metode *invers kinematic* menghasilkan error posisi relatif maksimal 6.778% dengan rata-rata error 4.974%, dan akurasi minimal 93,222%. Untuk sumbu x, error maksimal sebesar 2,432% dengan rata-rata error 1,099%, dan akurasi minimal 97.568%. Untuk sumbu y, error maksimal sebesar 3,243% dengan rata-rata error 1,29%, dan akurasi minimal 96.757%. Sedangkan pada sumbu z, error maksimal sebesar 5,946% dengan rata-rata error 4,541%, dan akurasi minimal 94.054%.

Kata Kunci : End-Effektor, Lengan Robot, 4 DOF, Kinematik, Pengeboran.

ABSTRACT

The drilling process is the process of creating specific holes in a product according to the planned work design. However, research shows that pilot drilling can increase accuracy deviation by 22.87%. To address this challenge, the manufacturing industry has started transitioning to automation solutions, using robotic arms for drilling. The aim of this study is to design and develop a mini drill end-effector on a 4-degree-of-freedom robotic arm and to test its movement, thereby optimizing the drilling process. This research involves designing and constructing the end-effector and robotic arm for drilling using a mechanical arm, servo motor actuators, a drill end-effector, as well as kinematic analysis and command programming using an Arduino Nano microcontroller. The test results of the robotic arm using the forward kinematics method showed a maximum relative position error of 6.934% with an average error of 4.381%, and a minimum accuracy of 93.066%. For the x-axis, the maximum error was 3.378% with an average error of 1.541%, and a minimum accuracy of 96.622%. For the y-axis, the maximum error was 4.459% with an average error of 1.225%, and a minimum accuracy of 95.541%. For the z-axis, the maximum error was 5.135% with an average error of 3.676%, and a minimum accuracy of 94.865%. Testing using the inverse kinematics method resulted in a maximum relative position error of 6.778% with an average error of 4.974%, and a minimum accuracy of 93.222%. For the x-axis, the maximum error was 2.432% with an average error of 1.099%, and a minimum accuracy of 97.568%. For the y-axis, the maximum error was 3.243% with an average error of 1.29%, and a minimum accuracy of 96.757%. For the z-axis, the maximum error was 5.946% with an average error of 4.541%, and a minimum accuracy of 94.054%.

Key Word: *End-effector, Arm Robot, 4 DOF, Kinematics, Drilling*

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 Bor Mini Untuk Proses Drilling Pada Lengan Robot 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 Proposal Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada:

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

8. 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, 22 Mei 2024



Dicky Rahman Syahri H

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Drilling	4
2.1.1 Bagian-Bagian Utama Drilling	5
2.1.2 Jenis-Jenis Drilling	6
2.1.3 Parameter Proses Drilling	7
2.1.4 Tantangan Dalam Proses Drilling	8
2.2. Lengan Robot	9
2.2.1. Bagian-Bagian Lengan Robot	10
2.2.1.1. Lengan (<i>Link</i>)	10
2.2.1.2. Sendi (<i>Joint</i>)	11
2.2.1.3. Aktuator	12
2.2.1.4. <i>End-effector</i>	13
2.2.1.5. Sistem Kontrol	13
2.2.2. Sistem Kontrol Pada Lengan Robot	15
2.2.2.1. Mikrokontroler	15
2.2.2.2. Arduino Nano	16
2.2.2.3. Arduino IDE	17
2.2.2.4. Motor Servo	17
2.2.3. Prinsip Kerja Lengan Robot	18
2.2.4. Kinematika Lengan Robot	18
2.2.4.1. Kinematika Maju	19
2.2.4.2. Kinematika Mundur	19
2.2.5. Derajat Kebebasan	20
2.2.6. Jenis-Jenis Lengan Robot	20
2.2.6.1. <i>Articulated Manipulator</i>	21
2.2.6.2. <i>Spherical Manipulator</i>	21
2.2.6.3. <i>SCARA Manipulator</i>	22

2.2.6.4. <i>Cylindrical Manipulator</i>	22
2.2.6.5. <i>Cartesian Manipulator</i>	23
2.2.7 Implementasi Lengan Robot	23
BAB 3 METODE PENELITIAN	25
3.1. Tempat dan Waktu	25
3.1.1. Tempat	25
3.1.2. Waktu	25
3.2. Alat dan Bahan	26
3.2.1. Alat	26
3.2.2. Bahan	31
3.3. Bagan Alir Penelitian	38
3.4. Rancangan Alat Penelitian	39
3.5. Prosedur Penelitian	39
3.5.1. Prosedur Perancangan	40
3.5.2. Prosedur Penggambaran CAD	41
3.5.3. Prosedur Pembuatan	66
3.5.4. Prosedur Pengujian	67
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	69
4.1. Hasil Perancangan End-Effector Dan Lengan Robot Drilling	69
4.1.1. Pengukuran Komponen Lengan Robot	70
4.1.2. Perancangan CAD Komponen Lengan Robot	70
4.1.2.1. <i>Base</i>	71
4.1.2.2. <i>Base Atas (Upper Base)</i>	72
4.1.2.3. <i>Link (Lengan)</i>	73
4.1.2.4. Penghubung	73
4.1.3 Perancangan CAD End-Effector Drilling	74
4.1.4 Diagram Wiring	75
4.1.5 Assembly Lengan Robot Drilling	75
4.2. Hasil Pembuatan End-Effector Dan Lengan Robot Drilling	76
4.2.1. Pembuatan Komponen Lengan Robot	76
4.2.2. Pembuatan End-Effector Drilling	80
4.2.3. Perakitan Lengan Robot Drilling	81
4.3. Hasil Pengujian End-Effector Dan Lengan Robot Drilling	87
4.3.1. Pengujian Metode Kinematik Maju	87
4.3.2. Pengujian Metode Kinematik Mundur	94
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	101
5.1. Kesimpulan	101
5.2. Saran	102
DAFTAR PUSTAKA	103
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Drilling</i>	4
Gambar 2.2 Lengan Robot	10
Gambar 2.3 Sendi <i>Rotary</i> dan Sendi Linier	11
Gambar 2.4 Arduino Nano	16
Gambar 2.5 Motor Servo	18
Gambar 2.6 <i>Articulated Manipulator</i>	21
Gambar 2.7 <i>Spherical Manipulator</i>	21
Gambar 2.8 <i>SCARA Manipulator</i>	22
Gambar 2.9 <i>Cylindrical Manipulator</i>	22
Gambar 2.10 <i>Cartesian Manipulator</i>	23
Gambar 3.1 Laptop	26
Gambar 3.2 3D Printer	27
Gambar 3.3 Aplikasi SolidWork	28
Gambar 3.4 Aplikasi Arduino IDE	29
Gambar 3.5 Aplikasi Matlab	30
Gambar 3.6 Kikir	30
Gambar 3.7 Jangka Sorong Digital	31
Gambar 3.8 3D Filamen	32
Gambar 3.9 Motor Servo	33
Gambar 3.10 Arduino Nano	34
Gambar 3.11 Bor <i>Drilling</i>	35
Gambar 3.12 Adaptor	36
Gambar 3.13 Relay	37
Gambar 3.14 Bagan Air Penelitian	38
Gambar 3.15 Rancangan Alat Penelitian	39
Gambar 3.16 Langkah 1 Penggambaran Base	41
Gambar 3.17 Langkah 2 Penggambaran Base	41
Gambar 3.18 Langkah 3 Penggambaran Base	41
Gambar 3.19 Langkah 4 Penggambaran Base	42
Gambar 3.20 Langkah 5 Penggambaran Base	42
Gambar 3.21 Langkah 6 Penggambaran Base	42
Gambar 3.22 Langkah 7 Penggambaran Base	43
Gambar 3.23 Langkah 8 Penggambaran Base	43
Gambar 3.24 Langkah 9 Penggambaran Base	43
Gambar 3.25 Hasil Akhir Desain Base Lengan Robot	44
Gambar 3.26 Langkah 1 Penggambaran Upper Base	44
Gambar 3.27 Langkah 2 Penggambaran Upper Base	44
Gambar 3.28 Langkah 3 Penggambaran Upper Base	45
Gambar 3.29 Langkah 4 Penggambaran Upper Base	45
Gambar 3.30 Langkah 5 Penggambaran Upper Base	45
Gambar 3.31 Langkah 6 Penggambaran Upper Base	46
Gambar 3.32 Langkah 7 Penggambaran Upper Base	46
Gambar 3.33 Langkah 8 Penggambaran Upper Base	46
Gambar 3.34 Langkah 9 Penggambaran Upper Base	47
Gambar 3.35 Langkah 10 Penggambaran Upper Base	47

Gambar 3.36 Langkah 11 Penggambaran Upper Base	47
Gambar 3.37 Langkah 12 Penggambaran Upper Base	48
Gambar 3.38 Langkah 13 Penggambaran Upper Base	48
Gambar 3.39 Langkah 14 Penggambaran Upper Base	48
Gambar 3.40 Langkah 15 Penggambaran Upper Base	49
Gambar 3.41 Hasil Akhir Desain Upper Base Lengan Robot	49
Gambar 3.42 Langkah 1 Penggambaran Link	49
Gambar 3.43 Langkah 2 Penggambaran Link	50
Gambar 3.44 Langkah 3 Penggambaran Link	50
Gambar 3.45 Langkah 4 Penggambaran Link	50
Gambar 3.46 Langkah 5 Penggambaran Link	51
Gambar 3.47 Langkah 6 Penggambaran Link	51
Gambar 3.48 Langkah 7 Penggambaran Link	51
Gambar 3.49 Langkah 8 Penggambaran Link	52
Gambar 3.50 Langkah 9 Penggambaran Link	52
Gambar 3.51 Langkah 10 Penggambaran Link	52
Gambar 3.52 Langkah 11 Penggambaran Link	53
Gambar 3.53 Langkah 12 Penggambaran Link	53
Gambar 3.54 Langkah 13 Penggambaran Link	53
Gambar 3.55 Langkah 14 Penggambaran Link	54
Gambar 3.56 Langkah 15 Penggambaran Link	54
Gambar 3.57 Langkah 16 Penggambaran Link	54
Gambar 3.58 Langkah 17 Penggambaran Link	55
Gambar 3.59 Langkah 18 Penggambaran Link	55
Gambar 3.60 Langkah 19 Penggambaran Link	55
Gambar 3.61 Langkah 20 Penggambaran Link	56
Gambar 3.62 Hasil Akhir Desain Link Lengan Robot	56
Gambar 3.63 Langkah 1 Penggambaran End-Effector	56
Gambar 3.64 Langkah 2 Penggambaran End-Effector	57
Gambar 3.65 Langkah 3 Penggambaran End-Effector	57
Gambar 3.66 Langkah 4 Penggambaran End-Effector	57
Gambar 3.67 Langkah 5 Penggambaran End-Effector	58
Gambar 3.68 Langkah 6 Penggambaran End-Effector	58
Gambar 3.69 Langkah 7 Penggambaran End-Effector	58
Gambar 3.70 Langkah 8 Penggambaran End-Effector	59
Gambar 3.71 Langkah 9 Penggambaran End-Effector	59
Gambar 3.72 Langkah 10 Penggambaran End-Effector	59
Gambar 3.73 Langkah 11 Penggambaran End-Effector	60
Gambar 3.74 Langkah 12 Penggambaran End-Effector	60
Gambar 3.75 Langkah 13 Penggambaran End-Effector	60
Gambar 3.76 Langkah 14 Penggambaran End-Effector	61
Gambar 3.77 Langkah 15 Penggambaran End-Effector	61
Gambar 3.78 Langkah 16 Penggambaran End-Effector	61
Gambar 3.79 Langkah 17 Penggambaran End-Effector	62
Gambar 3.80 Langkah 18 Penggambaran End-Effector	62
Gambar 3.81 Langkah 19 Penggambaran End-Effector	62
Gambar 3.82 Langkah 20 Penggambaran End-Effector	63
Gambar 3.83 Langkah 21 Penggambaran End-Effector	63

Gambar 3.84 Langkah 22 Penggambaran End-Effector	63
Gambar 3.85 Langkah 23 Penggambaran End-Effector	64
Gambar 3.86 Langkah 24 Penggambaran End-Effector	64
Gambar 3.87 Langkah 25 Penggambaran End-Effector	64
Gambar 3.88 Hasil Akhir Desain End-Effector	65
Gambar 3.89 Langkah 1 Penggambaran Penutup End-Effector	65
Gambar 3.90 Langkah 2 Penggambaran Penutup End-Effector	65
Gambar 3.91 Langkah 3 Penggambaran Penutup End-Effector	66
Gambar 3.92 Hasil Akhir Desain Penutup End-Effector	66
Gambar 4.1 Rancangan Tipe Lengan Robot	69
Gambar 4.2 Pengukuran Komponen Lengan Robot	70
Gambar 4.3 Penggambaran CAD Komponen Lengan Robot	71
Gambar 4.4 <i>Base</i> Lengan Robot	71
Gambar 4.5 <i>Base</i> Atas (<i>Upper Base</i>)	72
Gambar 4.6 <i>Link</i> (Lengan)	73
Gambar 4.7 (a) Penghubung <i>Servo Horn</i> (b) Penghubung <i>Cover Servo</i>	73
Gambar 4.8 <i>End-effector</i>	74
Gambar 4.9 Diagram <i>Wiring</i> Lengan Robot	75
Gambar 4.10 Hasil Rancangan Lengan Robot	75
Gambar 4.11 Penyesuaian 3D Printing	76
Gambar 4.12 Proses <i>3D Printing</i>	77
Gambar 4.13 Hasil Pencetakan Base	78
Gambar 4.14 Hasil Pencetakan Base Atas	78
Gambar 4.15 Hasil Pencetakan <i>Link</i>	79
Gambar 4.16 Hasil Pencetakan Sambungan <i>Cover Servo</i>	79
Gambar 4.17 Hasil Pencetakan Sambungan <i>Servo Horn</i>	80
Gambar 4.18 Hasil Pencetakan <i>End-effector</i>	80
Gambar 4.19 Penghalusan Komponen Lengan Robot Menggunakan Kikir	81
Gambar 4.21 Pemasangan <i>Base</i> Lengan Robot	82
Gambar 4.22 Pemasangan <i>Upper Base</i> Dan <i>Link</i>	83
Gambar 4.23 Pemasangan <i>End-Effektor</i> Bor <i>Drilling</i>	84
Gambar 4.24 Hasil Pembuatan Lengan Robot	84
Gambar 4.25 Hasil Pembuatan End-Effector Bor <i>Drilling</i> Mini	85
Gambar 4.26 Penyiapan Simulasi Matlab	86
Gambar 4.27 Pembuatan Program Lengan Robot	86
Gambar 4.28 Pemantauan Visual Lengan Robot	87
Gambar 4.29 Hasil Pengujian Posisi Lengan Robot Menggunakan Metode <i>Forward kinematic</i>	89
Gambar 4.30 Grafik Error Posisi Relatif Menggunakan Metode <i>Forward kinematic</i>	90
Gambar 4.31 Grafik Error Posisi Setiap Sumbu Menggunakan Metode <i>Forward kinematic</i>	94
Gambar 4.32 Hasil Pengujian Posisi Lengan Robot Menggunakan Metode <i>Invers kinematic</i>	95
Gambar 4.33 Grafik Error Posisi Relatif Menggunakan Metode <i>Invers Kinematic</i>	97
Gambar 4.34 Grafik Error Posisi Setiap Sumbu Menggunakan Metode <i>Invers Kinematc</i>	100

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan	25
Tabel 3.2 Spesifikasi Laptop	26
Tabel 3.3 Spesifikasi 3D Printer	27
Tabel 3.4 Spesifikasi SolidWork	28
Tabel 3.5 Spesifikasi Arduino IDE	29
Tabel 3.7 Spesifikasi Matlab	29
Tabel 3.9 Spesifikasi Jangka Sorong Digital	31
Tabel 3.10 Spesifikasi 3D Filamen	32
Tabel 3.11 Spesifikasi Motor Servo	33
Tabel 3.12 Spesifikasi Arduino Nano	34
Tabel 3.14 Spesifikasi Bor <i>Drilling</i>	35
Tabel 3.15 Spesifikasi Adaptor	35
Tabel 3.16 Spesifikasi Relay	39
Tabel 4.1 Hasil Koordinat Simulasi Menggunakan Metode <i>Forward Kinematic</i>	88
Tabel 4.2 Pengujian Error Relatif Posisi Menggunakan <i>Forward kinematic</i>	89
Tabel 4.3 Pengujian <i>Forward kinematic</i> Pada Sumbu X	91
Tabel 4.4 Pengujian <i>Forward kinematic</i> Pada Sumbu Y	92
Tabel 4.5 Pengujian <i>Forward kinematic</i> Pada Sumbu Z	93
Tabel 4.6 Hasil Sudut <i>Joint</i> Menggunakan Metode <i>Invers kinematic</i>	94
Tabel 4.7 Pengujian Error Relatif Menggunakan <i>Invers kinematic</i>	96
Tabel 4.8 Pengujian <i>Invers kinematic</i> Pada Sumbu X	97
Tabel 4.9 Pengujian <i>Invers kinematic</i> Pada Sumbu Y	98
Tabel 4.10 Pengujian <i>Invers kinematic</i> Pada Sumbu Z	99

DAFTAR NOTASI

X	= Koordinat Sumbu Horizontal
y	= Koordinat Sumbu Vertikal
z	= Koordinat Sumbu Miring
θ	= 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.
α_i	= Sudut antara z_{i-1} dari z_i di ukur terhadap x_i .
θ_i	= Sudut antara x_{i-1} dari x_i di ukur terhadap z_i . θ_i adalah variabel jika sendi i adalah revolute
X_a	= titik x aktual
X_s	= titik x simulasi
Y_a	= titik y aktual
Y_s	= titik y simulasi
Z_a	= titik z aktual
Z_s	= titik z simulasi
M	= Magnitudo maksimal
X_{maks}	= Magnitudo Sumbu x
Y_{maks}	= Magnitudo Sumbu y
Z_{maks}	= Magnitudo Sumbu z

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kegiatan industri manufaktur, proses drilling sering kali digunakan untuk pembuatan berbagai produk industri. Proses drilling adalah proses pembuatan lubang tertentu pada produk yang telah disesuaikan dengan rencana kerja atau desain produk yang ingin dibuat. Drilling telah menjadi bagian integral dari proses manufaktur dalam berbagai industri, termasuk konstruksi, otomotif, penerbangan, elektronik, dan energi terbarukan. Penggunaan drilling dalam industri secara umum mengalami pertumbuhan yang signifikan. Awalnya dimulai dengan teknik drilling sederhana menggunakan alat tangan, namun perkembangan mesin-mesin mekanis yang lebih kompleks membawa perubahan besar dalam cara drilling dilakukan. Dengan perkembangan material baru dan teknologi manufaktur yang terus berkembang, teknologi drilling terus berevolusi untuk memenuhi tuntutan industri yang semakin kompleks (Dewadi et al., 2023).

Namun, meskipun penting, proses drilling memiliki keterbatasan yang signifikan dalam hal akurasi dan konsistensi. Proses drilling cenderung rentan terhadap kesalahan dalam menentukan lokasi, kedalaman, dan sudut lubang yang dihasilkan, yang dapat berdampak negatif pada kualitas produk dan efisiensi produksi secara keseluruhan. Faktor paling signifikan yang mempengaruhi akurasi lubang adalah kecepatan potong dan gerak makan. Geometri pahat, terutama sudut ujung pahat, sangat mempengaruhi kinerja proses drilling komposit dalam hal kerusakan akibat pemesinan. Penelitian tentang kebulatan dan akurasi pernah dilakukan oleh Karatas pada tahun 2020, hasil penelitiannya menunjukkan bahwa pilot drilling dapat meningkatkan penyimpangan akurasi sebesar 22,87% (Mufarrir et al., 2023).

Untuk mengatasi tantangan ini, industri manufaktur mulai beralih ke solusi otomatisasi. Otomasi adalah teknologi yang menggabungkan aplikasi dari sistem mekanik, elektronik, dan komputerisasi melalui proses atau prosedur, biasanya ditempatkan sesuai dengan program instruksional, dan dikombinasikan dengan umpan balik otomatis untuk memastikan bahwa semua instruksi dijalankan dan

dibuat dengan benar. Hal ini meningkatkan fleksibilitas, efisiensi dan fleksibilitas. salah satu bentuk otomisasi pada industry manufaktur menggunakan lengan robot untuk berbagai aplikasi salah satunya drilling. Lengan robot drilling dapat diprogram untuk melakukan operasi drilling dengan tingkat akurasi yang jauh lebih tinggi daripada manusia, sehingga meningkatkan kualitas dan konsistensi hasil produksi. Selain itu, lengan robot juga dapat bekerja dalam lingkungan yang berbahaya atau sulit dijangkau oleh manusia, meningkatkan keselamatan dan efisiensi keseluruhan di tempat kerja (Khoirul Anaam et al., 2022).

Robot lengan menjadi semakin penting di berbagai sektor seiring kemajuan teknologi. Melanjutkan studi robot lengan akan membantu dalam penciptaan teknologi yang lebih baik dan pemenuhan kebutuhan masyarakat di masa depan. Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini, peneliti mengambil judul “**Perancangan Dan Pembuatan End-Effector Bor Mini Untuk Proses Drilling Pada Lengan Robot 4 Derajat Kebebasan**”. End-effector ini dirancang dan dibangun untuk dapat menangani tugas drilling dengan akurasi yang baik dan meningkatkan produktivitas.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan membangun end-effector khusus bor mini yang optimal untuk proses drilling pada lengan robot 4 derajat kebebasan?
2. Berapa akurasi hasil drilling end-effektor bor mini pada lengan robot 4 derajat kebebasan?

1.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Lengan robot yang digunakan berjenis articulated manipulator
2. Jumlah DOF (Degree of Freedom) yang digunakan adalah 4 DOF
3. Jenis aktuator yang digunakan motor servo
4. Mikrokontroler menggunakan Arduino nano
5. End effector yang digunakan yaitu bor *drilling*

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang dan membangun end-effector khusus bor drilling yang optimal untuk proses drilling pada lengan robot 4 derajat kebebasan
2. Menguji dan mengevaluasi end-effector khusus bor drilling untuk proses drilling presisi pada lengan robot 4 derajat kebebasan

1.5 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai bahan pembelajaran kepada mahasiswa teknik mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang sistem kerja lengan robot.
2. Memberikan kontribusi positif terhadap pengembangan teknologi robotika.
3. Meningkatkan produktivitas dan efisiensi proses *drilling* dengan penggunaan lengan robot.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Drilling*

Drilling adalah proses pengeboran atau proses pembuatan lubang bulat dengan menggunakan mata bor dengan satu atau beberapa sisi potong yang berputar. Proses *drilling* umumnya dilakukan pada berbagai jenis bahan, seperti logam, kayu, beton, atau material lainnya, untuk berbagai aplikasi, termasuk industri, konstruksi, minyak dan gas, geologi, dan lain sebagainya (Mitchell & Miska, 2011).

Proses *drilling* biasanya melibatkan penggunaan alat bor yang ditenagai oleh suatu aktuator, seperti mesin bor, yang menghasilkan gerakan rotasi pada mata bor. Ujung mata bor yang merupakan komponen alat bor yang bersentuhan langsung dengan bahan yang akan ditembus seringkali dipasang gigi atau pahat yang memiliki kemampuan untuk memotong atau mencabik-cabik bahan (Mitchell & Miska, 2011).



Gambar 2.1 *Drilling*

Untuk menjamin proses pengeboran berjalan lancar dan efektif, maka operator atau pengguna bor harus memperhatikan beberapa hal, antara lain kecepatan potong (*cutting speed*), kecepatan putar bor, tekanan yang diberikan pada bor, dan kebutuhan akan pendinginan atau pelumasan. Untuk hasil terbaik, penting juga untuk memilih alat bor yang tepat untuk bahan yang akan dilubangi, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti diameter mata bor, jenis alat, dan cairan pendingin atau pelumas yang digunakan (Devereux, 2012).

Proses *drilling* atau pengeboran seperti pada gambar 2.12 diatas memiliki beberapa aplikasi antara lain pembuatan lubang untuk pemasangan baut, pengeboran sumur minyak dan gas, penelitian geologi, pembuatan perhiasan, pembuatan furnitur, konstruksi bangunan, dan pengeboran tulang di bidang medis. Dengan diperkenalkannya teknologi baru dan terobosan seperti pengeboran computer numerical control (CNC) dan pengeboran berbasis laser, proses pengeboran juga terus berkembang (Lyons, 2010).

2.1.1 Bagian-Bagian Utama *Drilling*

Drilling, atau pengeboran, melibatkan beberapa bagian atau komponen yang penting untuk menjalankan proses tersebut. Beberapa bagian umum dalam *drilling* antara lain (Lyons, 2010):

1. Alat bor (*drill bit*): Merupakan alat atau mesin yang digunakan untuk melakukan proses *drilling* atau pembuatan lubang.
2. Mata bor (*drill point*): Merupakan bagian ujung dari alat bor yang berfungsi sebagai pemotong dalam proses *drilling* atau pengeboran. Mata bor biasanya dirancang dengan bentuk dan ukuran tertentu sesuai dengan jenis bahan yang akan ditembus dan jenis lubang yang ingin dibuat.
3. Sistem pendinginan atau pelumasan: Merupakan bagian yang digunakan untuk mengurangi panas dan gesekan yang dihasilkan selama proses pengeboran. Sistem ini bisa berupa pendingin berbasis air atau pelumas yang digunakan untuk menjaga suhu dan memperpanjang umur alat bor serta memperbaiki kualitas permukaan lubang yang dihasilkan.
4. Sistem kontrol: Merupakan bagian yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan pemotongan, tekanan, dan parameter lainnya selama proses *drilling*. Sistem kontrol dapat berupa sistem mekanik, elektronik, atau komputer (CNC) tergantung pada tingkat otomatisasi dan kompleksitas proses pengeboran.

2.1.2 Jenis-Jenis *Drilling*

Ada beberapa jenis *drilling* yang umum digunakan, antara lain (Mitchell & Miska, 2011):

1. *Drilling* konvensional: *Drilling* konvensional adalah metode *drilling* yang menggunakan alat bor konvensional yang dioperasikan secara manual atau mekanik. Biasanya dilakukan dengan tangan atau menggunakan mesin bor konvensional. Metode ini sering digunakan untuk pekerjaan bor yang relatif sederhana dan skala kecil.
2. *Drilling* CNC (Computer Numerical Control): *Drilling* CNC adalah metode *drilling* yang menggunakan mesin bor yang dikontrol oleh komputer. Pada metode ini, desain lubang diterjemahkan menjadi kode numerik yang dikendalikan oleh komputer untuk mengatur gerakan mesin bor. Metode ini umum digunakan dalam produksi massal dan pekerjaan yang memerlukan presisi tinggi.
3. *Drilling Rotary*: *Drilling rotary* adalah metode *drilling* yang menggunakan alat bor berputar untuk membuat lubang. Biasanya digunakan untuk bor dalam skala besar, seperti dalam industri minyak dan gas bumi untuk pemboran sumur minyak atau gas.
4. *Drilling Hammer*: *Drilling hammer* adalah metode *drilling* yang menggunakan palu atau mallet untuk memukul alat bor ke bawah secara berulang-ulang sehingga dapat membuat lubang. Metode ini umum digunakan dalam pekerjaan konstruksi, seperti pembangunan pondasi atau pembuatan tiang pancang.
5. *Drilling Laser*: *Drilling laser* adalah metode *drilling* yang menggunakan sinar laser yang sangat kuat untuk menguapkan atau menghancurkan material sehingga dapat membuat lubang. Metode ini digunakan dalam aplikasi yang memerlukan tingkat presisi tinggi dan menghindari kerusakan termal pada material.
6. *Drilling Mikro*: *Drilling mikro* adalah metode *drilling* yang digunakan untuk membuat lubang berukuran sangat kecil, biasanya dalam skala mikrometer atau lebih kecil. Metode ini digunakan dalam industri elektronik, optik, dan mikrofabrikasi.

2.1.3 Parameter Proses Drilling

1. Kecepatan Putar Bor (Spindle Speed):

Kecepatan putar bor merupakan salah satu parameter kunci dalam proses drilling yang berpengaruh langsung terhadap efisiensi pemotongan dan kualitas permukaan hasil lubang. Pemilihan kecepatan putar bor yang tepat sangat penting untuk memastikan bahwa bor dapat memotong material benda kerja dengan efisien tanpa menyebabkan overheating atau kerusakan pada bor. Kecepatan putar bor biasanya ditentukan berdasarkan jenis material benda kerja, diameter bor, dan jenis bor yang digunakan. Misalnya, kecepatan putar yang lebih tinggi biasanya diperlukan untuk bahan logam yang lebih keras, sedangkan kecepatan yang lebih rendah dapat digunakan untuk bahan yang lebih lunak.

2. Feed Rate:

Feed rate merupakan laju pergerakan bor ke dalam benda kerja selama proses drilling. Penentuan feed rate yang tepat penting untuk mengontrol laju pemotongan dan pembentukan serpihan sehingga dapat mencapai hasil drilling yang baik. Feed rate yang terlalu rendah dapat menyebabkan pemotongan yang lambat dan pembentukan serpihan yang tidak merata, sementara feed rate yang terlalu tinggi dapat menyebabkan keausan bor yang berlebihan atau bahkan kerusakan pada benda kerja. Pengaturan feed rate biasanya bergantung pada kecepatan putar bor dan jenis material benda kerja.

3. Tekanan Bor (Cutting Pressure):

Tekanan bor mengacu pada tekanan yang diberikan oleh bor pada benda kerja selama proses drilling. Tekanan bor yang tepat diperlukan untuk memastikan pemotongan yang efisien dan mengurangi risiko kerusakan pada bor dan benda kerja. Tekanan bor biasanya dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk diameter bor, kecepatan putar, dan feed rate. Peningkatan tekanan bor dapat meningkatkan laju pemotongan, tetapi terlalu tinggi dapat menyebabkan deformasi pada benda kerja atau bahkan patahnya bor.

4. Penggunaan Coolant (Pelumas dan Pendingin):

Penggunaan pelumas dan pendingin (coolant) dalam proses drilling dapat membantu mengurangi gesekan dan panas yang dihasilkan selama pemotongan. Pelumas dapat membantu melumasi permukaan bor dan benda kerja, sementara pendingin dapat membantu menyerap panas yang dihasilkan selama proses drilling. Penggunaan coolant dapat meningkatkan umur bor, mencegah deformasi pada benda kerja, dan meningkatkan kualitas lubang yang dihasilkan. Pilihan pelumas dan pendingin yang tepat bergantung pada jenis material benda kerja dan kondisi lingkungan kerja.

Dengan memperhatikan parameter-parameter ini secara cermat dan mengatur mereka dengan benar, proses drilling dapat dilakukan dengan efisien dan menghasilkan hasil yang memenuhi standar kualitas yang diinginkan.

2.1.4 Tantangan Dalam Proses Drilling

Proses drilling, meskipun umum digunakan dalam industri manufaktur, sering kali dihadapkan pada sejumlah tantangan dan masalah yang dapat mempengaruhi kualitas, efisiensi, dan keandalan operasi. Beberapa tantangan utama yang sering dihadapi dalam proses drilling antara lain:

1. Pemotongan Material yang Sulit:

Bahan benda kerja yang keras atau memiliki struktur yang sulit dipotong, seperti baja tahan karat, titanium, atau komposit, seringkali menimbulkan tantangan dalam proses drilling. Bor mungkin membutuhkan parameter pemotongan yang khusus atau pemilihan material bor yang sesuai untuk menghadapi ketahanan dan kekerasan bahan yang tinggi.

2. Risiko Kerusakan Tooling:

Proses drilling yang berulang-ulang atau dalam kondisi yang ekstrem dapat menyebabkan keausan berlebihan pada bor, yang pada gilirannya dapat mengurangi umur alat dan mempengaruhi kualitas hasil drilling. Perawatan yang tepat, pemilihan material bor yang sesuai, dan pemantauan kondisi alat secara teratur diperlukan untuk mengurangi risiko kerusakan tooling.

3. Masalah Getaran:

Getaran yang berlebihan selama proses drilling dapat menyebabkan ketidakstabilan bor, deformasi benda kerja, atau bahkan kerusakan pada mesin atau alat. Faktor-faktor seperti kecepatan putar bor, feed rate, dan kondisi permesinan dapat mempengaruhi tingkat getaran yang dihasilkan. Pengendalian getaran dan pemilihan strategi pemotongan yang tepat dapat membantu mengurangi masalah ini.

4. Pembentukan Serpihan yang Tidak Terkendali:

Pembentukan serpihan yang tidak terkendali dapat mengganggu proses drilling dan mengakibatkan kerusakan pada alat dan permukaan benda kerja. Faktor-faktor seperti kecepatan putar bor, feed rate, dan pemilihan jenis bor dapat mempengaruhi karakteristik serpihan yang dihasilkan. Pemantauan dan pengendalian proses secara cermat diperlukan untuk mengurangi risiko pembentukan serpihan yang tidak terkendali.

5. Kompleksitas Geometri Benda Kerja:

Benda kerja dengan geometri yang kompleks atau sulit diakses seringkali menimbulkan tantangan tambahan dalam proses drilling. Strategi pemotongan yang sesuai dan penggunaan peralatan pendukung seperti jig atau fixture mungkin diperlukan untuk memastikan bahwa lubang dapat dibuat dengan akurat dan efisien pada benda kerja yang kompleks.

Dengan memahami dan mengatasi tantangan dan masalah yang mungkin muncul selama proses drilling, dapat meningkatkan efisiensi, kualitas, dan keandalan proses secara keseluruhan.

2.2 Lengan Robot

Lengan robot adalah perangkat mekanis yang dapat melakukan pekerjaan fisik dengan mengikuti program yang telah ditentukan sebelumnya dan menggunakan lengan atau ruas mekanik dengan derajat kebebasan bergerak yang dapat dikonfigurasi. Lengan robot seperti pada gambar 2.2 dapat digunakan di berbagai sektor, termasuk otomotif, elektronik, logistik, dan manufaktur, dengan fungsi end effector yang berbeda-beda berdasarkan kebutuhan pengguna. Lengan

robot ini juga dapat berinteraksi dengan sistem lainnya, seperti jaringan komputer atau perangkat pintar lainnya, untuk memperoleh data atau menggabungkan fungsi lainnya (Agni & Rafi Al Tahtawi, 2020).



Gambar 2.2 Lengan Robot

2.2.1 Bagian-Bagian Lengan Robot

Lengan robot terdiri dari bagian-bagian yang saling berhubungan satu sama lain untuk membentuk lengan robot yang dapat diprogram untuk tujuan tertentu yang mempermudah manusia. Bagian-bagian ini merupakan ciri fundamental yang harus dimiliki setiap robot dan digunakan sebagai pertimbangan utama dalam merancang robot. Bagian-bagian robot tersebut terdiri atas lengan (*link*), sendi, aktuator, end effector dan sistem kontrol yang berupa mikrokontroler dan perangkat lunak pendukungnya.

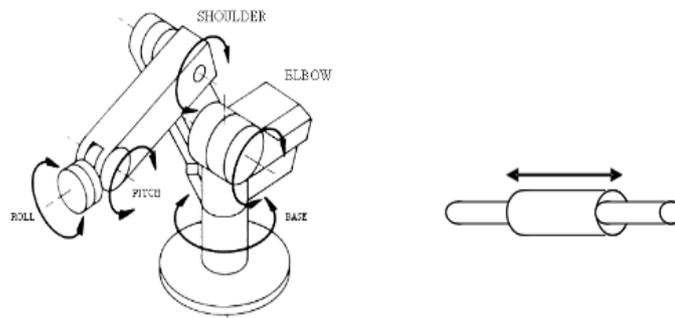
2.2.1.1 Lengan (*Link*)

Lengan atau *link* adalah komponen atau struktur mekanis yang membentuk kerangka dasar lengan robot. Biasanya terbuat dari bahan yang kuat dan ringan seperti logam atau bahan komposit. Lengan atau tautan ini memberikan dukungan dan stabilitas struktural lengan robot. Bagian pangkal lengan atau *link* dapat disambungkan ke rangka dasar atau *base*, sedangkan ujung lengan atau *end-effector* dapat dihubungkan dengan alat tertentu berdasarkan kebutuhan sehingga memungkinkan lengan memiliki didesain berbeda, tergantung pada jenis aplikasi dan pekerjaan yang diinginkan (Didi et al., 2016).

Untuk menahan gaya dan beban yang dihasilkan oleh aktuator serta beban yang dibawa oleh *end-effector* robot, lengan atau *link* pada lengan robot perlu dirancang dan dibangun dengan baik. Untuk aplikasi robot tertentu, lengan atau penghubung ini juga harus mempertimbangkan ergonomi, kecepatan, dan ketepatan gerakan yang diinginkan (Vega Prayuda et al., 2017).

2.2.1.2 Sendi (*Joint*)

Sendi adalah bagian lengan robot yang dapat melakukan rotasi atau gerakan. Sendi ini berfungsi sebagai engsel atau sambungan yang menghubungkan dua ruas lengan atau *link* pada lengan robot sehingga dapat bergerak relatif satu sama lain (Achmad et al., 2008). Secara umum sendi terdiri dari dua macam yaitu:



Gambar 2.3 Sendi *Rotary* Dan Sendi Linier

1. Sendi Rotasi (*Rotary Joint*): Jenis sendi ini memungkinkan gerakan rotasi sekitar sumbu tertentu, seperti gerakan putar 360 derajat. Sendi rotasi biasanya digunakan untuk mengatur gerakan rotasi pada lengan robot.
2. Sendi Linier (*Prismatic Joint*): Jenis sendi ini memungkinkan gerakan linier atau translasi sepanjang sumbu tertentu. Sendi linier biasanya digunakan untuk mengatur gerakan geser atau pergeseran pada lengan robot.

Sendi lengan robot seperti pada gambar 2.3 di atas sangat penting untuk mengatur gerakan dan posisi akhir lengan robot sesuai dengan pekerjaan dan

aplikasi yang diinginkan, Kemampuan untuk bergerak dan kombinasi dari berbagai jenis sendi dapat menghasilkan Gerakan yang fleksibel. Kemampuan sendi untuk bergerak dan berkombinasi dengan sendi lainnya ini dapat diprogram untuk mengatasi berbagai rintangan yang ada dilingkungan dalam melakukan tugas dapat diberikan.

2.2.1.3 Aktuator

Elemen yang menggerakkan atau mengatur pergerakan sendi lengan robot adalah aktuator. Gaya, torsi, atau gerakan yang diperlukan untuk menggerakkan lengan robot dan memungkinkannya melakukan pekerjaan atau aplikasi yang dimaksud dihasilkan oleh aktuator (Khairudin et al., 2015).

Aktuator untuk lengan robot biasanya ditempatkan di antara sendi dan menghasilkan gaya atau gerakan yang diperlukan untuk mengatur gerakan lengan robot. Beberapa jenis aktuator yang sering digunakan dalam lengan robot meliputi:

1. Motor Listrik: Motor listrik dapat menghasilkan gerakan rotasi atau gerakan linier menggunakan prinsip elektromagnetik. Motor listrik yang umum digunakan pada lengan robot meliputi motor servo, motor stepper, dan motor DC. Aktuator motor listrik memiliki beberapa kelebihan yaitu akurasi tinggi, torsi yang ideal untuk pergerakan dan tingkat efisiensi yang tinggi.
2. Hidrolik: Sistem aktuator hidrolik menggunakan fluida cairan untuk menghasilkan gaya atau torsi yang diperlukan untuk menggerakkan lengan robot. Aktuator hidrolik biasanya digunakan untuk lengan robot yang memerlukan kekuatan yang besar.
3. Pneumatik: sistem aktuator yang menggunakan udara untuk menghasilkan gaya atau torsi yang diperlukan untuk menggerakkan lengan robot. Aktuator pneumatic digunakan untuk aplikasi yang memerlukan Gerakan cepat dan ringan.

2.2.1.4 End-effector

Komponen terakhir lengan robot yaitu end effector berfungsi sebagai alat untuk menahan, memindahkan, atau memanipulasi benda sesuai dengan pekerjaan atau aplikasi yang dimaksud. *End-effector* lengan robot dapat berbentuk berbagai alat, termasuk *gripper*, *driller*, tang, cakram, klem, atau alat khusus lainnya. *End-effector* lengan robot dibuat sesuai dengan tugas atau aplikasi tertentu yang ingin digunakan (Craig, 2005). Berikut ini adalah beberapa contoh end effector yang sering terlihat pada lengan robot:

1. **Gripper:** Gripper adalah jenis end effector yang digunakan untuk memegang atau menggenggam objek. Gripper dapat berupa gripper cakram (*jaw gripper*) yang menggunakan cakram bergerigi untuk memegang objek dengan cara menggenggam atau melepas, atau gripper jari (*finger gripper*) yang menggunakan jari-jari atau pegas untuk memegang objek.
2. **Alat Khusus:** Beberapa lengan robot memiliki end effector yang dirancang khusus untuk tugas atau aplikasi tertentu. Misalnya, end effector untuk *welding robot* yang digunakan untuk mengelas atau end effector untuk *drilling* yang digunakan untuk membuat lubang.
3. **Sensor dan Kamera:** End effector pada lengan robot juga dapat dilengkapi dengan sensor atau kamera untuk memantau atau mengukur objek yang sedang dikerjakan. Sensor dapat berupa sensor tekanan, sensor suhu, sensor kelembaban, atau sensor lainnya yang dapat membantu dalam mengatur atau memonitor proses kerja.
4. **Tool Changer:** *Tool changer* atau alat pengganti adalah jenis end effector yang memungkinkan lengan robot untuk mengganti end effector yang berbeda-beda. Dengan *tool changer*, lengan robot dapat menggunakan berbagai jenis end effector yang berbeda untuk tugas atau aplikasi yang berbeda tanpa harus mengganti seluruh lengan robot itu sendiri.

2.2.1.5 Sistem Kontrol

Komponen yang mengatur dan mengontrol perilaku dan pergerakan lengan robot dikenal sebagai sistem kontrol. Sistem kontrol pada lengan robot adalah salah

satu komponen penting yang memungkinkan robot untuk melakukan gerakan dan tugas-tugas tertentu. Tujuan dari sistem kontrol ini adalah untuk mengatur gerakan dan posisi dari setiap sendi (*joint*) pada lengan robot agar dapat mencapai target yang diinginkan dengan presisi dan efisiensi (Jaya, 2016). Ada beberapa pendekatan yang umum digunakan dalam pengendalian lengan robot, di antaranya adalah:

1. Pengendalian Berbasis Posisi (*Position-Based Control*)

Metode ini mengontrol posisi sendi-sendi lengan robot secara langsung. Tujuannya adalah untuk mencapai posisi yang diinginkan dengan presisi yang tinggi.

2. Pengendalian Berbasis Kecepatan (*Velocity-Based Control*)

Dalam pendekatan ini, kecepatan sendi-sendi lengan robot dikontrol langsung. Berguna dalam aplikasi yang membutuhkan respons cepat terhadap perubahan lingkungan atau tugas.

3. Pengendalian Berbasis Torsi (*Torque-Based Control*)

Kontrol torsi atau gaya yang diterapkan oleh setiap sendi lengan robot. Penting dalam situasi di mana kekuatan yang tepat harus diterapkan, seperti saat menangani objek yang berat atau ketika ada interaksi dengan lingkungan yang tidak terduga.

4. Pengendalian Berbasis Gerakan (*Motion-Based Control*)

Pendekatan ini fokus pada kontrol gerakan lengan robot secara keseluruhan. Penggunaan perencanaan jalur dan perencanaan gerakan sangat penting dalam sistem kontrol ini.

5. Pengendalian Hibrida (*Hybrid Control*)

Menggabungkan beberapa metode kontrol di atas untuk memperoleh kinerja yang optimal dalam berbagai situasi. Misalnya, dapat menggunakan pengendalian posisi untuk gerakan kasar dan pengendalian torsi untuk presisi tinggi.

6. Pengendalian Adaptif (*Adaptive Control*)

Pendekatan ini memungkinkan robot untuk menyesuaikan perilakunya berdasarkan perubahan lingkungan atau kondisi operasional. Algoritma

kontrol adaptif dapat memperhitungkan ketidakpastian dan gangguan dalam lingkungan kerja.

Selain itu, beberapa teknik lanjutan seperti pengendalian non-linier, pengendalian optimal, dan pengendalian robot kolaboratif juga dapat diterapkan tergantung pada kebutuhan spesifik aplikasi dan tingkat kompleksitas sistem yang diinginkan.

2.2.2 Sitem Kontrol Pada Lengan Robot

Sistem kontrol berisi perangkat keras, termasuk mikrokontroler, komputer kontrol, atau modul kontrol lainnya, serta perangkat lunak yang menjalankan logika kontrol, memproses data sensor, dan mengarahkan gerakan lengan robot (Prasetyawan et al., 2018).

2.2.2.1 Mikrokontroler

Mikrokontroler berfungsi sebagai otak robot, memungkinkannya diprogram untuk melakukan apa pun yang diinginkan penciptanya. Mikrokontroler pada lengan robot adalah jenis perangkat keras berbasis mikroprosesor yang terintegrasi dalam sistem kontrol atau preangkat elektronik lainnya pada lengan robot (Prasetyawan et al., 2018). Mikrokontroler bertugas mengatur perangkat elektronik pada lengan robot, antara lain motor, sensor, aktuator, dan interaksi dengan dunia luar.

Pada lengan robot, mikrokontroler biasanya memiliki ukuran yang kecil, kebutuhan daya yang rendah, dan kemampuan komputasi yang cukup untuk melakukan tugas kontrol. Arduino, Raspberry Pi, STM32, PIC, dan berbagai macam mikrokontroler lainnya yang dibuat khusus untuk aplikasi robotik adalah beberapa mikrokontroler yang sering digunakan pada lengan robotik (Jaya, 2016).

Pemilihan mikrokontroler yang tepat sangat tergantung pada kebutuhan dan kompleksitas sistem robotik yang akan diimplementasikan pada lengan robot. Mikrokontroler yang efektif dan sesuai dapat menggerakkan lengan robot dengan akurasi dan keandalan serta memungkinkan terciptanya sistem robot yang fleksibel dan terintegrasi dengan baik (Jatmiko et al., 2012).

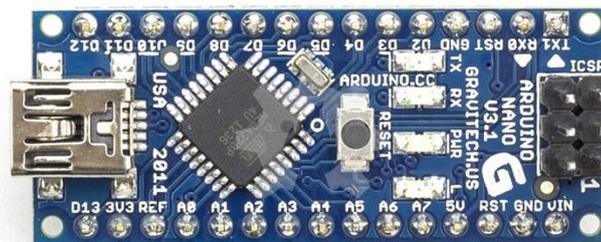
2.2.2.2 Arduino Nano

Perusahaan Arduino menciptakan Arduino Nano, bagian dari papan mikrokontroler Arduino. Mikroprosesor ATmega328P berfungsi sebagai dasar untuk Arduino Nano yang mungil dan portabel. Karena banyaknya pin I/O (Input/Output), yang memungkinkannya mengoperasikan berbagai perangkat listrik dengan mudah, Arduino Nano sangat disukai di kalangan pengembang dan penggemar elektronik. Perangkat lunak Arduino IDE diperlukan sebagai editor teks untuk mengembangkan dan menggunakan Arduino Nano (Kurniawan, 2019).

Arduino Nano seperti gambar 2.4 dapat digunakan untuk berbagai aplikasi elektronika, termasuk robotika, kontrol sensor, otomatisasi rumah, dan banyak lagi. Agar dapat terintegrasi dengan berbagai perangkat lain dalam sistem yang rumit, Arduino Nano juga memiliki kemampuan untuk berkomunikasi dengan perangkat lain melalui protokol komunikasi seperti UART, I2C, dan SPI (Kurniawan, 2019).

Arduino Nano memiliki spesifikasi umum sebagai berikut:

- Tegangan kerja: 5V atau 3.3V (dapat dipilih)
- Kecepatan clock: 16 MHz
- Memori: 32 KB Flash, 2 KB SRAM, 1 KB EEPROM
- Pin I/O: 22 pin (14 pin digital, 8 pin analog)
- Komunikasi: UART, I2C, SPI
- Dukungan USB: Ya (melalui konverter USB-to-Serial)
- Dimensi: 18 x 45 mm



Gambar 2.4 Arduino Nano

2.2.2.3 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) adalah sebuah perangkat lunak atau software yang digunakan untuk mengembangkan dan memprogram papan mikrokontroler Arduino. Bahasa pemrograman C/C++ adalah dasar dari Arduino IDE, yang pengembangan dibuat khusus untuk pemrograman mikrokontroler Arduino. Arduino IDE menawarkan sejumlah fitur dan alat, termasuk editor kode sumber, kompiler, pemantauan serial, manajemen perpustakaan, dan lainnya, yang memudahkan pemrograman, pengembangan dan pembuatan aplikasi mikrokontroler Arduino.

Pengguna dapat membuat dan menulis kode program untuk mengoperasikan papan mikrokontroler Arduino sesuai dengan kebutuhan proyek dengan memanfaatkan Arduino IDE. Mikrokontroler Arduino dapat menjalankan program yang dibuat menggunakan Arduino IDE dengan cara mengupload kode program ke mikrokontroler melalui koneksi USB. Selain itu, Arduino IDE menawarkan sejumlah pustaka untuk komunikasi serial, kontrol perangkat keras, pemrosesan data, dan fungsi lain yang dapat digunakan untuk memperluas kemampuan mikrokontroler Arduino.

2.2.2.4 Motor Servo

Motor servo adalah motor DC dengan sistem loop tertutup. Motor servo banyak digunakan sebagai actuator dalam berbagai pengaplikasian karena poros keluaran motor servo memiliki torsi yang signifikan. Modulasi pulse dapat digunakan untuk mengatur poros ini. Poros dapat dikonfigurasi untuk berputar searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam, atau tetap pada posisi tertentu. Servo kontinu ditambah servo normal membentuk motor servo. Sementara motor servo normal hanya dapat berputar 180 derajat, sedangkan motor servo kontinu dapat berputar 360 derajat (Didi et al., 2016).

Motor servo seperti terlihat pada gambar 2.5 banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk robotika, kendaraan otomatis, sistem kamera gimbal, printer 3D, dan banyak lagi. Keunggulan utama motor servo adalah kemampuan mereka untuk memberikan gerakan yang presisi dan responsif, serta kemampuan

untuk diintegrasikan dengan sistem umpan balik untuk meningkatkan akurasi Gerakan.



Gambar 2.5 Motor Servo

2.2.3 Prinsip Kerja Lengan Robot

Prinsip kerja lengan robot didasarkan pada konsep kinematika robot, yang melibatkan pengukuran, analisis, dan pengaturan gerakan lengan robot. Lengan robot terdiri dari banyak sendi yang dikendalikan oleh aktuator dan didukung oleh sistem kontrol yang memungkinkan lengan robot bergerak sesuai dengan yang diinginkan. Lengan robot beroperasi berdasarkan prinsip-prinsip Kinematika yaitu penentuan posisi dan orientasi lengan robot Kontrol dan pengaturan gerakan lengan robot sesuai dengan tugas yang diinginkan

2.2.4 Kinematika

Kinematika adalah ilmu yang mempelajari gerak tanpa memperhatikan gaya yang menyebabkannya. Kinematika lengan robot adalah studi tentang pergerakan lengan robot dalam ruang tiga dimensi. Ini mencakup pemodelan matematika gerakan dan posisi lengan robot dalam sistem koordinat tiga dimensi. Ada dua jenis kinematika pada lengan robot, yaitu *forward kinematic* atau kinematik maju dan *invers kinematic* atau kinematik terbalik yang digunakan untuk menggerakkan aktuator sehingga posisi akhir end effector sesuai dengan yang diinginkan (Craig, 2005).

2.2.4.1 Kinematik Maju

Kinematika maju atau *forward kinematic* adalah metode penentuan orientasi dan posisi akhir dari end effector lengan robot berdasarkan masukan variabel sudut dari setiap sendi (*joint*) yang telah diketahui. Variabel sudut dari *joint* yang diberikan akan diubah ke dalam posisi dan orientasi dari end effector yang ditujukan sebagai koordinat referensi (Craig, 2005).

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* (Iliukhin et al., 2017). Berikut ini merupakan parameter *link* yang berfungsi dalam kaidah Denavit Hartenberg (DH) sebagai berikut:

- 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.
- α_i : Sudut antara z_{i-1} dari z_i di ukur terhadap x_i .
- θ_i : Sudut antara x_{i-1} dari x_i di ukur terhadap z_i . θ_i adalah variabel jika sendi i adalah revolute

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

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

Didapatkan rumus kinematika maju sebagai berikut :

$$T_0^n = A_1 \dots A_n \dots\dots\dots (2.2)$$

2.2.4.2 Kinematik Mundur

Invers kinematics atau kinematika balik berlawanan dengan kinematika maju, kinematik balik berfungsi untuk menentukan besarnya sudut-sudut tiap sendi (*joint*) lengan robot berdasarkan orientasi dan posisi akhir end-efektor yang telah

diketahui. Pada dasarnya kinematika balik akan mencari dan menghasilkan nilai-nilai parameter berupa besaran sudut yang dapat diberikan kepada setiap aktuator untuk menggerakkan *end-effector* mencapai posisi akhir yang telah ditentukan di awal. Pada umumnya perhitungan penyelesaian kinematika balik lebih sulit jika dibandingkan dengan perhitungan penyelesaian kinematika maju. Karena permasalahan pada kinematika mundur adalah mencari besaran sudut dari posisi yang telah ditentukan sehingga kinematika balik memiliki hasil akhir yang banyak tergantung dari banyaknya sudut sendi pada lengan robot (Andika & Salamah, 2018).

2.2.5 Derajat Kebebasan

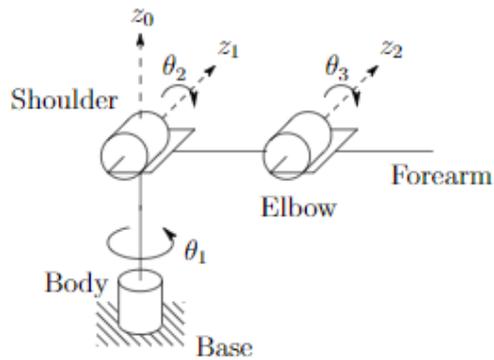
Jumlah derajat kebebasan yang dimiliki lengan robot adalah jumlah variabel posisi independen yang digunakan untuk menemukan posisi akhir *end-effector*. Jumlah derajat kebebasan mengacu pada jumlah sendi yang dimiliki lengan robot dimana jumlah derajat kebebasan sama dengan jumlah sendi yang menggerakkan robot. Semakin banyak derajat kebebasan mengindikasikan peningkatan fleksibilitas dalam memposisikan *end-effector*. Lengan robot biasanya memiliki 3 sampai 6 derajat kebebasan. Lengan robot dengan 5 derajat kebebasan berisi 5 sambungan yang memungkinkan gerakan berputar, gerakan mengangkat atau menurunkan, gerakan membuka atau menutup, gerakan miring, dan gerakan berputar. Lengan robot dengan lima derajat kebebasan lebih fleksibel dan dapat digunakan untuk aktivitas yang memerlukan gerakan presisi dan rumit (Craig, 2005).

2.2.6 Jenis-Jenis Lengan Robot

Lengan robot dapat di klasifikasikan berdasarkan Geometri. Sebagian besar manipulator industri saat ini memiliki derajat kebebasan enam atau kurang. Manipulator ini biasanya diklasifikasikan secara kinematis berdasarkan tiga sendi pertama lengan, dengan pergelangan tangan dijelaskan secara terpisah. Sebagian besar manipulator ini termasuk dalam salah satu dari lima jenis geometris yaitu *articulated manipulator*, *spherical manipulator*, *SCARA manipulator* dan *cylindrical manipulator* (Spong et al., 2005).

2.2.6.1 Articulated Manipulator

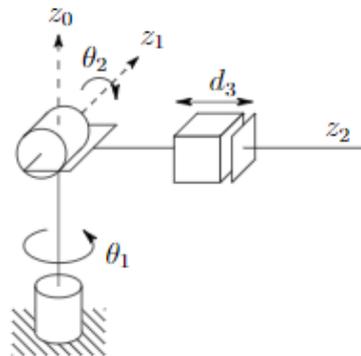
Articulated Manipulator (RRR), *Articulated Manipulator* atau *revolute Manipulator* atau *anthropomorphic Manipulator* memiliki struktur RRR dimana sendi pertama kedua dan ketiganya bersifat rotary serta z_2 sejajar dengan z_1 dan z_1 dan z_2 keduanya tegak lurus dengan z_0 seperti pada gambar 2.6 dibawah ini (Spong et al., 2005).



Gambar 2.6 Articulated Manipulator

2.2.6.2 Spherical Manipulator

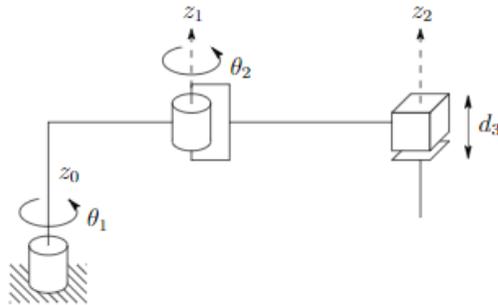
Spherical Manipulator (RRP), *Spherical Manipulator* memiliki struktur RRP dimana sendi pertama dan keduanya bersifat *rotary* dan sendi ketinya bersifat *prismatic* serta z_0 tegak lurus dengan z_1 , dan z_1 tegak lurus dengan z_2 seperti pada gambar 2.7 dibawah ini (Spong et al., 2005).



Gambar 2.7 Spherical Manipulator

2.2.6.3 SCARA Manipulator

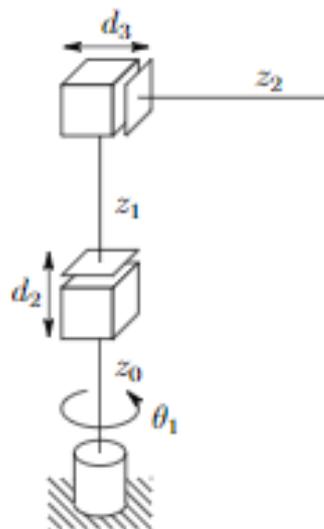
SCARA Manipulator (RRP), SCARA atau *Selective Compliant Articulated Robot for Assembly* memiliki struktur RRP memiliki struktur RRP dimana sendi pertama dan keduanya bersifat *rotary* dan sendi ketinya bersifat *prismatic* serta z_0 , z_1 , dan z_2 paralel dapat dilihat pada gambar 2.8 dibawah ini (Spong et al., 2005).



Gambar 2.8 SCARA Manipulator

2.2.6.4 Cylindrical Manipulator

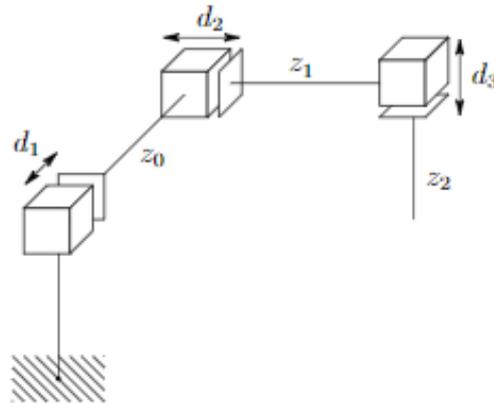
Cylindrical Manipulator (RPP), *Cylindrical Manipulator* memiliki struktur RPP dimana Sendi pertama adalah *rotary* sedangkan sambungan kedua dan ketiga bersifat *prismatic* serta z_0 , z_1 , dan z_2 paralel seperti gambar 2.9 dibawah ini (Spong et al., 2005).



Gambar 2.9 Cylindrical Manipulator

2.2.6.5 Cartesian Manipulator

Cartesian Manipulator (PPP), *Cartesian Manipulator* memiliki struktur RRR dimana sendi pertama kedua dan ketiganya bersifat *prismatic* serta z_0 sejajar dengan z_1 dan z_2 tegak lurus dengan z_1 seperti pada gambar 2.10 dibawah ini (Spong et al., 2005).



Gambar 2.10 *Cartesian Manipulator*

2.2.7 Implementasi Robot

Penggunaan robot telah menjadi semakin umum dan beragam di berbagai bidang dan sektor dalam beberapa tahun terakhir sehingga membawa perubahan signifikan (Hall & Golnazarian, 2002). Penggunaan robot dalam sektor industri untuk membantu dalam berbagai tugas produksi, otomatisasi, dan manufaktur sangat dibutuhkan karena dapat meningkatkan efisiensi, kecepatan, kualitas, dan keamanan proses produksi (Utomo & Ma'ruf, 2015). Beberapa aplikasi umum industri robot:

1. Otomatisasi Manufaktur: Robot digunakan dalam proses manufaktur untuk melakukan tugas-tugas yang repetitif dan berulang, seperti pengelasan, pemotongan, pemasangan, pengepakan, dan pengangkatan benda berat. Mereka dapat meningkatkan produktivitas, mengurangi kesalahan manusia, dan meningkatkan keamanan kerja.

2. Pengendalian Kualitas: Robot dapat dilengkapi dengan sensor penglihatan dan sistem pengolahan citra untuk menginspeksi dan mengendalikan kualitas produk. Mereka dapat mengidentifikasi cacat, melakukan pengukuran presisi, memeriksa kecocokan, dan mendeteksi perbedaan dalam produksi.
3. Montase dan Pemrosesan: Robot dapat melakukan tugas-tugas montase yang kompleks dengan presisi tinggi. Mereka dapat menggabungkan komponen-komponen kecil, merakit produk, atau melakukan pemrosesan seperti pemolesan, pengeboran, dan perakitan elektronik.
4. Penanganan Bahan Berbahaya: Robot dapat digunakan dalam lingkungan yang berbahaya atau beracun, di mana risiko bagi pekerja manusia sangat tinggi. Mereka dapat melakukan tugas-tugas yang berbahaya seperti penanganan bahan kimia berbahaya, penghapusan limbah, atau inspeksi struktur yang tidak aman.

Penggunaan robot dalam industri terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi. Robot yang lebih fleksibel, interaktif, dan dilengkapi dengan kecerdasan buatan sedang berkembang, memungkinkan mereka untuk beradaptasi dengan lingkungan yang dinamis dan berinteraksi dengan manusia. Hal ini membuka potensi baru dalam meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan kualitas di berbagai sektor industri (Bahrin et al., 2016).

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat Penelitian

Tempat pelaksanaan penelitian end-effector bor mini untuk proses drilling pada lengan robot 4 derajat kebebasan dilakukan di Laboraturium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Jl. Mukhtar basri No.3 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

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan

No	Jenis Kegiatan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan Judul	■					
2	Studi Literatur	■	■				
3	Perancangan Lengan Robot		■				
4	Pembuatan, Perakitan dan Pemograman Lengan Robot			■	■		
5	Pengambilan dan Analisa Data				■		
6	Penulisan Laporan Tugas Akhir					■	
7	Seminar Hasi dan Sidang Sarjana						■

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian lengan robot ini adalah:

1. Laptop

Laptop adalah perangkat komputasi portable yang pada penelitian ini digunakan untuk mendesain dan memprogram lengan robot dan end-effector menggunakan aplikasi solidwork, creality slicer, dan Arduino IDE. Adapun spesifikasi dan gambar laptop yang digunakan pada penelitian lengan robot ini sebagai berikut.

Tabel 3.2 Spesifikasi Laptop

Model / Type	Lenovo IdeaPad Slim 3
Processor	11th Gen Intel(R) Core(TM) i3-1115G4 (3.00GHz)
RAM	8GB
Graphics	Intel UHD Graphics
Operating System	Windows 11 Home
Storage	256GB SSD



Gambar 3.1 Laptop

2. 3D Printer

3D Printer adalah perangkat manufaktur yang mengubah atau mengkonversikan desain digital menjadi objek fisik 3 dimensi. Pada penelitian ini, *3D printer* digunakan untuk membuat atau mencetak bagian-bagian dari lengan robot. Adapun spesifikasi dan gambar *3D printer* yang digunakan sebagai berikut.

Tabel 3.3 Spesifikasi *3D Printer*

Print Techn	FDM
Product Size	578mm x 522mm x 648 mm
Print Precision	± 0.1 mm
Nozzle Diameter	0.4 mm
Power Requirement	110-240V



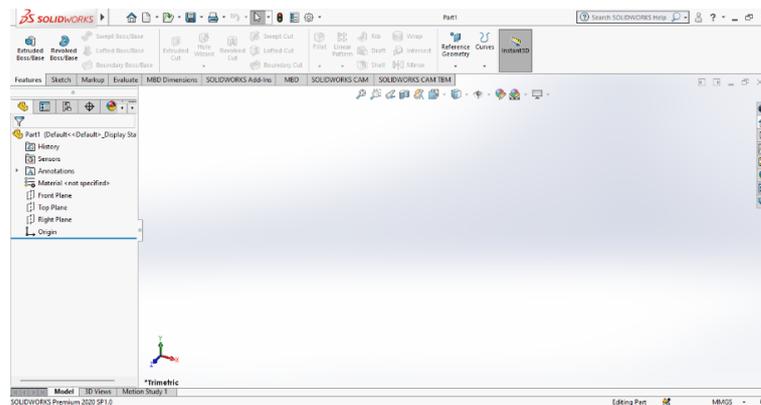
Gambar 3.2 *3D Printer*

3. SolidWork

SolidWork adalah sebuah perangkat lunak desain CAD (Computer-Aided Design) yang digunakan untuk menciptakan model 3D dan menghasilkan gambar teknis atau desain digital. Pada penelitian ini aplikasi SolidWork digunakan untuk mendesain bagian bagian lengan robot dan end-effector. Adapun spesifikasi dan gambar SolidWork yang digunakan sebagai berikut.

Tabel 3.4 Spesifikasi SolidWork

Version	SW2020 SP1.0
Operating System Version	Windows 11 64bit
Size	9.6 GB
RAM	8 GB



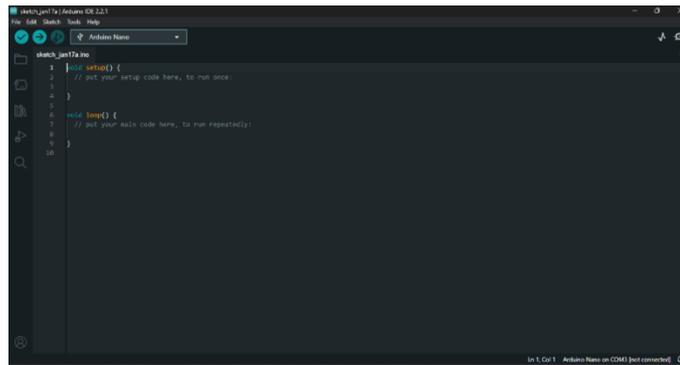
Gambar 3.3 Aplikasi SolidWork

4. Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menulis dan mengunggah kode program ke papan mikrokontroler arduino. Arduino IDE pada penelitian ini digunakan untuk memprogram lengan robot menggunakan mikrokontroler Arduino nano. Adapun spesifikasi dan gambar bisa dilihat sebagai berikut.

Tabel 3.5 Spesifikasi Arduino IDE

Version	Arduino IDE 2.21
Operating System Version	Windows 11 64bit
Size	382 MB
RAM	4 GB



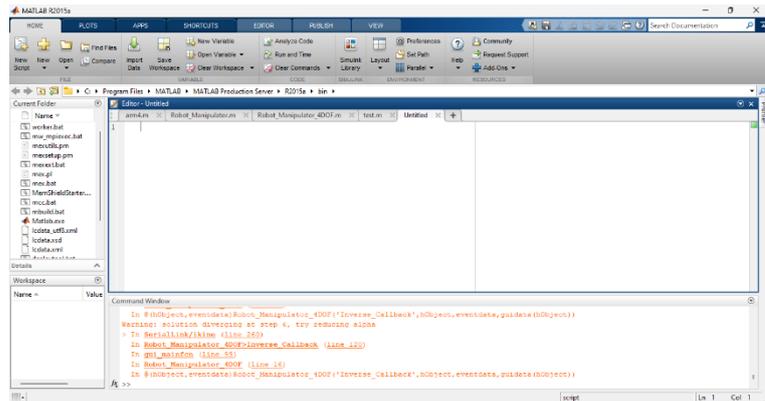
Gambar 3.4 Aplikasi Arduino IDE

5. MATLAB (Matrix Laboratory)

Matlab adalah Sebuah perangkat lunak komputasi numerik yang memiliki berbagai fungsi dan alat untuk analisis dan visualisasi dalam bidang ilmu komputer, rekayasa dan matematika. Pada penelitian ini aplikasi matlab digunakan untuk menghitung dan mensimulasikan titik-titik koordinat Gerakan lengan robot. Adapun spesifikasi dan gambar matlab sebagai berikut.

Tabel 3.6 Spesifikasi MATLAB

Version	R2015a (8.5.0.197613)
Operating System Version	Windows 11 64bit
Size	10.4 GB
RAM	4 GB



Gambar 3.5 Aplikasi Matlab

6. Kikir

Kikir adalah alat tangan yang digunakan untuk menghaluskan, membentuk, atau menghilangkan material dari permukaan suatu objek dengan cara mengikis atau menggosoknya. Pada penelitian ini kikir digunakan untuk menghaluskan permukaan bagian bagian robot yang sudah di print 3 dimensi. Dapat dilihat sebagai berikut pada gambar 3.9.



Gambar 3.6 Kikir

7. Jangka sorong digital

Jangka sorong digital adalah alat ukur presisi untuk mengukur Panjang, kedalaman dan diameter suatu benda dengan layar digital sebagai penunjuk hasil (output). Penelitian ini menggunakan jangka sorong digital ini sebagai

alat untuk bagian-bagian dari lengan robot agar presisi. Jangka sorong digital dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 3.7 Spesifikasi Jangka Sorong Digital

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



Gambar 3.7 Jangka Sorong Digital

3.2.2 Bahan

1. 3D Filamen

3D Filamen adalah bahan utama yang digunakan dalam 3D printing untuk membuat objek tiga dimensi. 3D filamen digunakan untuk membuat *link* (lengan) pada penelitian ini. Adapun spesifikasi dan gambar 3D filamen sebagai berikut.

Tabel 3.8 Spesifikasi 3D Filamen

Type	PLA+
Merk	Sunlu
Diameter	1.75 mm
Roundness Tolerance	0.01 – 0.02 mm
Print Temperatur	205 – 220 °C
Print Bed Temperatur	30 – 40 °C
Weight	1000 gram



Gambar 3.8 3D Filamen

2. Motor Servo

Motor servo adalah sebuah tipe motor yang digunakan untuk mengontrol posisi sudut tertentu dari poros outputnya. Motor Servo. Pada penelitian ini motor servo digunakan sebagai actuator atau penggerak. Adapun motor servo sebagai berikut.

Tabel 3.9 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



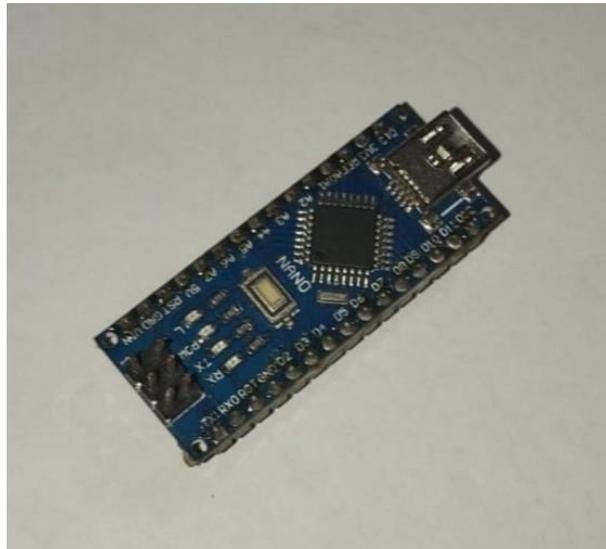
Gambar 3.9 Motor Servo

3. Arduino Nano

Arduino Nano digunakan sebagai perangkat keras dalam mengendalikan komponen elektronika motor servo dengan program. Arduino Nano adalah varian dari papan mikrokontroler Arduino yang dirancang untuk ukuran yang lebih kecil dan aplikasi yang lebih ringkas. Pada penelitian ini Arduino nano digunakan sebagai mikrokontroler untuk menggerakkan lengan robot. Adapun Arduino nano seperti berikut.

Tabel 3.10 Spesifikasi Arduino Nano

Operating Voltage	5 V
Power Consumption	19 mA
Flash Memory	32 KB of which 2 KB used by bootloader
Clock Speed	16 MHz
Size	18 x 45 mm
Weight	7 g



Gambar 3.10 Arduino Nano

4. Bor *Drilling*

Bor *drilling* adalah perangkat yang digunakan untuk mengebor atau membolongi suatu material. Pada penelitian ini digunakan bor *drilling* mini sebagai *end-effector* dari lengan robot. Adapun bor *drilling* tersebut sebagai berikut.

Tabel 3.11 Spesifikasi Bor *Drilling*

Speed	6000 RPM
Power Consumption	12 V 1 A
Size	3.8 x 2.7 cm
Drill Bit Size	0.8 ~ 1.5 mm



Gambar 3.11 Bor *Drilling*

5. Adaptor

Adaptor adalah rangkaian elektronika yang berfungsi untuk mengubah tegangan AC (arus bolak-balik) yang tinggi menjadi tegangan DC (arus searah) yang lebih rendah. Adaptor ini digunakan untuk menenagai lengan robot agar dapat bergerak. Adapun adaptor sebagai berikut.

Tabel 3.12 Spesifikasi Adaptor

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



Gambar 3.12 Adaptor

6. Relay

Modul relay adalah salah satu piranti yang beroperasi berdasarkan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontaktor guna memindahkan posisi ON ke OFF atau sebaliknya dengan memanfaatkan tenaga listrik. Pada dasarnya relay berkerja seperti saklar otomatis yang di atur oleh Arduino. Pada penelitian ini relay digunakan untuk menghidupkan dan mematikan *drilling*. Adapun relay yang dipakai sebagai berikut.

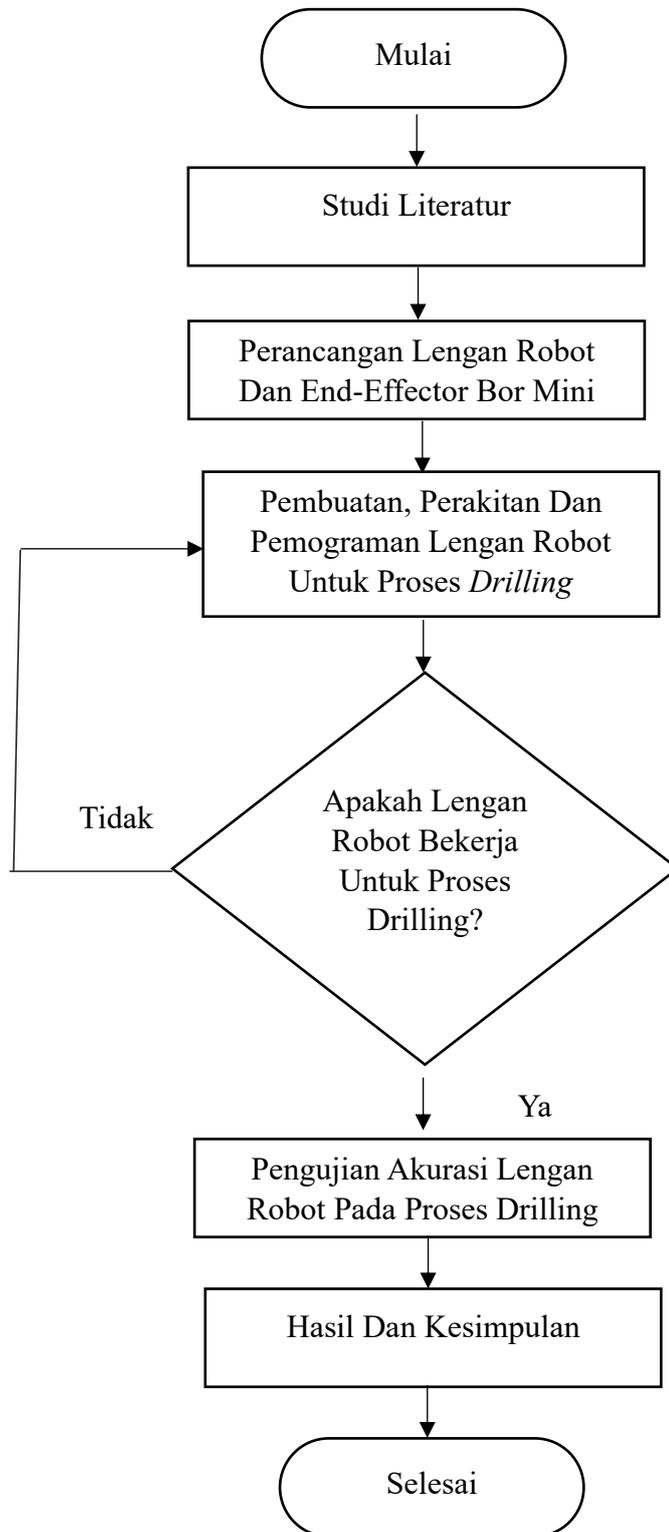
Tabel 3.13 Spesifikasi Relay

Maximum Load	AC 250V/10A, DC 30V/10A
Channel	1
Working voltage	5 V
Weight	60 g



Gambar 3.13 Relay

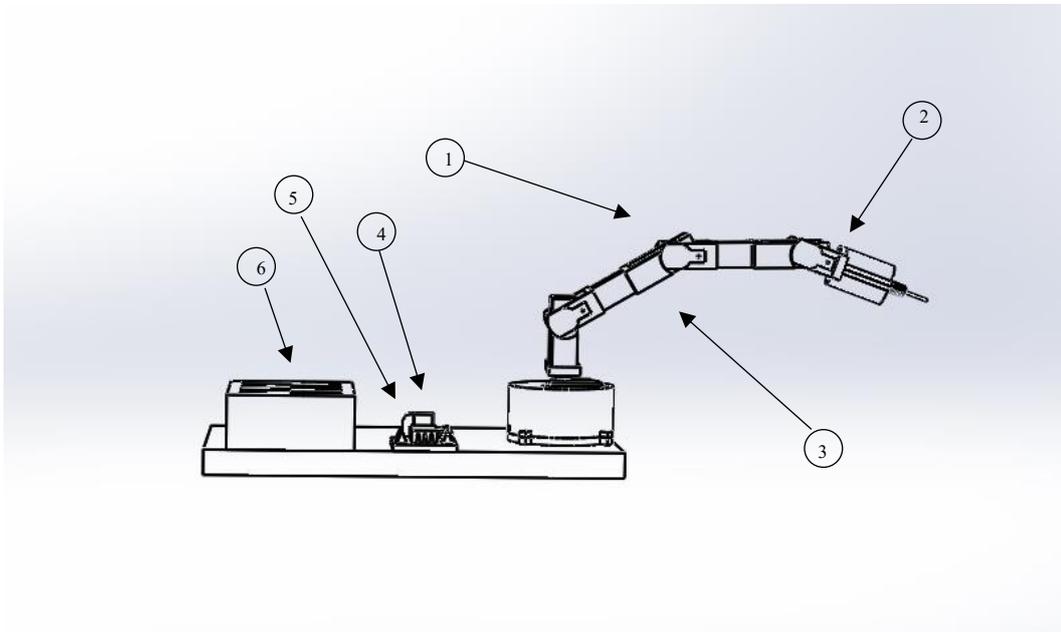
3.3 Bagan Air Penelitian



Gambar 3.14 Bagan Air Penelitian

3.4 Rancangan Alat Penelitian

Gambar desain ini dibuat menggunakan aplikasi SolidWork sebagai acuan pembuatan Lengan robot dan end-effector.



Gambar 3.15 Rancangan Alat Penelitian

Keterangan :

1. *Lengan Robot*
2. *End-effector Drilling*
3. Motor Servo
4. Arduino Nano dan Ekstention
5. Relay
6. Adaptor

3.5 Prosedur Penelitian

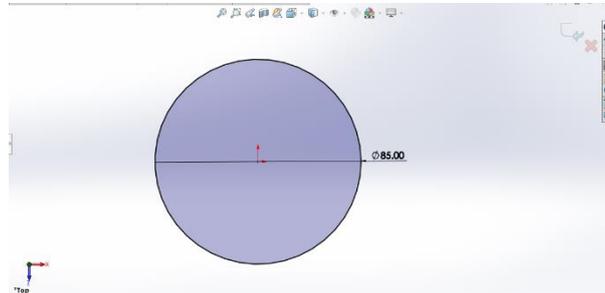
Adapun prosedur penelitian tugas akhir end-effector bor mini untuk proses drilling pada lengan robot 4 derajat kebebasan (*degrees of freedom*) untuk sebagai berikut :

3.5.1 Prosedur Perancangan

1. Menentukan jenis dan desain lengan robot serta mencari referensi yang sesuai.
2. Membuat sketsa dasar gambar lengan robot dikertas gambar.
3. Mengukur komponen-komponen pada lengan robot seperti motor servo dan end-effector seperti bor drilling.
4. Menyiapkan aplikasi SolidWork sebagai aplikasi gambar CAD.
5. Memulai gambar part dan menyiapkan plane gambar pada solidwork.
6. Menggambar bagian-bagian lengan robot dan end-effector pada plane yang telah disiapkan sesuai dengan sketsa dasar gambar yang telah dibuat.
7. Menggunakan tools line dan circle pada sketch untuk menggambar lengan robot.
8. Menyesuaikan ukuran-ukuran bagian lengan robot dan end-effector dengan komponen lain yang telah diukur sebelumnya.
9. Menggunakan Featur Extruded Boss dan extruded cut untuk membuat gambar sketch bagian-bagian lengan robot dan end-effector pada plane menjadi 3 dimensi.
10. Menggambar seluruh bagian-bagian lengan robot dan end-effector dan menyimpannya.
11. Melakukan assembly bagian-bagian lengan robot dan end-effector agar membentuk satu kesatuan lengan robot yang utuh.
12. Melakukan koreksi atau perbaikan gambar apabila ditemukan kesalahan pada saat assembly gambar.
13. Menyimpan gambar yang telah sesuai dalam format file .stl (Stereolithography Mesh).
14. Menyesuaikan model gambar 3D rancangan lengan robot dalam bentuk format .stl menggunakan aplikasi Creality Slicer untuk diprint 3D.
15. Menyimpan file gambar dalam format .gcode (G-code toolpath).
16. Merencanakan penghubungan elektrik Arduino nano, motor servo, relay dan adaptor agar seluruh motor servo sebagai aktuator dapat dihubungkan dan dikendalikan.

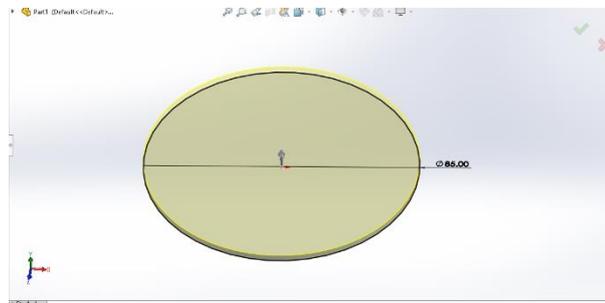
3.5.2 Prosedur Penggambaran CAD Lengan Robot

1. Menyiapkan Plane Gambar Dan Membuat Lingkaran Dengan Diameter 85 Mm.



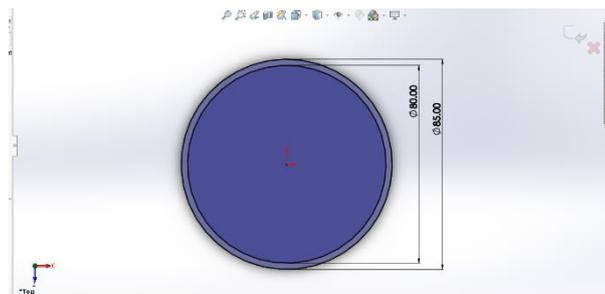
Gambar 3.16 Langkah 1 Penggambaran Base

2. Melakukan Extruded Pada Lingkaran Sebesar 2,25 Mm.



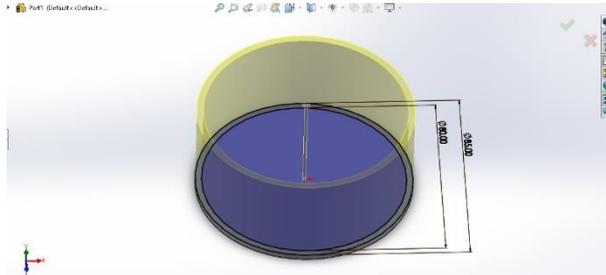
Gambar 3.17 Langkah 2 Penggambaran Base

3. Menggambar Dua Lingkaran Sebagai Dinding Base Dengan Ukuran 80 Mm Dan 85 Mm.



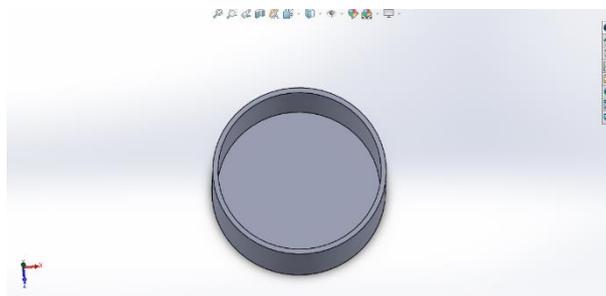
Gambar 3.18 Langkah 3 Penggambaran Base

- Melakukan Extruded Agar Menjadi Dinding Pada Base Sebesar 36,75 Mm.



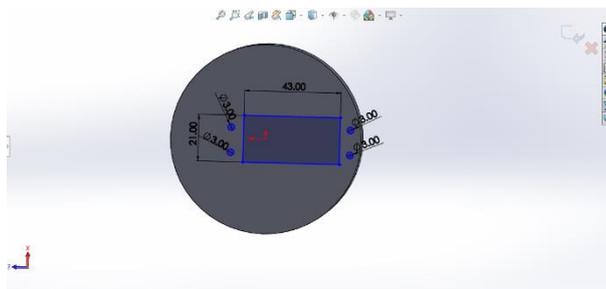
Gambar 3.19 Langkah 4 Penggambaran Base

- Hasil Extruded Dinding Base



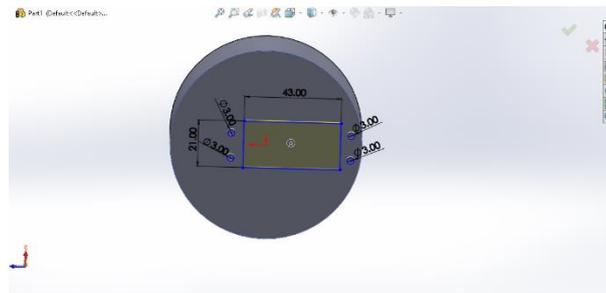
Gambar 3.20 Langkah 5 Penggambaran Base

- Menggambar Persegi Panjang Bagian Tempat Diletakkannya Motor Servo



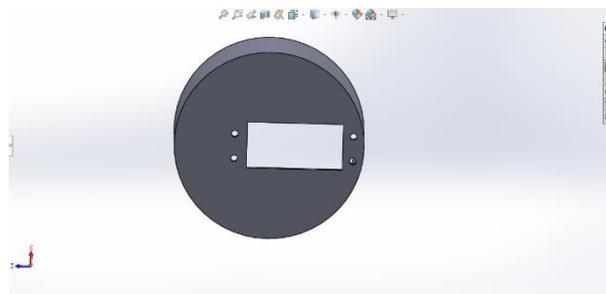
Gambar 3.21 Langkah 6 Penggambaran Base

7. Melakukan Extruded Cut Pada Bagian Tersebut



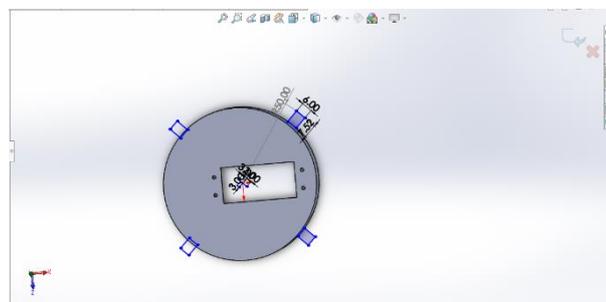
Gambar 3.22 Langkah 7 Penggambaran Base

8. Hasil Extruded Cut Bagian Tempat Diletakkannya Motor Servo Pertama Pada Base



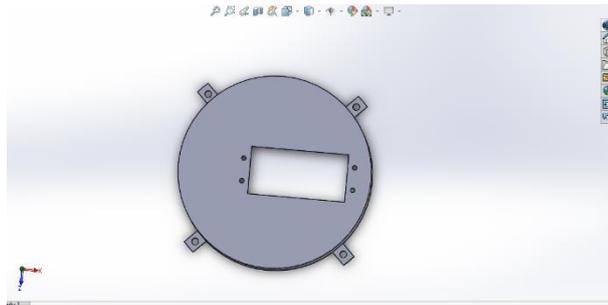
Gambar 3.23 Langkah 8 Penggambaran Base

9. Menggambar Lubang Baut Pada Base



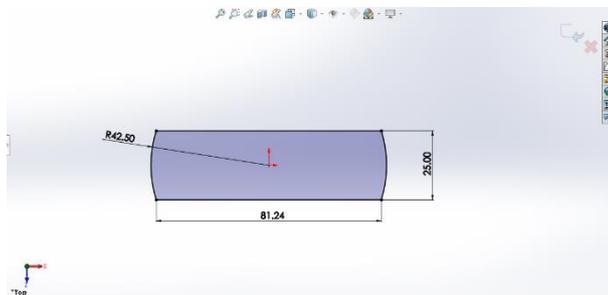
Gambar 3.24 Langkah 7 Penggambaran Base

10. Hasil Akhir Penggambaran Base Lengan Robot



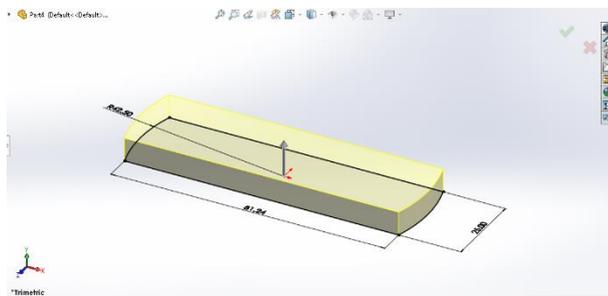
Gambar 3.25 Hasil Akhir Desain Base Lengan Robot

11. Menggambar Bagian Bawah Dari Upper Base Lengan Robot



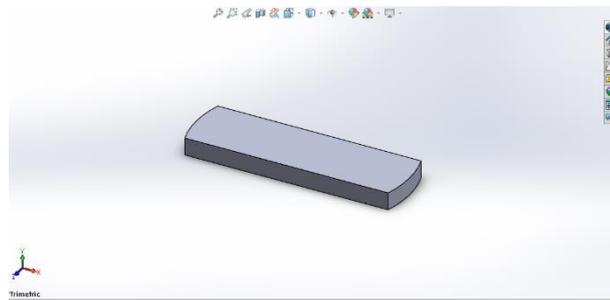
Gambar 3.26 Langkah 1 Penggambaran Upper Base

12. Extruded Bagian Dasar Dari Upper Base



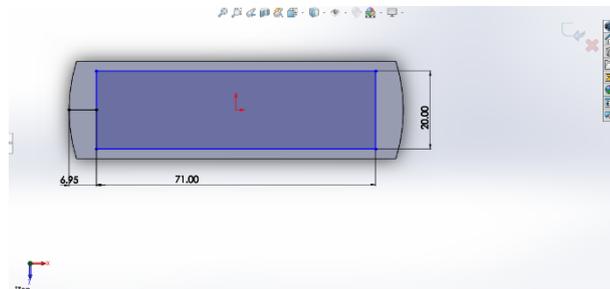
Gambar 3.27 Langkah 2 Penggambaran Upper Base

13. Hasil Extruded Bagian Dasar Dari Upper Base



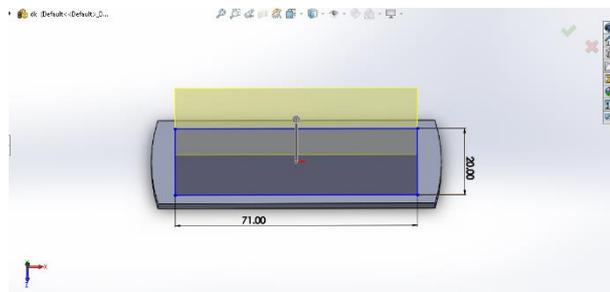
Gambar 3.28 Langkah 3 Penggambaran Upper Base

14. Menggambar Bagian Tiang Pada Upper Base



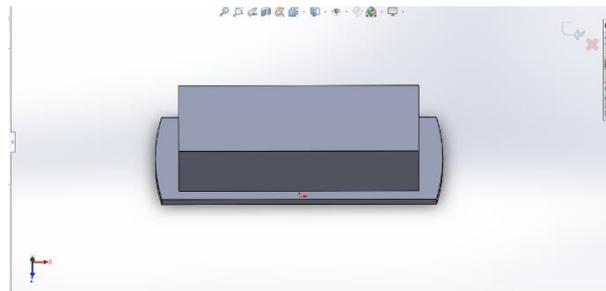
Gambar 3.29 Langkah 4 Penggambaran Upper Base

15. Extruded Dinding (Tiang) Upper Base



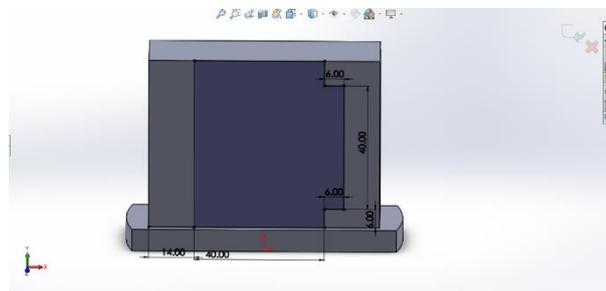
Gambar 3.30 Langkah 5 Penggambaran Upper Base

16. Dinding Hasil Extruded



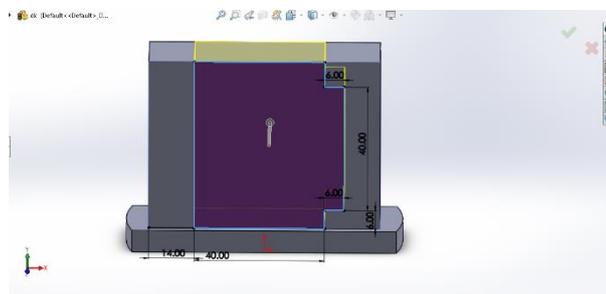
Gambar 3.31 Langkah 6 Penggambaran Upper Base

17. Sketsa Bagian Motor Servo Pada Upper Base



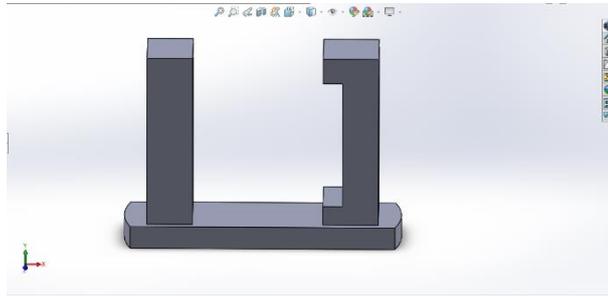
Gambar 3.32 Langkah 7 Penggambaran Upper Base

18. Extruded Cut Untuk Bagian Tempat Diletakkannya Motor Servo



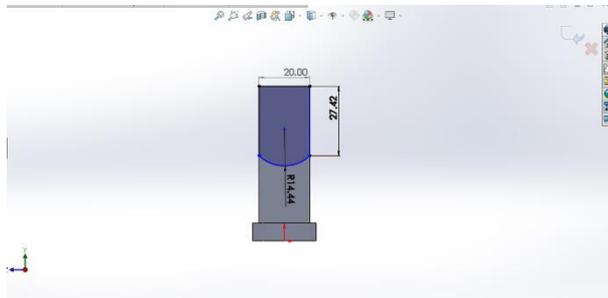
Gambar 3.33 Langkah 8 Penggambaran Upper Base

19. Dinding Hasil Extruded Tempat Diletakkannya Motor Servo Kedua Pada Upper Base



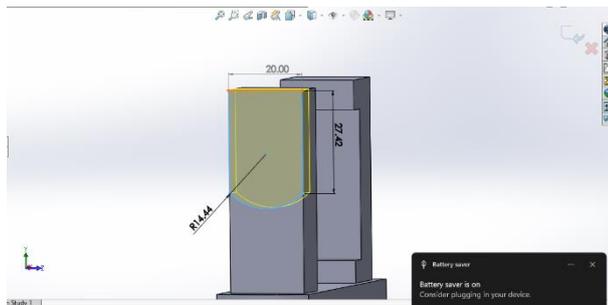
Gambar 3.34 Langkah 9 Penggambaran Upper Base

20. Menggambar Sketsa Untuk Sendi (Joint) Pada Dinding (Tiang) Upper Base



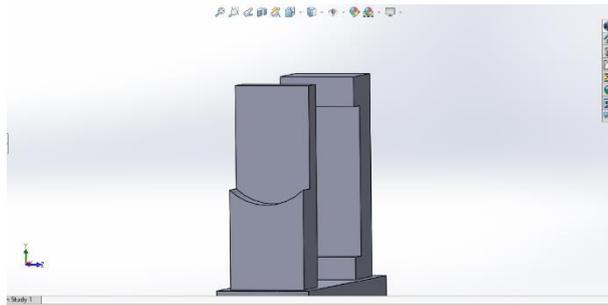
Gambar 3.35 Langkah 10 Penggambaran Upper Base

21. Extruded Sketsa Pada Dinding



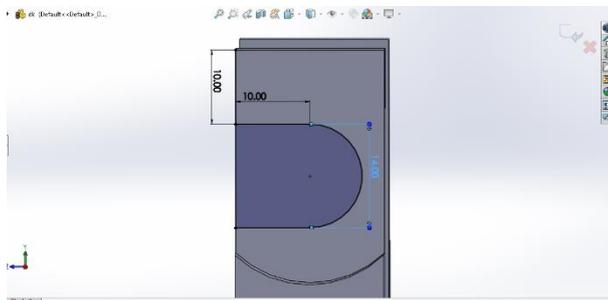
Gambar 3.36 Langkah 11 Penggambaran Upper Base

22. Hasil Extruded Pada Dinding Upper Base



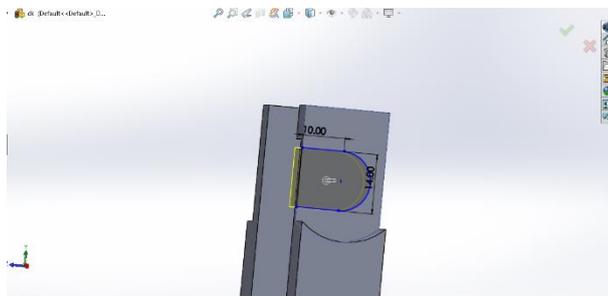
Gambar 3.37 Langkah 12 Penggambaran Upper Base

23. Menggambar Sketsa Untuk Servo Horn Pada Dinding Upper Base



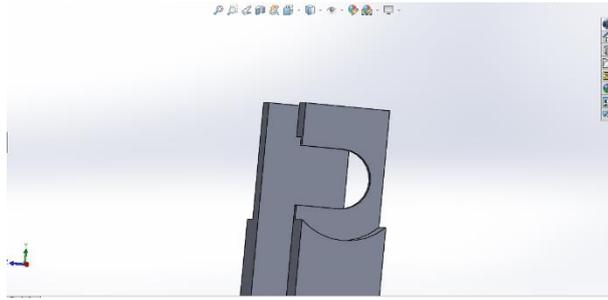
Gambar 3.38 Langkah 13 Penggambaran Upper Base

24. Extruded Sketsa Sebesar 5 Mm



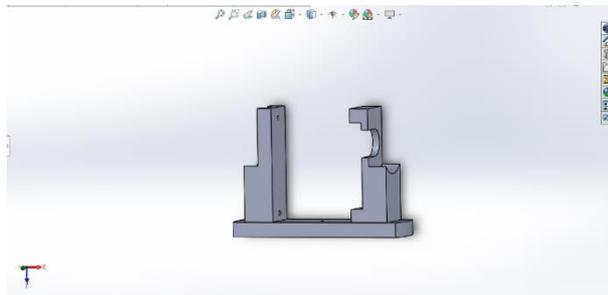
Gambar 3.39 Langkah 14 Penggambaran Upper Base

25. Hasil Extruded Lubang Tempat Servo Horn Pada Dinding Upper Base



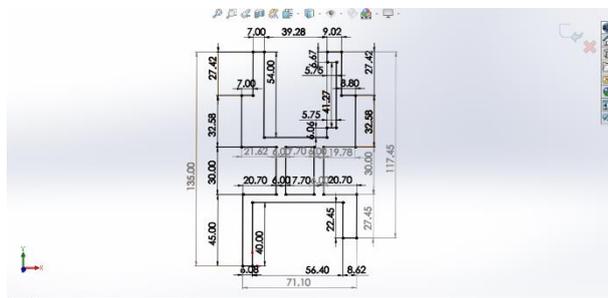
Gambar 3.40 Langkah 15 Penggambaran Upper Base

26. Hasil Desain Upper Base Lengan Robot



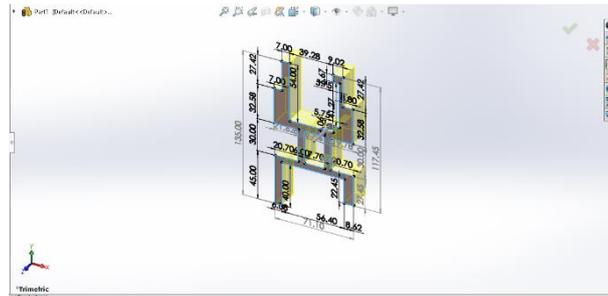
Gambar 3.41 Hasil Akhir Desain Upper Base Lengan Robot

27. Menggambar Sketsa Untuk Link Atau Lengan



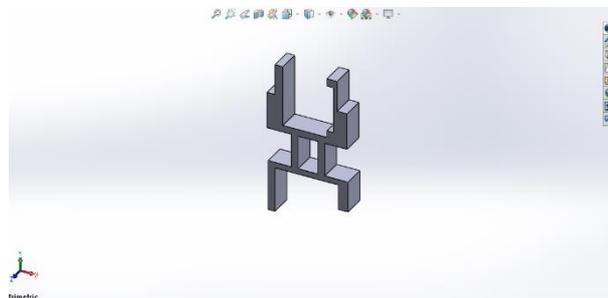
Gambar 3.42 Langkah 17 Penggambaran Upper Base

28. Extruded Sketsa Dengan Ukuran 20 Mm



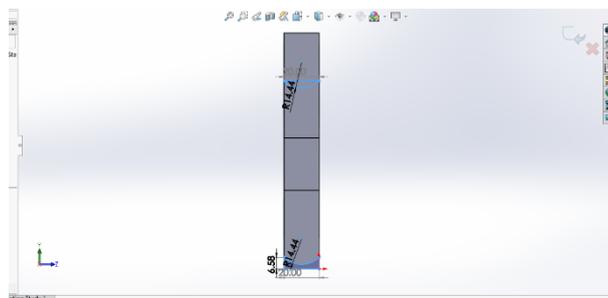
Gambar 3.43 Langkah 1 Penggambaran Link

29. Hasil Extruded Link



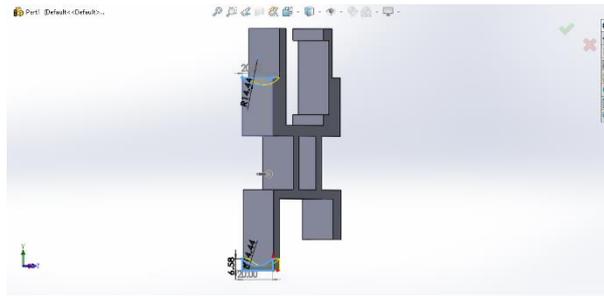
Gambar 3.44 Langkah 2 Penggambaran Link

30. Menggambar Potongan Ujung Link Agar Link Dapat Bergerak Dengan Lebih Leluasa Dan Maksimal



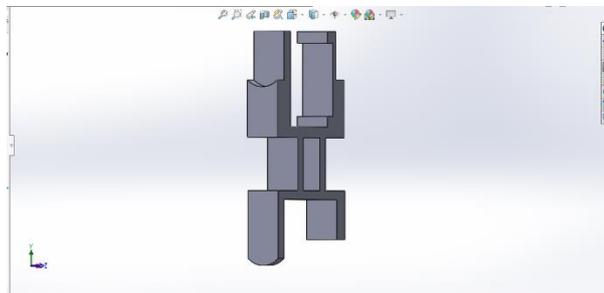
Gambar 3.45 Langkah 3 Penggambaran Link

31. Extruded Desain Yang Telah Dibuat



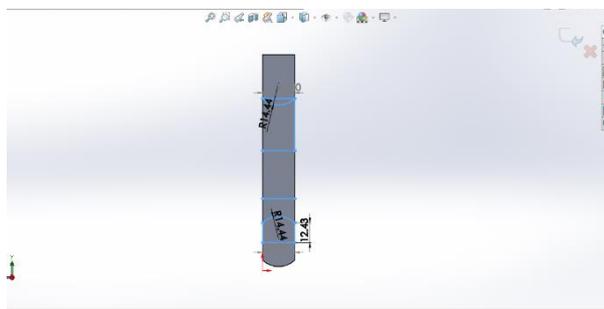
Gambar 3.46 Langkah 4 Penggambaran Link

32. Hasil Extruded Pada Ujung Link



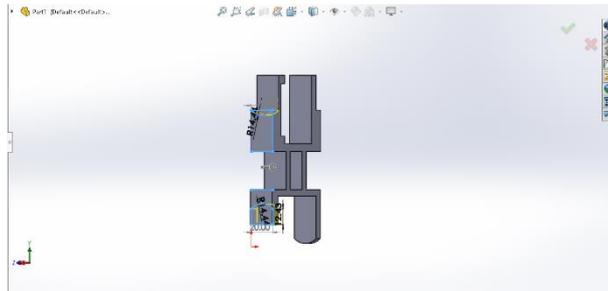
Gambar 3.47 Langkah 5 Penggambaran Link

33. Menggambar Sketsa Yang Sama Pada Ujung Link Yang Satunya



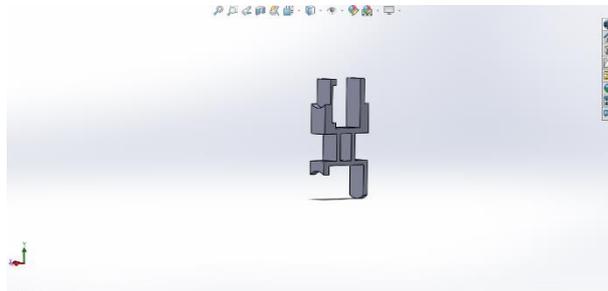
Gambar 3.48 Langkah 6 Penggambaran Link

34. Extruded Seperti Pada Ujung Link Sebelumnya



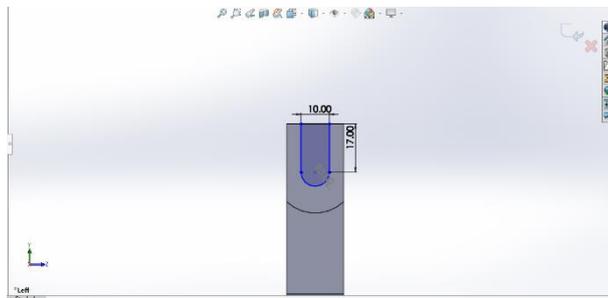
Gambar 3.49 Langkah 7 Penggambaran Link

35. Hasil Extruded Pada Sisi Sebelah Link



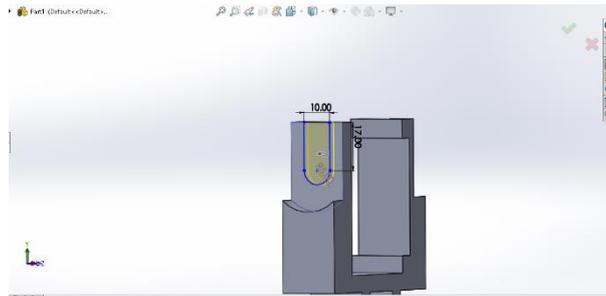
Gambar 3.50 Langkah 8 Penggambaran Link

36. Menggambar Sketsa Lubang Lock Pada Link Agar Link Dapat Saling Terhubung Satu Sama Lain Dengan Lebih Baik



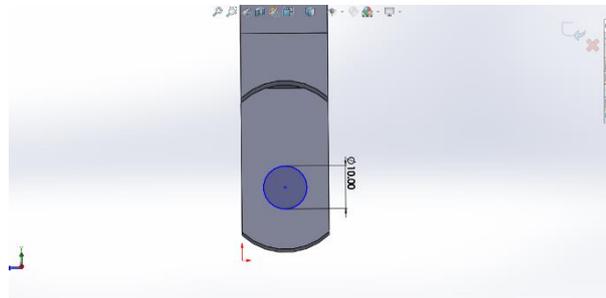
Gambar 3.51 Langkah 9 Penggambaran Link

37. Extruded Lubang Lock Pada Link



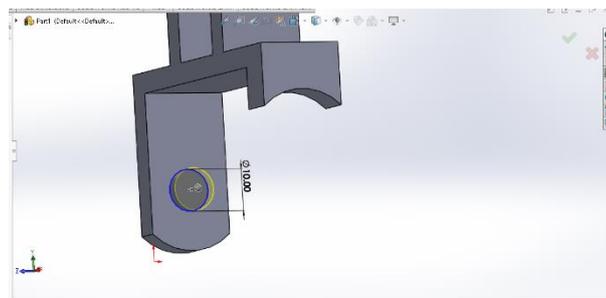
Gambar 3.52 Langkah 10 Penggambaran Link

38. Menggambar Bulatan Lock Pada Link Bagian Bawahnya, Bagian Ini Akan Masuk Kedalam Lubang Lock Pada Link Sehingga Link Dapat Terjalin



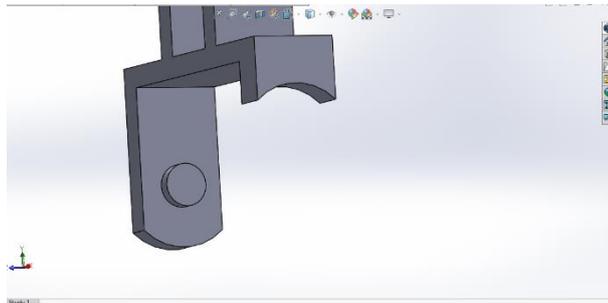
Gambar 3.53 Langkah 11 Penggambaran Link

39. Extruded Bulatan Lock Sebesar 3 Mm



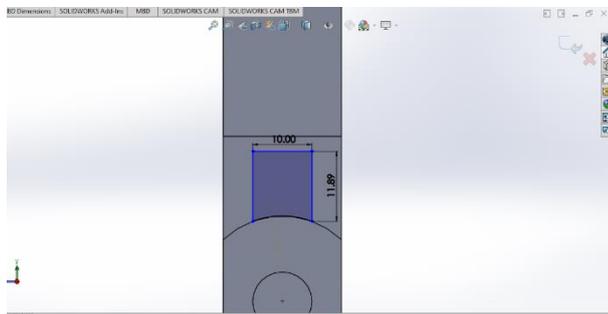
Gambar 3.54 Langkah 12 Penggambaran Link

40. Hasil Extruded Pada Bulatan Lock Link



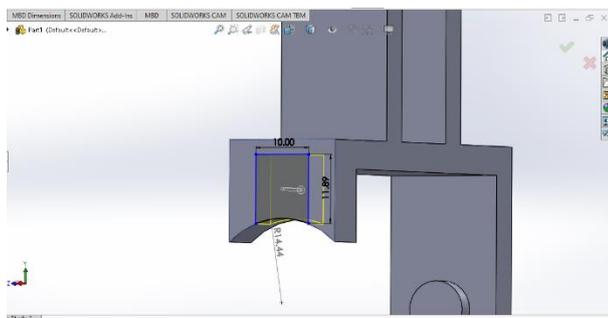
Gambar 3.55 Langkah 13 Penggambaran Link

41. Menggambar Sketsa Lubang Bantuan Servo Horn Sekaligus Tempat Bautnya



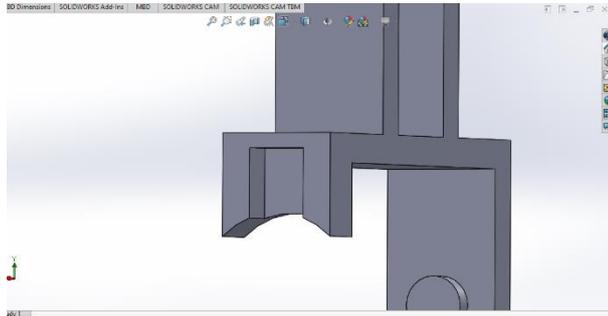
Gambar 3.56 Langkah 14 Penggambaran Link

42. Extruded Lubang Bantuan Servo Horn Link



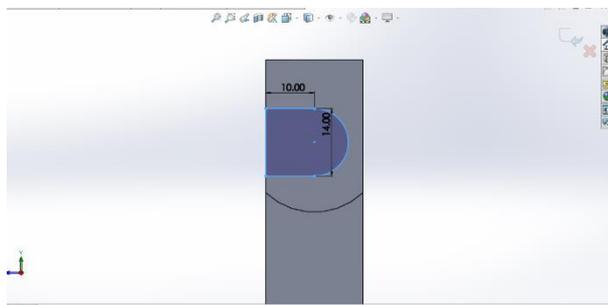
Gambar 3.57 Langkah 15 Penggambaran Link

43. Hasil Extruded Lubang Bantuan Tempat Servo Horn Motor Servo Diletakkan



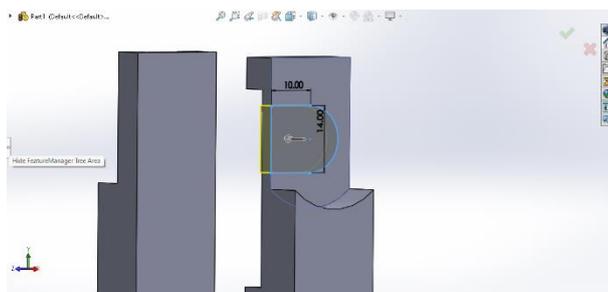
Gambar 3.58 Langkah 16 Penggambaran Link

44. Menggambar Sketsa Lubang Servo Horn Pada Link Sama Seperti Pada Upper Base Sebelumnya



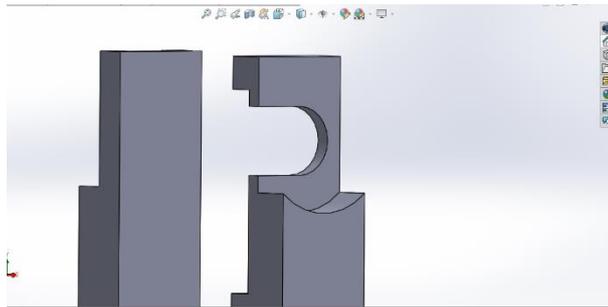
Gambar 3.59 Langkah 17 Penggambaran Link

45. Extruded Bagian Tersebut Sebesar 5 Mm



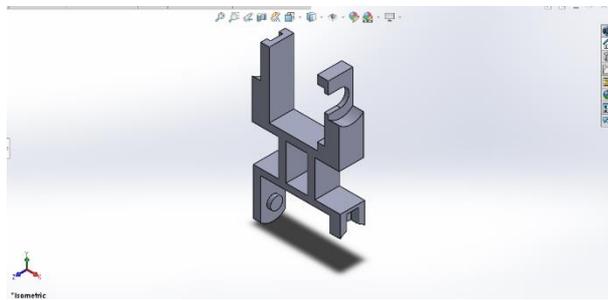
Gambar 3.60 Langkah 18 Penggambaran Link

46. Hasil Extruded Pembuatan Lubang Servo Horn Motor Servo Pada Link



Gambar 3.61 Langkah 19 Penggambaran Link

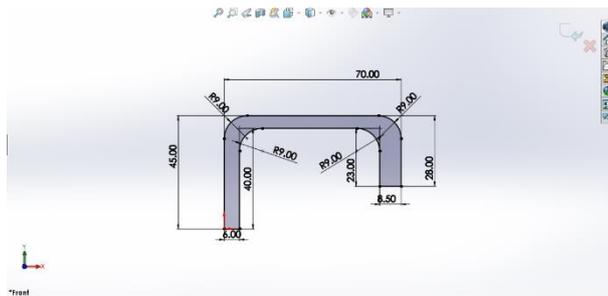
47. Hasil Desain Untuk Link Lengan Robot



Gambar 3.62 Hasil Akhir Desain Link Lengan Robot

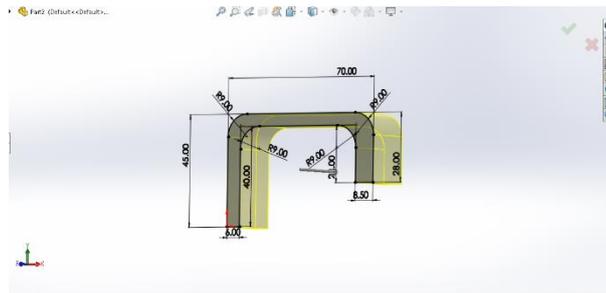
3.5.3 Prosedur Penggambaran CAD End-Effector

1. Menggambar Sketsa Untuk Bagian Dasar End-Effector



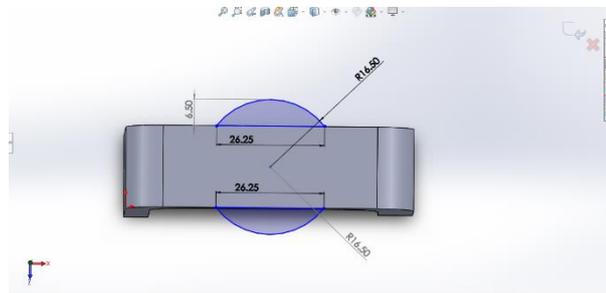
Gambar 3.63 Langkah 1 Penggambaran End-Effector

2. Extruded Bagian Dasar Dari End-Effector



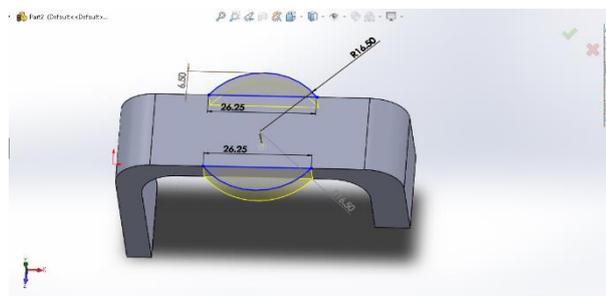
Gambar 3.64 Langkah 2 Penggambaran End-Effector

3. Menambahi Dasar Pada End-Effector Tempat Diletakkannya End-Effector Bor Drilling Mini, Sehingga Bagian Ini Harus Disesuaikan Dengan Bor Drilling



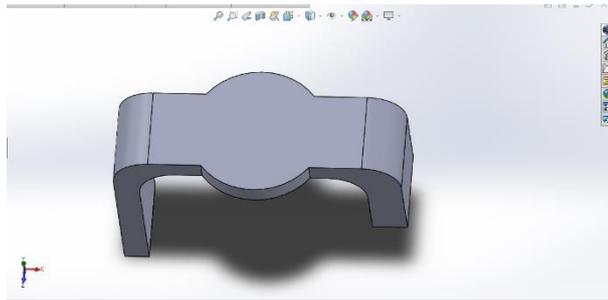
Gambar 3.65 Langkah 3 Penggambaran End-Effector

4. Extruded Bagian Tersebut



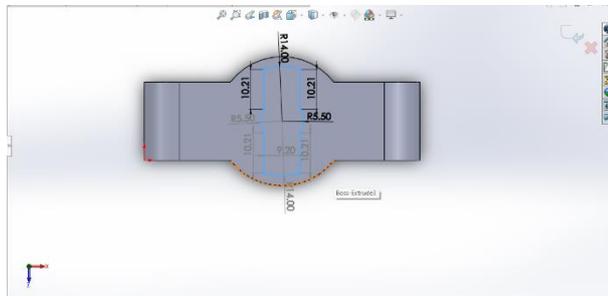
Gambar 3.66 Langkah 4 Penggambaran End-Effector

5. Hasil Extruded Dasar End-Effector



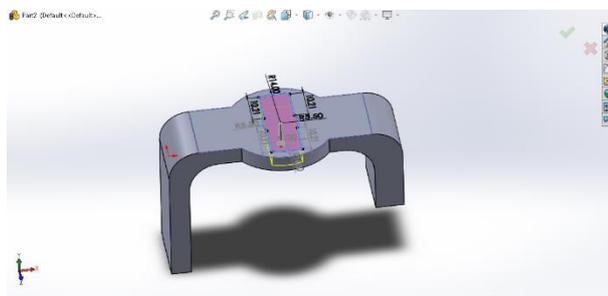
Gambar 3.67 Langkah 5 Penggambaran End-Effector

6. Menggambar Sketsa Lubang Sambungan Kabel Untuk Bor Drilling. Bagian Ini Dibuat Agar Kabel Mampu Menjangkau Bor Drilling



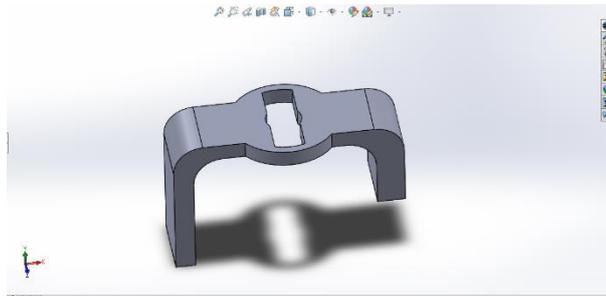
Gambar 3.68 Langkah 6 Penggambaran End-Effector

7. Melakukan Extruded Pada Sketsa Lubang Kabel Yang Telah Dibuat



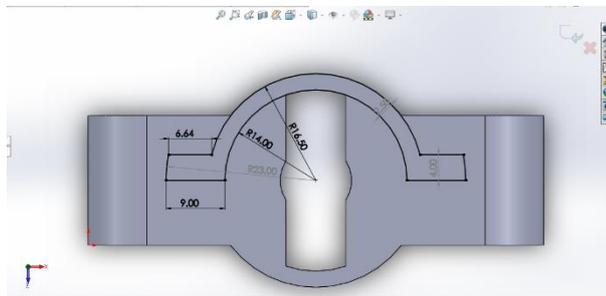
Gambar 3.69 Langkah 7 Penggambaran End-Effector

8. Hasil Extruded Lubang Kabel Pada End-Effector



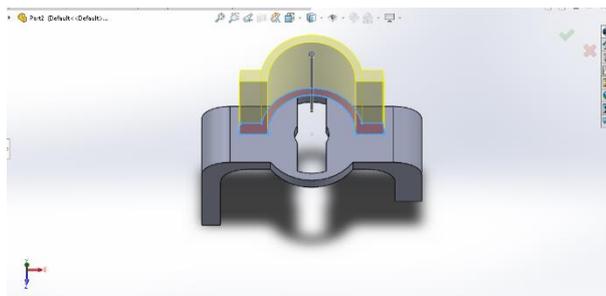
Gambar 3.70 Langkah 8 Penggambaran End-Effector

9. Menggambar Dinding Pada End-Effector. Bagian Ini Nantinya Akan Diisi Oleh Bor Drilling Sehingga Dinding Ini Dibuat Untuk Melindungi Bor Drilling



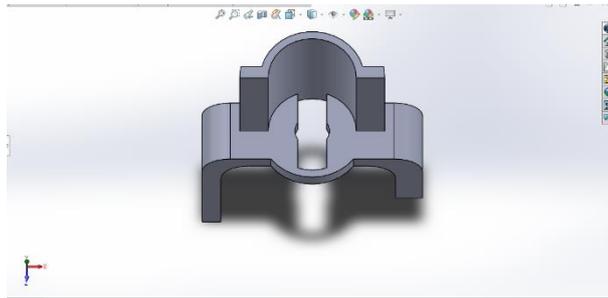
Gambar 3.71 Langkah 9 Penggambaran End-Effector

10. Extruded Dinding End-Effector



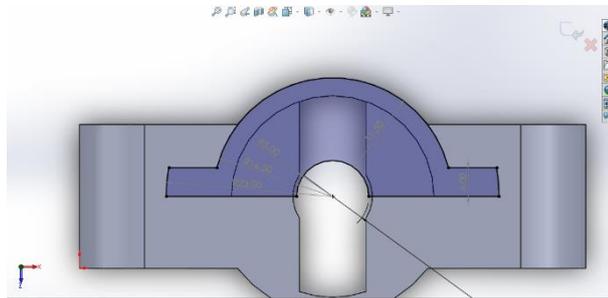
Gambar 3.72 Langkah 10 Penggambaran End-Effector

11. Dinding Hasil Extruded Pada End-Effector



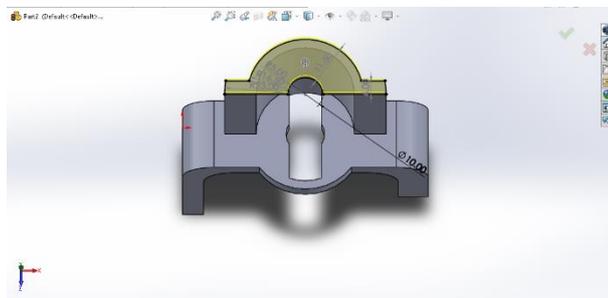
Gambar 3.73 Langkah 11 Penggambaran End-Effector

12. Menggambar Sketsa Bagian Penutup Atas Dinding End-Effector



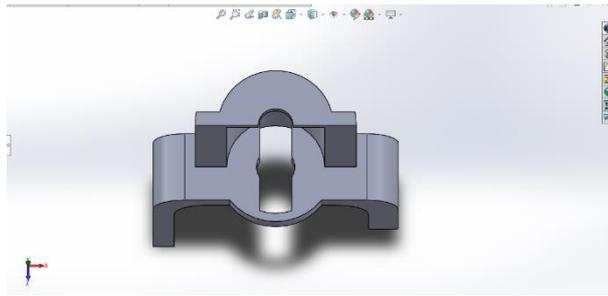
Gambar 3.74 Langkah 12 Penggambaran End-Effector

13. Melakukan Extruded Pada Sketsa Penutup Atas End-Effector



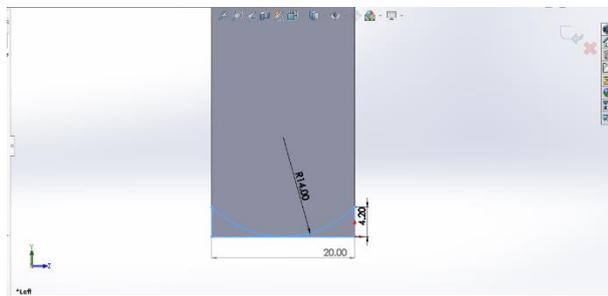
Gambar 3.75 Langkah 13 Penggambaran End-Effector

14. Hasil Extruded Penutup Atas End-Effector Bor Drilling



Gambar 3.76 Langkah 14 Penggambaran End-Effector

15. Menggambar Sketsa Untuk Memotong Bagian Ujung End-Effector Untuk Joint Agar End-Effector Dapat Bekerja Dengan Baik.



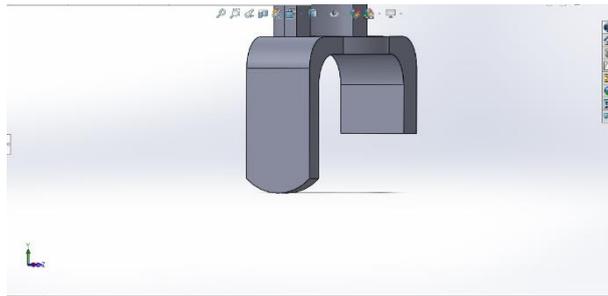
Gambar 3.77 Langkah 15 Penggambaran End-Effector

16. Extruded Sketsa Bagian Tersebut



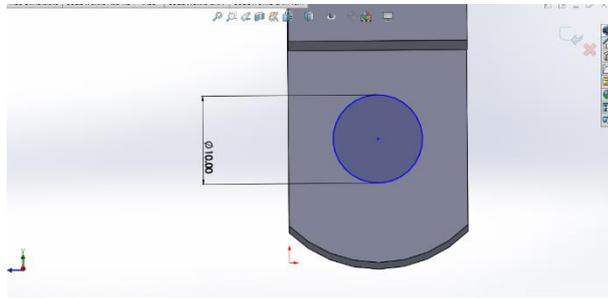
Gambar 3.78 Langkah 16 Penggambaran End-Effector

17. Hasil Extruded Ujung End-Effector



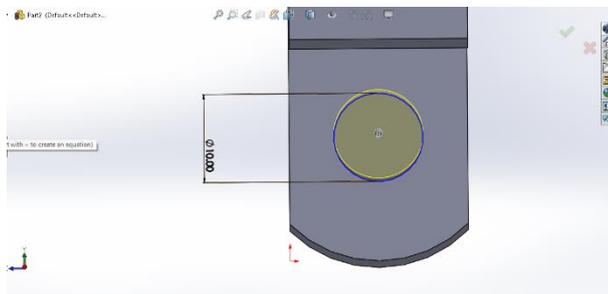
Gambar 3.79 Langkah 17 Penggambaran End-Effector

18. Menggambar Bulatan Lock Untuk Joint



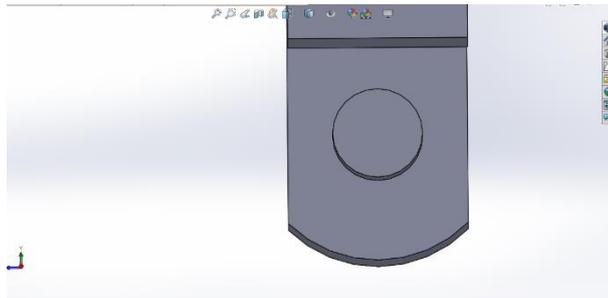
Gambar 3.80 Langkah 18 Penggambaran End-Effector

19. Extruded Bulatan Lock Pada End-Effector



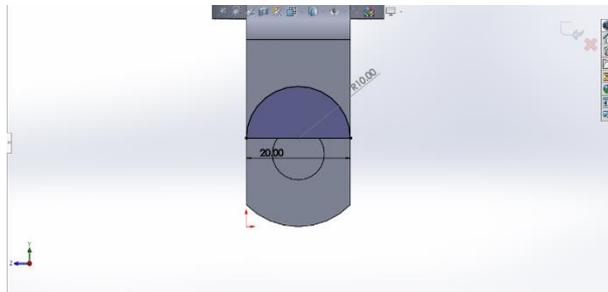
Gambar 3.81 Langkah 19 Penggambaran End-Effector

20. Hasil Bulatan Lock Pada End=Effector



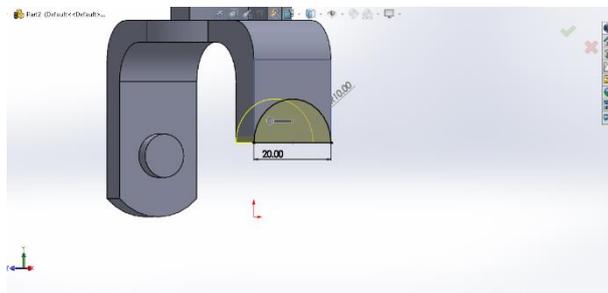
Gambar 3.82 Langkah 20 Penggambaran End-Effector

21. Menggambar Sketsa Potongan Joint Pada Tiang Sebelah End-Effector



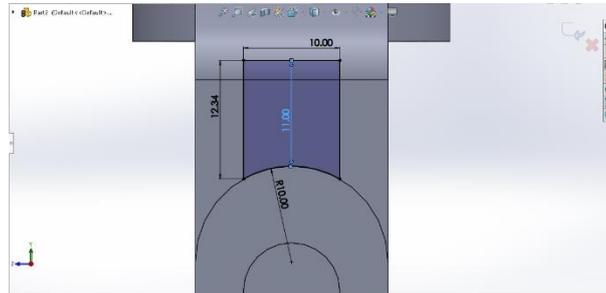
Gambar 3.83 Langkah 21 Penggambaran End-Effector

22. Extruded Bagian Tersebut Hingga Menembus Ujungnya



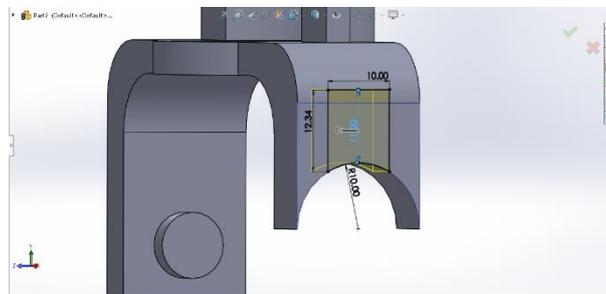
Gambar 3.84 Langkah 22 Penggambaran End-Effector

23. Menggambar Pengunci Pada End-Effector. Lubang Pengunci Ini Akan Mengunci Servo Horn Pada Motor Servo Kedalam End-Effector



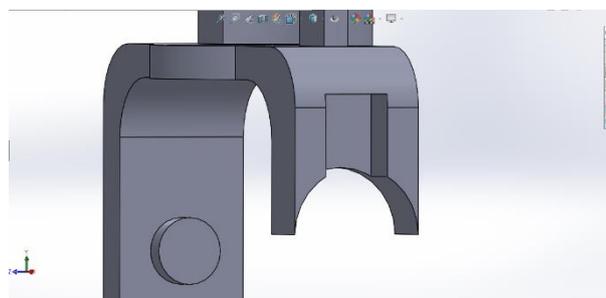
Gambar 3.85 Langkah 23 Penggambaran End-Effector

24. Extruded Lubang Pengunci Pada End-Effector



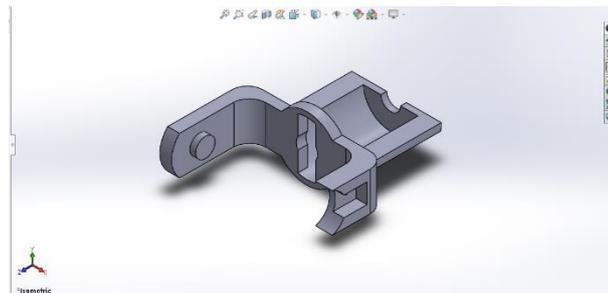
Gambar 3.86 Langkah 24 Penggambaran End-Effector

25. Hasil Extruded Pada Lubang Pengunci End-Effector



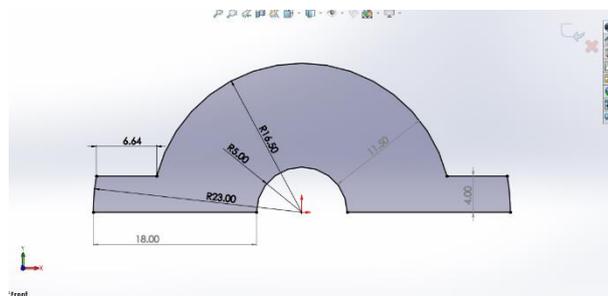
Gambar 3.87 Langkah 25 Penggambaran End-Effector

26. Hasil Desain End-Effector Yang Telah Dibuat



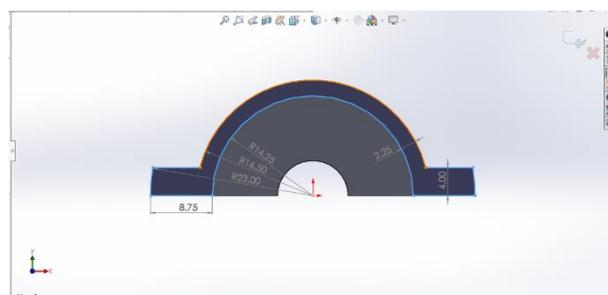
Gambar 3.88 Hasil Akhir Desain End-Effector

27. Menggambar Sketsa Bagian Penutup End-Effector. Bagian Ini Akan Menutup Sekaligu Mengunci Bor Drilling Pada End-Effector. Bagian Ini Dibuat Agar Pengunci Dapat Mengunci Bor Dengan Kuat Saat Melakukan Proses Drilling



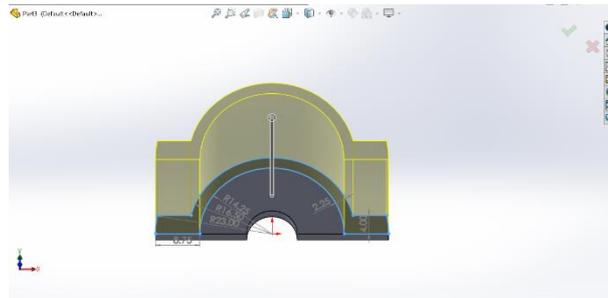
Gambar 3.89 Langkah 1 Penggambaran Penutup End-Effector

28. Menggambar Sketsa Dinding Pada Penutup End-Effector



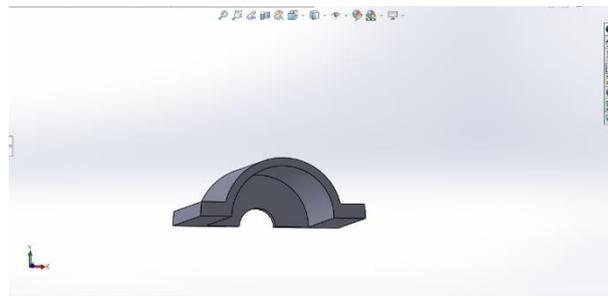
Gambar 3.90 Langkah 2 Penggambaran Penutup End-Effector

29. Extruded Dinding Penutup End-Effector



Gambar 3.91 Langkah 3 Penggambaran Penutup End-Effector

30. Hasil Akhir Penutup End-Effector



Gambar 3.92 Hasil Akhir Desain Penutup End-Effector

3.5.4 Prosedur Pembuatan

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan dan perakitan lengan robot.
2. Mengeprint 3D file .gcode yang sudah dibuat menggunakan 3D printer.
3. Merapikan secara manual hasil 3D printing menggunakan kikir.
4. Merakit dan menyatukan bagian-bagian lengan robot hasil 3D print dengan komponen lainnya seperti actuator motor servo dan end-effector bor *drilling*.
5. Mengulang pendesainan dan pencetakan bagian lengan robot apabila pada saat pencetakan terdapat perbedaan yang cukup besar sehingga perlu adanya perubahan ukuran dari desain.

6. Merakit seluruh bagian lengan robot menjadi satu kesatuan lengan robot drilling apabila seluruh bagian telah sesuai dengan desain.
7. Memasang motor servo pada lengan (link) sesuai dengan arah dan orientasi berputarnya.
8. Memasang bor drilling mini pada end-effector dan menyesuaikannya pada lengan robot.
9. Mengikat atau menyatukan bagian lengan robot menggunakan baut dan obeng agar lengan robot dapat menyatu dengan kuat.
10. Menyesuaikan sudut θ (nol) motor servo pada lengan robot.
11. Meletakkan lengan robot yang telah dirakit diatas platform yang telah disiapkan.
12. Menyiapkan dan meletakkan seluruh komponen elektrik pada platform yang telah disiapkan.
13. Menyambungkan komponen elektrik bor *drilling*, relay, dan adaptor dengan arduino nano menggunakan kabel sesuai dengan diagram wiring yang telah disiapkan.
14. Menyiapkan aplikasi Arduino IDE sebagai text editor untuk memprogram Arduino nano.
15. Mengupload atau mengunggah kode lengan robot yang telah dibuat kedalam Arduino nano.
16. Melakukan pengetesan lengan robot apakah lengan robot bekerja atau tidak.

3.5.5 Prosedur Pengujian

Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian kepresisian end-effector bor mini pada lengan robot 4 derajat kebebasan melakukan proses drilling. Adapun prosedur pengujian lengan robot dibagi menjadi dua bagian, yaitu pengujian *forward kinematic* dan *invers kinematic*.

Forward kinematic

1. Menyiapkan simulasi lengan robot menggunakan aplikasi Matlab.
2. Menentukan input berupa sudut tiap *joint* lengan robot.

3. Mencatat tiap input sudut *joint*.
4. Memasukkan input sudut *joint* kedalam simulasi lengan robot matlab.
5. Mencatat output (hasil) dari simulasi berupa titik koordinat xyz untuk *end-effector*.
6. Memasukkan input sudut *joint* dengan program Arduino pada lengan robot.
7. Menjalankan program Arduino dengan input sudut *joint* yang telah dimasukkan.
8. Mengukur koordinat aktual *end-effector* lengan robot menggunakan penggaris.
9. Mencatat output (hasil) koordinat akhir *end-effector* lengan robot.
10. Mengumpulkan dan membandingkan output (hasil) koordinat akhir dari lengan robot dengan output (hasil) koordinat simulasi.

Forward kinematic

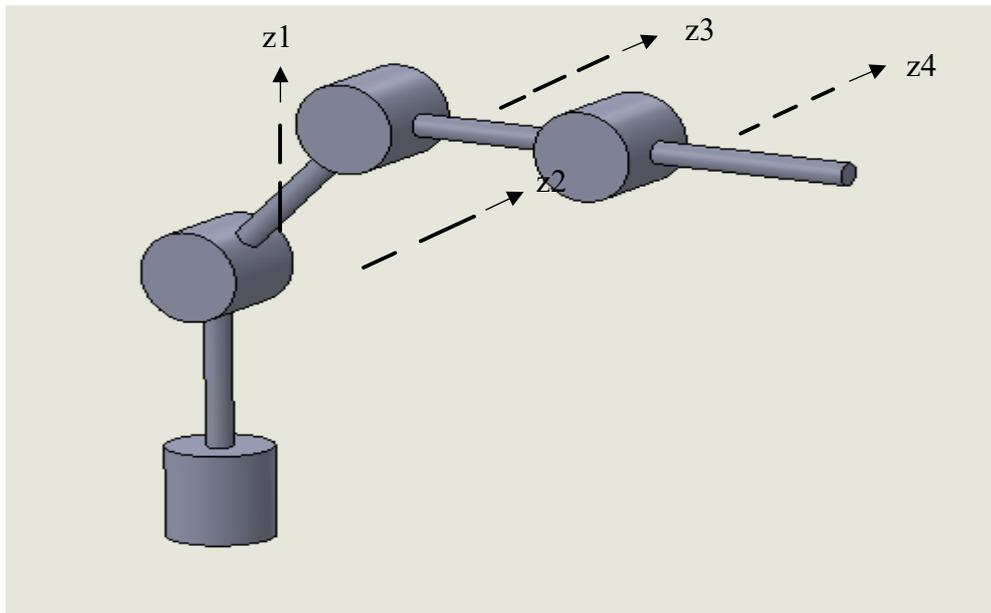
1. Menyiapkan simulasi lengan robot menggunakan aplikasi Matlab.
2. Menentukan input koordinat akhir xyz *end-effector*.
3. Mencatat tiap input koordinat xyz.
4. Memasukkan input koordinat xyz kedalam simulasi lengan robot matlab.
5. Mencatat sudut-sudut tiap *joint* lengan robot dari simulasi.
6. Memasukkan sudut-sudut tiap *joint* yang telah diketahui dari simulasi.
7. Menjalankan program Arduino dengan sudut *joint* yang telah dimasukkan.
8. Mengukur koordinat aktual *end-effector* lengan robot menggunakan penggaris.
9. Mencatat output (hasil) koordinat akhir *end-effector* lengan robot.
10. Mengumpulkan dan membandingkan output (hasil) koordinat akhir dari lengan robot dengan input koordinat xyz simulasi

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan End-Effector Dan Lengan Robot Drilling

Dalam perancangan lengan robot ini, hasil diperoleh melalui proses perancangan sendiri (independent) yang melibatkan pencarian referensi desain lengan robot yang sesuai dan pelaksanaan pengukuran terhadap bagian-bagian lengan robot yang dibeli seperti motor servo dan end effector untuk memastikan kesesuaian agar penggabungan bagian-bagian lengan robot menjadi optimal dan bekerja dengan baik.

Lengan robot yang dirancang merupakan jenis atau type articulated manipulator 4 DOF, di mana keempat sendinya berputar atau bersifat rotary, dengan konfigurasi bahwa arah putar lengan (*link*) ke-satu (z_1) tegak lurus dengan arah putar lengan (*link*) ke-dua (z_2), arah putar lengan (*link*) ke-tiga (z_3), dan arah putar lengan (*link*) ke-empat (z_4). Sedangkan arah putar lengan (*link*) ke-dua (z_2), arah putar lengan (*link*) ke-tiga (z_3), dan arah putar lengan (*link*) ke-empat (z_4) sejajar satu sama lain seperti pada gambar 4.1 dibawah. Lengan robot memiliki dimensi dengan tinggi maksimum 1 meter, lebar 20 cm, dan panjang 40 cm.



Gambar 4.1 Rancangan Tipe Lengan Robot

4.1.1 Pengukuran Komponen Lengan Robot

Langkah awal yang dilakukan dalam merancang lengan robot ini adalah dengan melakukan pengukuran komponen-komponen elektrik yang akan digunakan, yaitu motor servo mg996r sebagai motor penggerak dan bor *drilling* sebagai *end-effector* dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini. Setelah ukuran-ukuran motor servo dan bor *drilling* diketahui dengan akurat, selanjutnya dilakukan perancangan menggunakan aplikasi CAD solidwork berdasarkan data ukuran motor servo dan bor *drilling* yang telah diperoleh tersebut. Proses pengukuran ini dilakukan untuk memastikan bahwa desain yang dibuat akan sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan dan memungkinkan untuk integrasi yang tepat antara komponen-komponen yang akan digunakan dalam lengan robot sehingga lengan robot dapat berfungsi dan bergerak sesuai dengan yang diinginkan.

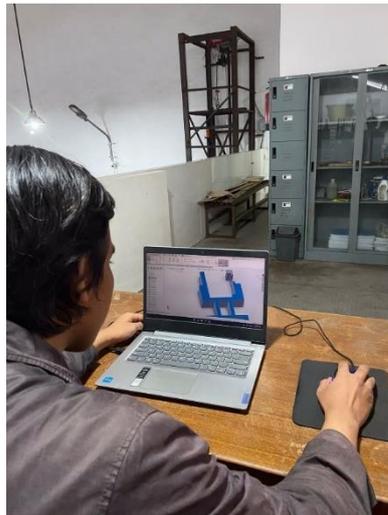


Gambar 4.2 Pengukuran Komponen Lengan Robot

4.1.2 Perancangan CAD Bagian Lengan Robot

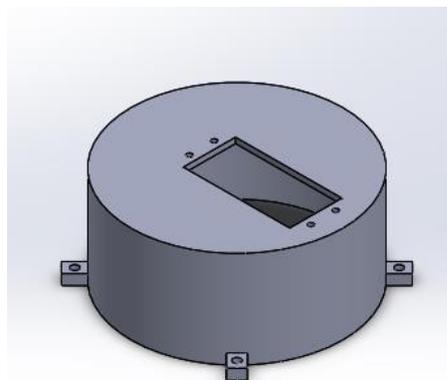
Setelah mendapatkan data ukuran komponen-komponen yang akan digunakan, Selanjutnya menyiapkan aplikasi CAD yang akan digunakan, yakni SolidWorks. Dalam aplikasi ini, gambar rancangan akan dibuat sesuai dengan konsep dan ukuran yang telah diperoleh sebelumnya. Proses perancangan dimulai dengan menggambar komponen-komponen utama seperti base, base atas

(upperbase), *link* (lengan), end effektor dan komponen penghubung sesuai dengan kebutuhan dan spesifikasi yang telah ditetapkan dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah. Dengan demikian, langkah awal ini memungkinkan untuk memvisualisasikan secara detail dan akurat bagaimana struktur dan komponen-komponen lengan robot akan disusun dalam desain keseluruhan. Selanjutnya merencanakan diagram wiring untuk seluruh komponen elektrik yang digunakan pada lengan robot agar setiap komponen tersebut dapat terintegrasi dengan baik.



Gambar 4.3 Penggambaran CAD Komponen Lengan Robot

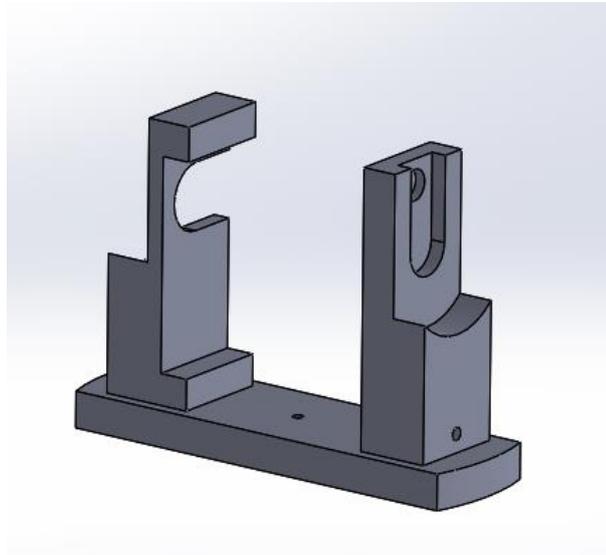
4.1.2.1. Base



Gambar 4.4 Base Lengan Robot

Gambar 4.4 adalah hasil rancangan dari base lengan robot yang berfungsi sebagai penopang utama struktur keseluruhan lengan robot. Di dalamnya, terdapat servo sebagai motor penggerak pertama yang ditempatkan tegak lurus dengan posisi motor penggerak lainnya. Pada keempat sisinya, terdapat lubang baut yang dirancang untuk memungkinkan pemasangan base pada platform atau bidang datar lainnya untuk kestabilan maksimal. Base ini berbahan plastik dengan ukuran diameter 85 mm, tinggi 38.5 mm, dan ketebalan dinding 2.5 mm. Desain ini diharapkan dapat memberikan keandalan dan kekokohan struktur yang baik saat digunakan dalam pembuatan lengan robot.

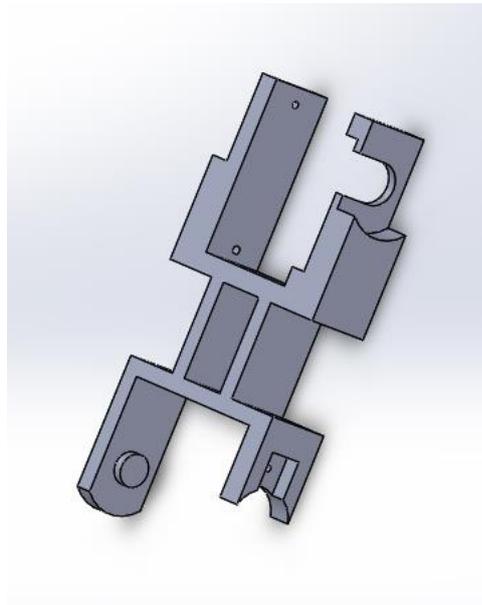
4.1.2.2. Base Atas (Upper Base)



Gambar 4.5 Base Atas (Upper Base)

Gambar diatas 4.5 diatas merupakan hasil rancangan dari base atas atau upper-base, yang berfungsi sebagai penopang lengan robot sekaligus sebagai *joint* tempat motor servo penggerak kedua. Bagian ini dirancang dengan memperhatikan ukuran servo dan bagian *link* (lengan), sehingga memungkinkan gerakan yang lancar dan efisien. Bagian ini berbahan plastic dengan ukuran Panjang 85 mm, lebar 25 mm, tinggi 61 mm.

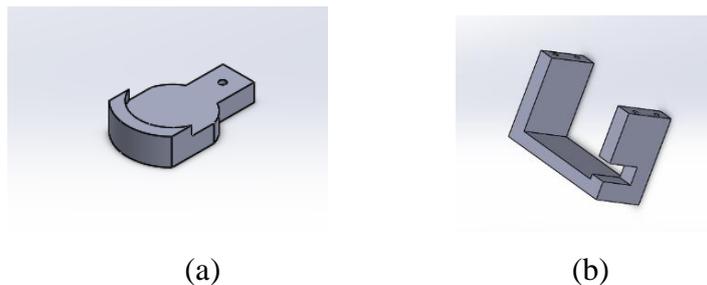
4.1.2.3. *Link* (Lengan)



Gambar 4.6 *Link* (Lengan)

Gambar 4.6 diatas adalah hasil rancangan *link* (lengan) yang merupakan bagian utama yang digunakan sebagai penghubung antar *joint* pada lengan robot. Ukuran dari *link* ini sangat berpengaruh pada perhitungan kinematic lengan robot. Bagian ini terbuat dari plastic dengan ukuran Panjang 135 mm, lebar 20 mm dan tinggi 71 mm. diharapkan struktur keseluruhan *link* (lengan) robot dapat memberikan dukungan struktur yang optimal sehingga gerakan yang diinginkan dapat dilakukan dengan baik.

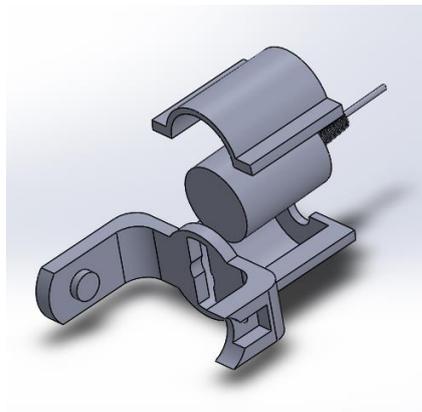
4.1.2.4. Penghubung



Gambar 4.7 (a) Penghubung Servo Horn dan (b) Penghubung Servo *Link*

Gambar 4.7 diatas terdiri dari dua rancangan bagian yang merupakan penghubung antara servo dengan *link* (lengan) pada lengan robot. Gambar a adalah bagian yang menghubungkan bagian berputar servo (servo horn) dengan lengan, sedangkan gambar b adalah bagian cover servo yang digunakan untuk meletakkan servo ke dalam *link* (lengan). Kedua bagian ini terbuat dari plastik, dengan ukuran gambar a memiliki panjang 35.4 mm, lebar 20 mm, dan tebal 5.61 mm, sedangkan gambar b memiliki ukuran panjang 53.91 mm, lebar 20 mm, dan tinggi 33.6 mm. Desain yang diperlihatkan telah mempertimbangkan kebutuhan struktural dan fungsional masing-masing bagian, sehingga memungkinkan integrasi yang kokoh antara servo dan *link*.

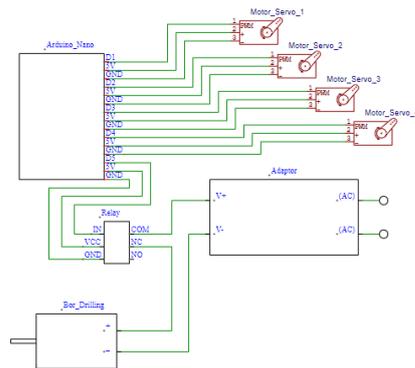
4.1.3 Perancangan CAD End-Effector Drilling



Gambar 4.8 *End-effector*

Gambar 4.8 ini adalah hasil rancangan *end-effector*, yang berfungsi sebagai tempat diletakkannya bor *drilling*. Bagian ini terdiri dari rumah bor dengan penutupnya yang telah didesain sesuai dengan ukuran dan bentuk bor *drilling* agar dapat berfungsi dengan optimal. Bagian ini terbuat dari plastik, dengan ukuran panjang 82,54 mm, lebar 71,1 mm, tinggi 71,89 mm, dan ketebalan 3 mm.

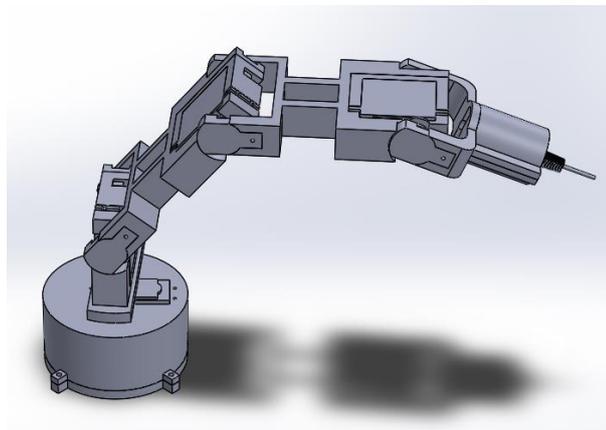
4.1.4 Diagram Wiring



Gambar 4.9 Diagram Wiring Lengan Robot

Gambar 4.9 diatas adalah diagram wiring dari lengan robot. Diagram wiring lengan robot ini mencakup penghubungan elektrikal yang merangkum semua komponen, seperti motor, servo, arduini, papan, riley dan adaptor. Ini membantu memastik integrasi yang tepat antara komponen-komponen tersebut untuk pengendalian dan penyediaan daya yang efisien

4.1.5 Assembly Lengan Robot Drilling



Gambar 4.10 Hasil Rancangan Lengan Robot

Gambar 4.10 ini adalah hasil dari rancangan yang telah dirakit (assembly) hingga membentuk sebuah lengan robot utuh. Dalam rancangan ini, semua komponen yang telah dirancang sebelumnya, seperti base, upper-base, link

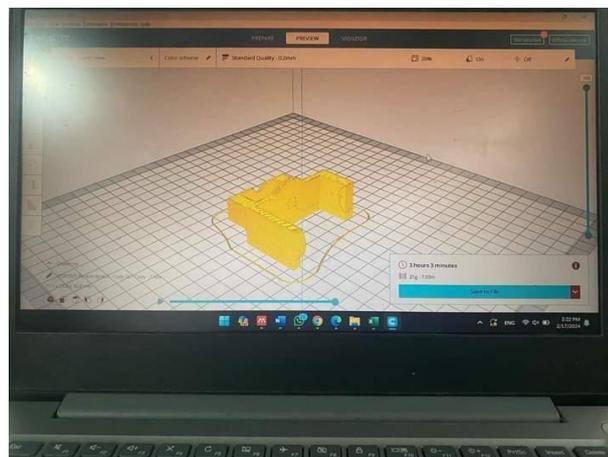
(lengan), penghubung antara servo dengan *link*, dan *end-effector* telah dipasang secara bersama-sama untuk membentuk struktur keseluruhan dari lengan robot. Dengan demikian, gambar ini mencerminkan bagaimana rancangan tersebut akan terlihat dan berfungsi dalam bentuknya yang lengkap dan siap digunakan. Lengan robot ini memiliki dimensi keseluruhan Panjang 85 mm, lebar 20 mm dan tinggi 417 mm.

4.2 Hasil Pembuatan End-Effector Dan Lengan Robot Drilling

4.2.1 Pembuatan Bagian Lengan Robot

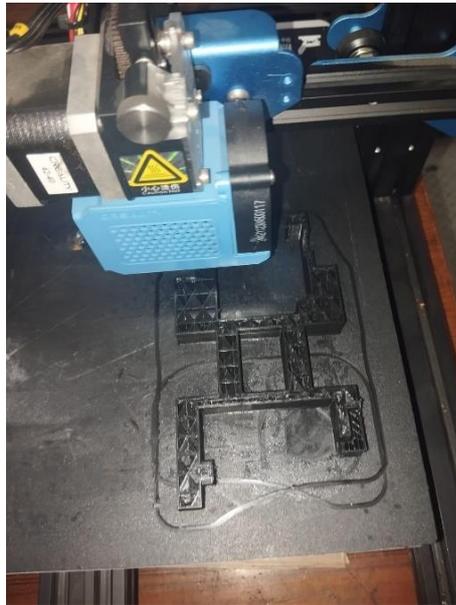
Pembuatan komponen lengan robot dilakukan dengan mengkonversi desain lengan robot yang telah dibuat menggunakan aplikasi CAD SolidWorks ke dalam format STL. Proses ini penting untuk memastikan bahwa desain yang telah dibuat dapat diimpor dengan benar ke dalam perangkat lunak lain untuk proses selanjutnya.

Setelah desain lengan robot dikonversi ke dalam format STL, langkah berikutnya adalah menyesuaikan gambar desain tersebut menggunakan perangkat lunak Creality Slicer. Penggunaan Creality Slicer memungkinkan kita untuk memperbaiki hasil akhir dan penempatan pengerjaan dalam dimensi tiga secara lebih efisien. Dengan memanfaatkan fitur-fitur yang tersedia dalam Creality Slicer, dapat memastikan bahwa proses penyusunan cetakan 3D menjadi lebih optimal, tanpa mengorbankan waktu yang berlebihan. Dapat dilihat pada gambar 4.11 dibawah ini



Gambar 4.11 Penyesuaian 3D Printing

Setelah proses penyesuaian file selesai menggunakan Creality Slicer, berikutnya mengekspor hasilnya ke dalam format G-code agar dapat dipahami dan diproses printer 3 dimensi kemudian melakukan pencetakan 3 dimensi. Proses pencetakan 3 dimensi menggunakan bahan filamen pla+ berwarna hitam agar membentuk komponen lengan robot yang diinginkan berdasarkan rancangan yang telah disiapkan. Dapat dilihat pada gambar 4.12 dibawah ini



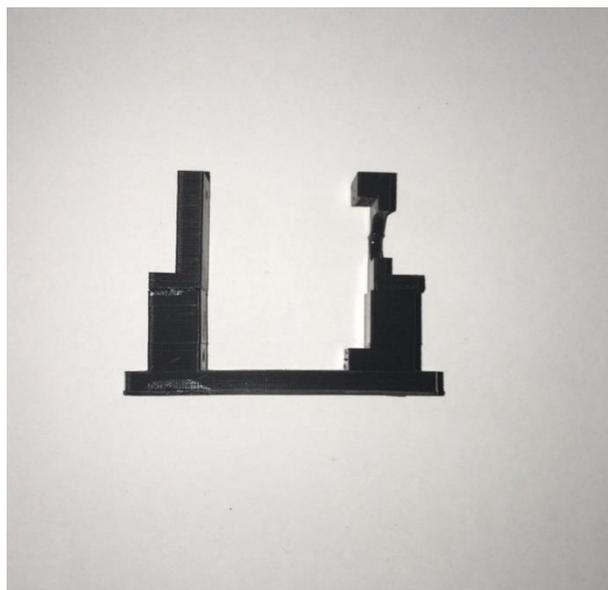
Gambar 4.12 Proses 3D Printing

Hasil pencetakan 3D memiliki ketidaksempurnaan atau defek yang muncul selama proses cetakan, seperti lehan atau ketidaksesuaian dengan dimensi yang diinginkan. Adapun hasil pencetakan 3D dari base ini setelah mengalami penyusutan dari ukuran rancangan asli yaitu ukuran diameter 84,8 mm, tinggi 37.7 mm, dan ketebalan dinding 2.5 mm. Dapat dilihat pada gambar 4.13.



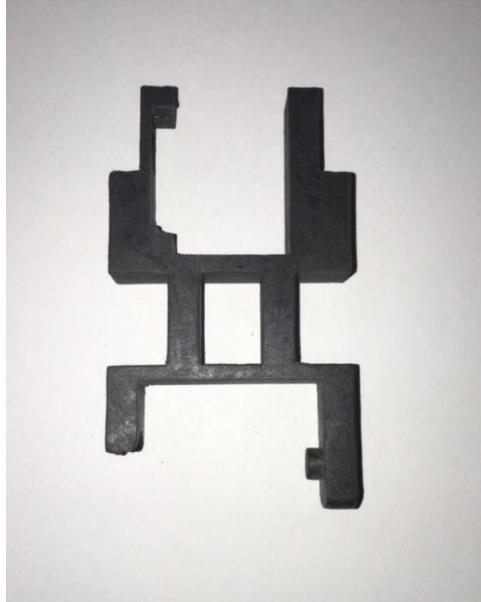
Gambar 4.13 Hasil Pencetakan Base

Bagian base atas hasil pencetakan 3D yang mengalami penyusutan dari rancangan aslinya setelah diukur memiliki ukuran Panjang 84,9 mm, lebar 24,8 mm, tinggi 60,65 mm. dapat dilihat pada gambar 4.14 dibawah ini.



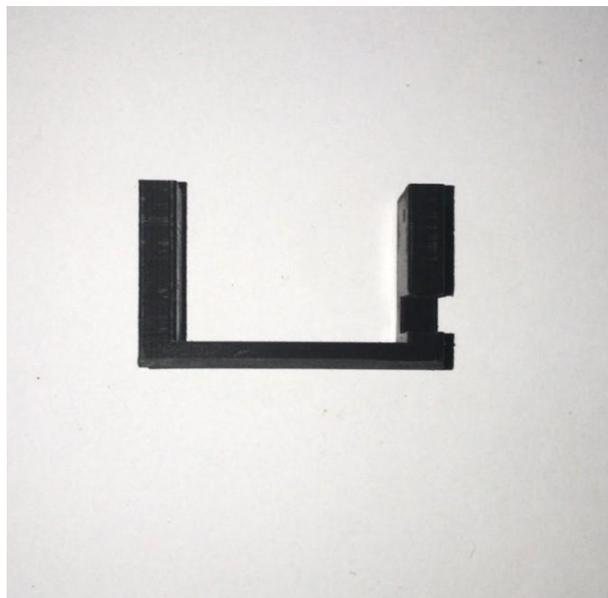
Gambar 4.14 Hasil Pencetakan Base Atas

Ukuran *link* setelah dilakukan pencetakan yaitu panjang 134 mm, lebar 20 mm dan tinggi 70,7 mm. dapat dilihat pada gambar 4.15 dibawah ini.



Gambar 4.15 Hasil Pencetakan *Link*

Bagian penghubung masing-masing memiliki panjang 34.8 mm, lebar 20 mm, dan tebal 5.4 mm dan panjang 53.5 mm, lebar 20 mm, dan tinggi 32.4 mm. dapat dilihat pada gambar 4.16 dan 4.17 dibawah ini.



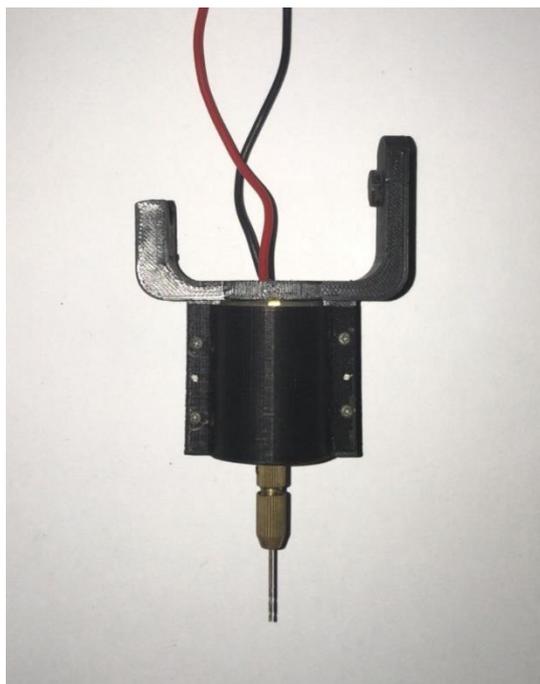
Gambar 4.15 Hasil Pencetakan Cover Servo



Gambar 4.17 Hasil Pencetakan Servo Horn

4.2.2 Pembuatan End-Effector Drilling

Bagian *end-effector* ini setelah di cetak memiliki ukuran panjang 82,54 mm, lebar 71,1 mm, tinggi 71,89 mm, dan ketebalan 3 mm. dapat dilihat pada gambar 4.18 dibawah ini.



Gambar 4.18 Hasil Pencetakan *End-effector*

4.2.3 Perakitan Lengan Robot Drilling

Setelah pencetakan 3D selesai dilakukan, hasilnya masih memerlukan sentuhan terakhir untuk mencapai tingkat kehalusan dan keakuratan yang diinginkan sehingga dilakukan penghalusan manual pada bagian ujung-ujung kasar komponen lengan robot menggunakan kikir.

Proses penghalusan manual tersebut biasanya dilakukan karena adanya ketidaksempurnaan atau defek yang muncul selama proses cetakan, seperti lelehan atau ketidaksesuaian dengan dimensi yang diinginkan. Penghalusan manual adalah langkah yang penting untuk memastikan bahwa komponen lengan robot memiliki permukaan yang halus dan sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Dengan melakukan penghalusan manual dengan hati-hati menggunakan kikir, dapat memperbaiki ketidaksempurnaan yang ada dan mencapai tingkat keakuratan yang diharapkan dalam komponen lengan robot. Seperti pada gambar 4.19 dibawah ini.



Gambar 4.19 Penghalusan Komponen Menggunakan Kikir

Setelah semua komponen lengan robot telah dicetak dan dibuat, tahap selanjutnya adalah perakitan komponen untuk membentuk satu kesatuan lengan robot. Proses ini melibatkan pemasangan komponen-komponen secara berurutan dengan menggunakan baut sebagai pengikatnya. Setiap komponen lengan robot

akan dirakit satu per satu dengan hati-hati dan teliti sesuai dengan urutan yang telah direncanakan sebelumnya. Setelah setiap komponen terpasang dengan baik, baut-baut pengikat akan dipasang untuk memastikan bahwa setiap bagian terhubung secara kuat dan kokoh. Proses perakitan ini memerlukan kehati-hatian dan ketelitian agar lengan robot dapat dirakit dengan benar dan berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. Setelah selesai dirakit, lengan robot siap untuk diuji coba dan digunakan dalam aplikasi *end-effector* yang telah direncanakan.

Proses perakitan dimulai dengan langkah pertama yaitu pemasangan motor servo pertama ke dalam base lengan robot. Motor servo diposisikan dengan hati-hati dan dipasang secara kokoh ke dalam base menggunakan baut pengikat yang sesuai. Selanjutnya, base atas atau upper base dipasang pada servo horn pertama dengan keadaan sudut yang sudah sesuai. Proses ini memastikan bahwa upper base terpasang secara tepat pada servo horn pertama untuk menciptakan struktur yang kokoh dan stabil. diharapkan lengan robot akan dapat berfungsi dengan optimal dan memiliki kinerja yang handal saat digunakan dalam berbagai aplikasi. Dapat dilihat pada gambar 4.21 dibawah ini



Gambar 4.21 Pemasangan Base Lengan Robot

Setelah motor servo pertama terpasang dengan benar, proses perakitan dilanjutkan dengan memasang motor servo kedua, ketiga, dan keempat serta *link*

(lengan) robotnya pada upper base yang telah dirakit sebelumnya. Setiap motor servo diposisikan dengan akurat sesuai dengan rencana desain, dan dipasang dengan menggunakan baut pengikat yang tepat. Setiap *link* (lengan) diposisikan dan dipasang dengan presisi agar membentuk struktur lengan robot yang kokoh dan seimbang. Dapat dilihat pada gambar 4.22.



Gambar 4.22 Pemasangan Upper Base dan *Link*

Setelah seluruh motor servo dan *link* telah terpasang dengan baik, langkah selanjutnya adalah memasang *end-effector* berupa bor *drilling* pada lengan robot. *End-effector* ini dipasang pada ujung lengan robot menggunakan baut atau sistem pengikat yang sesuai. Pemasangan *end-effector* merupakan tahap terakhir dalam proses perakitan lengan robot. Perakitan *end-effector* ini juga akan menentukan fungsi dan aplikasi utama dari robot tersebut. *end-effector* harus terpasang dengan kokoh dan stabil sehingga dapat berfungsi dengan optimal saat digunakan dalam operasi bor *drilling*. Seperti pada gambar 4.23 dibawah ini



Gambar 4.23 Pemasangan *End-effector* Bor *Drilling*

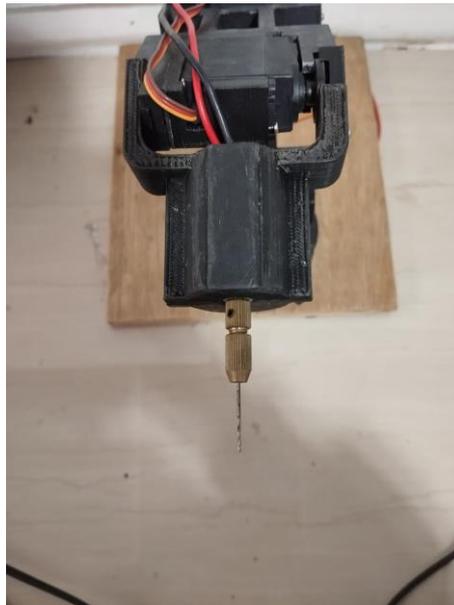
Setelah *end-effector* terpasang, langkah berikutnya adalah memastikan bahwa semua komponen telah terintegrasi dengan baik dan tidak ada bagian yang longgar atau tidak sesuai. Dengan melakukan pengecekan akhir ini, lengan robot siap untuk diuji coba dan digunakan dalam aplikasi *drilling* yang telah direncanakan.



Gambar 4.24 Hasil Pembuatan Lengan Robot

Berikut adalah hasil dari proses pembuatan dan perakitan lengan robot. Lengan robot telah berhasil dikonstruksi sedemikian rupa sehingga mampu bergerak dan beroperasi dengan optimal sesuai dengan rencana yang telah

dirancang sebelumnya. Lengan robot yang telah dibuat berjenis articulated manipulator 4 DOF dengan motor servo MG996r dan end effector bor *drilling*.

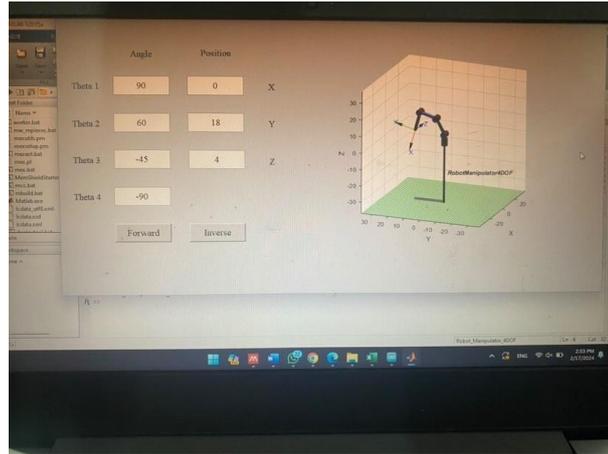


Gambar 4.25 Hasil Pembuatan End-Effector Bor Drilling Mini

4.3 Hasil Pengujian End-Effector Dan Lengan Robot Drilling

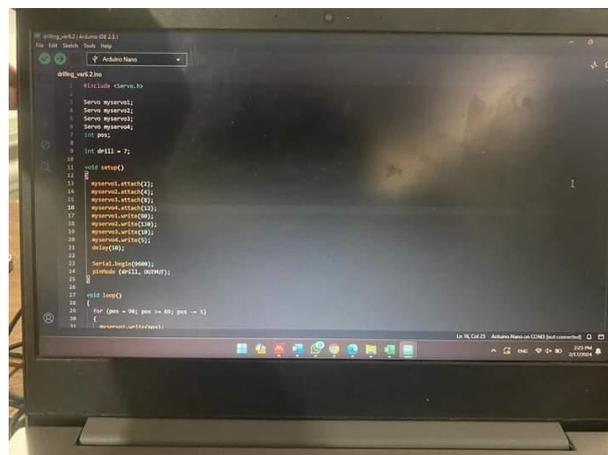
Setelah proses perakitan selesai dan lengan robot telah selesai dibuat, selanjutnya adalah melakukan pengujian kinematic pada lengan robot. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa posisi aktual pada koordinat x , y , dan z sesuai dengan posisi yang diperoleh dari simulasi menggunakan forward dan inverse kinematic.

Langkah awal dalam pengujian ini adalah menyiapkan simulasi lengan robot dalam aplikasi matlab serta program Arduino yang akan digunakan untuk mengontrol lengan robot. Kemudian, menentukan sudut dan posisi masukan yang akan digunakan. Seperti pada gambar 4.26 dibawah ini.



Gambar 4.26 Penyiapan Simulasi Matlab

Setelah itu, pengujian dilakukan dengan memasukkan sudut dan posisi masukan ke dalam simulasi matlab, dan mencatat keluaran yang diperoleh dari simulasi matlab menggunakan forward dan inverse kinematic. Keluaran ini nantinya akan dibandingkan dengan posisi aktual *end-effector* pada lengan robot. Setelah seluruh keluaran didapat maka selanjutnya adalah menulis program berdasarkan data keluaran simulasi tersebut. Program dibuat untuk menggerakkan lengan robot ke titik tujuan untuk mendapatkan posisi aktual dari lengan robot. Dapat dilihat pada gambar 4.27.



Gambar 4.27 Pembuatan Program Lengan Robot

Setelah program selesai dan lengan robot berhasil bergerak pada posisi yang dituju serta melakukan aplikasi *drilling*, langkah selanjutnya adalah memperhatikan dan memastikan bahwa gerakan lengan robot berjalan dengan baik. Proses ini melibatkan evaluasi kinerja keseluruhan lengan robot untuk memastikan bahwa semua komponen berfungsi secara optimal dan tidak ada masalah yang muncul selama pengujian. Pemeriksaan gerakan lengan robot dilakukan dengan pemantauan visual. Seperti gambar 4.28 dibawah ini.



Gambar 4.28 Pemantauan Visual Lengan Robot

Setelah melakukan aplikasi *drilling* dengan lengan robot, langkah berikutnya adalah mengukur hasil *drilling* tersebut dan membandingkannya dengan hasil keluaran simulasi. Proses ini bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana perbedaan posisi aktual dengan simulasi saat aplikasi *drilling* dilakukan.

4.3.1 Pengujian Metode Kinematik Maju

Pada pengujian *forward kinematic*, pengujian dimulai dengan mencari titik simulasi dengan memasukkan sudut input kedalam simulasi matlab. Output akan keluar dalam bentuk koordinat simulasi pada sumbu x, y dan z. Hasil koordinat simulasi dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Hasil Koordinat Simulasi Menggunakan *Forward kinematic*

No.	Sudut <i>Joint</i> (Input)				Koordinat Simulasi (Output)		
	Q1 (°)	Q2 (°)	Q3 (°)	Q4 (°)	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
1	120	40	55	0	-10	16	0
2	105	55	30	10	-5	16	0
3	90	60	20	15	0	16	0
4	75	55	30	10	4	16	0
5	60	40	55	0	9	16	0
6	130	40	55	0	-13	14	0
7	110	60	20	15	-6	15	0
8	90	65	15	10	0	14	0
9	70	60	20	15	5	15	0
10	50	40	55	0	12	14	0
11	90	75	0	20	0	13	0
12	90	65	15	15	0	15	0
13	90	55	30	10	0	17	0
14	90	45	45	5	0	18	0
15	90	35	65	0	0	20	0

Setelah dilakukan pengujian titik posisi. Error relatif posisi didapat dengan menggunakan norma euclidean dengan rumus 4.1 sebagai berikut :

$$\mathbf{Error\ Posisi\ relatif} = \frac{\sqrt{(Xa-Xs)^2+(Ya-Ys)^2+(Za-Zs)^2}}{M} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana : Xa = titik x aktual
 Xs = titik x simulasi

Ya = titik y aktual

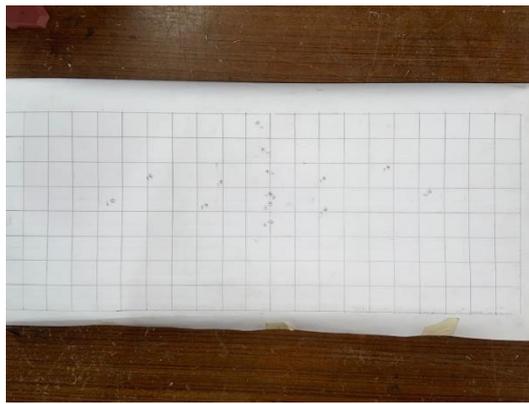
Ys = titik y simulasi

Za = titik z aktual

Zs = titik z simulasi

M = Magnitudo maksimal

Berikut adalah gambar dan data hasil pengujian lengan robot 4 derajat kebebasan (dof) untuk aplikasi *drilling* menggunakan metode *forward kinematic*. Dapat dilihat pada gambar 4.29 dan tabel 4.2 dibawah ini.



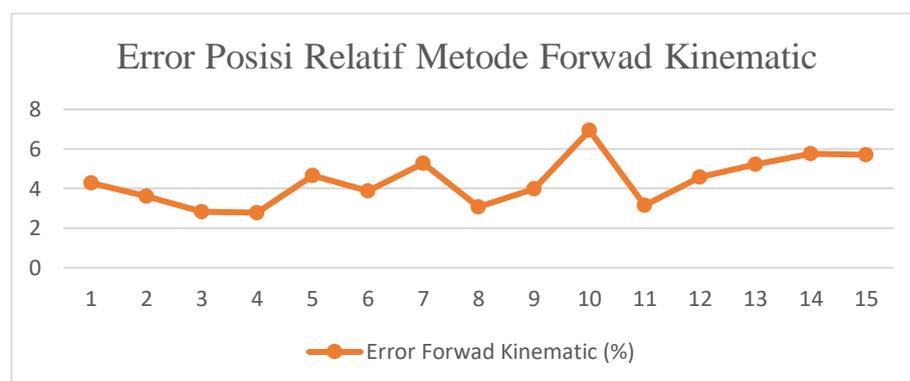
Gambar 4.29 Hasil Pengujian Posisi Lengan Robot Menggunakan Metode *Forward kinematic*

Tabel 4.2 Pengujian Error Relatif Posisi Menggunakan *Forward kinematic*

No.	Koordinat Simulasi			Koordinat Aktual			Error (%)	Akurasi Minimum (%)
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)		
1	-10	16	0	-9.5	16,75	-1,3	4,275	95,725
2	-5	16	0	-3.75	16,25	-0,4	3.611	96,389
3	0	16	0	0.3	16,1	-1	2.835	97,165
4	4	16	0	4.5	16	-0,9	2.783	97,217
5	9	16	0	9.8	16,25	-1,5	4.644	95,356
6	-13	14	0	-12.7	13,9	-1,4	3.879	96,121

7	-6	15	0	-5.4	14,25	-1,7	5.277	94,723
8	0	14	0	0.2	14,2	-1,1	3.070	96,93
9	5	15	0	4.9	14,15	-1,2	3.984	96,016
10	12	14	0	12.5	15,65	-1,9	6.934	93,066
11	0	13	0	-0.3	12,75	-1,1	3.155	96,845
12	0	15	0	-0.5	15,25	-1,6	4.581	95,419
13	0	17	0	-0.7	16,9	-1,8	5.227	94,773
14	0	18	0	-0.9	18,7	-1,8	5.759	94,241
15	0	20	0	-1.1	20,6	-1,7	5.708	94,292
Rata-Rata							4.381	95,619

Berdasarkan data pada table 4.2 tersebut, diperoleh error maksimal sebesar 6.934% dan rata-rata error sebesar 4.381% dengan akurasi minimal sebesar 93.066%. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat beberapa perbedaan antara posisi target dan posisi aktual end effector, yang menyebabkan menurunnya akurasi lengan robot dalam aplikasi *drilling*. Error Posisi Relatif Menggunakan Metode *Forward kinematic* dari hasil percobaan dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik sebagai berikut. Dapat dilihat pada gambar



Gambar 4.30 Grafik Error Posisi Relatif Menggunakan Metode *Forward kinematic*

Error posisi setiap sumbu dapat dicari dengan menggunakan norma Euclidean. Adapun rumus error setiap sumbu dapat dilihat pada persamaan 4.2, persamaan 4.3 dan persamaan 4.4 sebagai berikut :

$$\text{Error Posisi sumbu } x = \frac{\sqrt{(Xa-Xs)^2}}{Xmaks} \dots\dots\dots(4.2)$$

$$\text{Error Posisi sumbu } y = \frac{\sqrt{(Ya-Ys)^2}}{Ymaks} \dots\dots\dots(4.3)$$

$$\text{Error Posisi sumbu } Z = \frac{\sqrt{(Za-Zs)^2}}{Zmaks} \dots\dots\dots(4.4)$$

- Dimana :
- Xa = titik x aktual
 - Xs = titik x simulasi
 - Ya = titik y aktual
 - Ys = titik y simulasi
 - Za = titik z aktual
 - Zs = titik z simulasi
 - Xmaks = Magnitudo Sumbu x
 - Ymaks = Magnitudo Sumbu y
 - Zmaks = Magnitudo Sumbu z

Berikut adalah data error posisi pada setiap sumbu x, y, dan z pada pengujian lengan robot menggunakan metode *forward kinematic*, data ini memberikan gambaran lebih detail tentang tingkat ketepatan posisi antara target dan posisi aktual pada masing-masing sumbu X, Y, dan Z.

Tabel 4.3 Tabel Pengujian *Forward kinematic* Pada Sumbu X

No	Simulasi Pada Sumbu X (Cm)	Aktual Pada Sumbu X (Cm)	Error Posisi Pada Sumbu X (%)	Akurasi Minimum (%)
1	-10	-9,5	1,351	98,649
2	-5	-3,75	3,378	96,622
3	0	0,3	0,811	99,189
4	4	4,5	1,351	98,649

5	9	9,8	2,162	97,838
6	-13	-12,7	0,811	99,189
7	-6	-5,4	1,622	98,378
8	0	0,2	0,541	99,459
9	5	4,9	0,270	99,730
10	12	12,5	1,351	98,649
11	0	-0,3	0,811	99,189
12	0	-0,5	1,351	98,649
13	0	-0,7	1,892	98,108
14	0	-0,9	2,432	97,568
15	0	-1,1	2,973	97,027
Rata-Rata			1,541	98,459

Tabel 4.4 Tabel Pengujian *Forward kinematic* Pada Sumbu Y

No	Simulasi Pada Sumbu Y (Cm)	Aktual Pada Sumbu Y (Cm)	Error Posisi Pada Sumbu Y (%)	Akurasi Minimum (%)
1	16	16,75	2,027	97,973
2	16	16,25	0,676	99,324
3	16	16,1	0,270	99,730
4	16	16	0,000	100
5	16	16,25	0,676	99,324
6	14	13,9	0,270	99,730
7	15	14,25	2,027	97,973
8	14	14,2	0,541	99,459
9	15	14,15	2,297	97,703
10	14	15,65	4,459	95,541
11	13	12,75	0,676	99,324
12	15	15,25	0,676	99,324
13	17	16,9	0,270	99,730
14	18	18,7	1,892	98,108

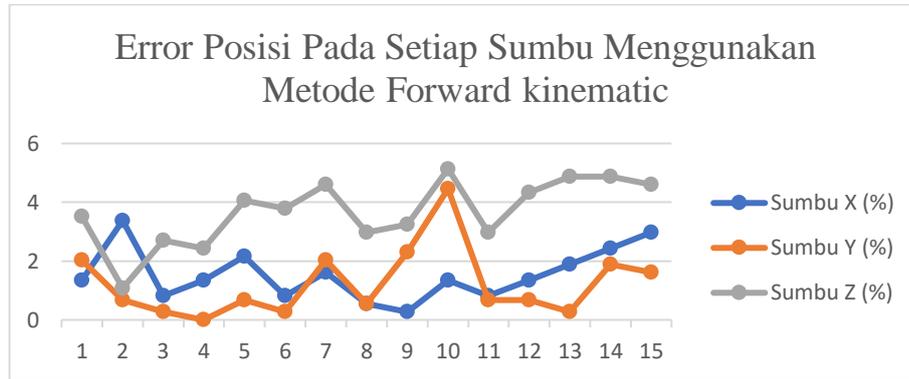
15	20	20,6	1,622	98,378
Rata-Rata			1,225	98,775

Tabel 4.5 Tabel Pengujian *Forward kinematic* Pada Sumbu Z

No	Simulasi Pada Sumbu Z (Cm)	Aktual Pada Sumbu Z (Cm)	Error Posisi Pada Sumbu Z (%)	Akurasi Minimum (%)
1	0	-1,3	3,514	96,486
2	0	-0,4	1,081	98,919
3	0	-1	2,703	97,297
4	0	-0,9	2,432	97,568
5	0	-1,5	4,054	95,946
6	0	-1,4	3,784	96,216
7	0	-1,7	4,595	95,405
8	0	-1,1	2,973	97,027
9	0	-1,2	3,243	96,757
10	0	-1,9	5,135	94,865
11	0	-1,1	2,973	97,027
12	0	-1,6	4,324	95,676
13	0	-1,8	4,865	95,135
14	0	-1,8	4,865	95,135
15	0	-1,7	4,595	95,405
Rata-Rata			3,676	96,324

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai error dari masing-masing sumbu. Dari tabel 4.3, pada sumbu x nilai error maksimal sebesar 3,378%, error rata-rata 1,541%, dan akurasi minimum 96,622%. Dari tabel 4.4 pada sumbu y nilai error maksimal sebesar 4.459%, error rata-rata 1,225%, dan akurasi minimum 95,541%. Dari tabel 4.5 pada sumbu z nilai error maksimal sebesar 5,135%, error rata-rata 3,676%, dan akurasi minimum 94,865%. Data menunjukkan bahwa terdapat error relatif yang cukup besar pada sumbu z dan sumbu y memiliki nilai rata-rata error terendah . Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan

antara posisi simulasi dan posisi aktual pada sumbu z. Data error posisi pada setiap sumbu dapat divisualisasikan sebagai berikut. Dapat dilihat pada gambar



Gambar 4.31 Grafik Error Posisi Setiap Sumbu Menggunakan Metode *Forward kinematic*

4.3.2 Pengujian Metode Kinematik Mundur

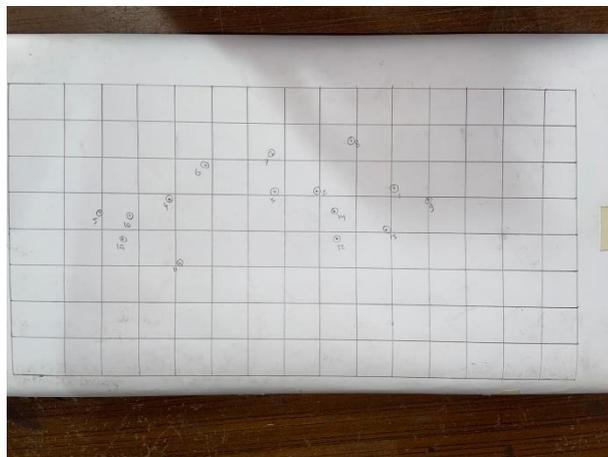
Pengujian menggunakan *invers kinematic* terlebih dahulu memasukkan input koordinat simulasi pada aplikasi matlab yang nantinya akan mengeluarkan output berupa sudut servo tiap *joint*. Sudut ini nantinya akan memberikan koordinat aktual pada gerak lengan robot. Adapun sudut servo yang didapat pada tabel 4.6 sebagai berikut

Tabel 4.6 Hasil Sudut *Joint* Menggunakan *Invers kinematic*

No.	Koordinat Simulasi (Input)			Sudut <i>Joint</i> (Output)			
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Q1 (°)	Q2 (°)	Q3 (°)	Q4 (°)
1	6	16	0	69	51	36	5
2	2	16	0	82	57	26	10
3	0	16	0	90	57	25	10
4	-6	16	0	110	51	36	5
5	-10	15	0	123	44	47	0

6	-4	18	0	102	40	53	0
7	0	18	0	90	44	47	0
8	4	18	0	77	40	53	0
9	8	15	0	61	51	35	5
10	-8	15	0	118	51	35	5
11	-6	13	0	114	67	11	12
12	3	14	0	77	67	11	12
13	6	14	0	66	62	18	10
14	3	15	0	78	62	19	10
15	-9	14	0	122	53	31	5

Error relatif posisi lengan robot masih menggunakan persamaan 4.1 seperti pada pengujian *forward kinematic*. Berikut adalah gambar dan data hasil pengujian lengan robot 4 derajat kebebasan (dof) untuk aplikasi *drilling* menggunakan metode *forward kinematic*.



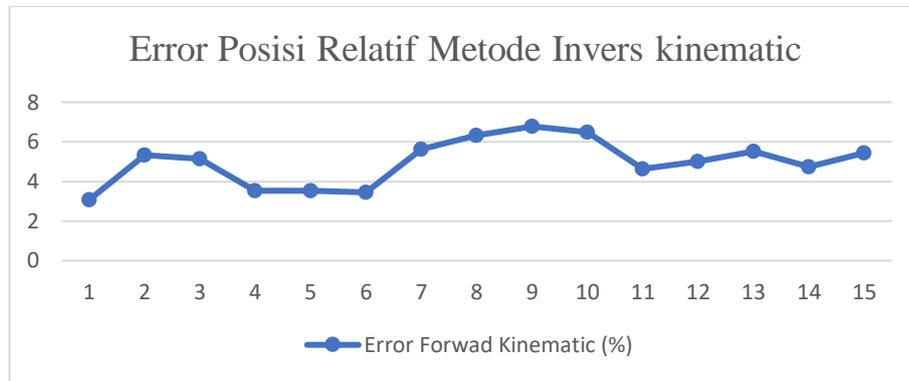
Gambar 4.32 Hasil Pengujian Posisi Lengan Robot Menggunakan Metode Invers Kinematic

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Error Relatif Posisi Menggunakan *Forward kinematic*

No.	Koordinat Simulasi			Koordinat Aktual			Error (%)	Akurasi Minimum (%)
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)		
1	6	16	0	6,1	16,8	-0,8	3,070	96,930
2	2	16	0	1,6	16,7	-1,8	5,331	94,669
3	0	16	0	-0,6	16,6	-1,7	5,135	94,865
4	-6	16	0	-6,7	15,9	-1,1	3,534	96,466
5	-10	15	0	-10,5	15,1	-1,2	3,524	96,466
6	-4	18	0	-4,4	18,2	-1,2	3,461	96,539
7	0	18	0	-0,8	18,9	-1,7	5,630	94,370
8	4	18	0	3,6	18,7	-2,2	6,333	93,667
9	8	15	0	8,1	16,2	-2,2	6,778	93,222
10	-8	15	0	-8,9	15,3	-2,2	6,475	93,525
11	-6	13	0	-6,2	12,9	-1,7	4,634	95,366
12	3	14	0	2,7	14,3	-1,8	4,998	95,002
13	6	14	0	5,7	14,7	-1,9	5,532	94,468
14	3	15	0	2,7	15,3	-1,7	4,736	95,264
15	-9	14	0	-9,1	14,2	-2	5,439	94,561
Rata-Rata							4,974	95,026

Berdasarkan data pada tabel 4.7 tersebut, diperoleh error maksimal sebesar 6.778% dan rata-rata error sebesar 4.974% dengan akurasi minimal sebesar 93,222%. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat beberapa perbedaan antara posisi target dan posisi aktual end effector, yang menyebabkan menurunnya akurasi

lengan robot dalam aplikasi *drilling*. Error posisi relatif menggunakan metode *invers kinematic* dari hasil percobaan dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.32 dibawah ini.



Gambar 4.33 Grafik Error Posisi Relatif Menggunakan Metode *Forward kinematic*

Berikut adalah data error posisi pada setiap sumbu x, y, dan z pada pengujian lengan robot menggunakan metode *invers kinematic*, data ini memberikan gambaran lebih detail tentang tingkat ketepatan posisi antara target dan posisi aktual pada masing-masing sumbu X, Y, dan Z dapat dilihat pada tabel 4.8, 4.9 dan 4.10 dibawah ini.

Tabel 4.8 Tabel Pengujian *Invers kinematic* Pada Sumbu X

No	Simulasi Pada Sumbu X (Cm)	Aktual Pada Sumbu X (Cm)	Error Posisi Pada Sumbu X (%)	Akurasi Minimum (%)
1	6	6,1	0,270	99,730
2	2	1,6	1,081	98,919
3	0	-0,6	1,622	98,378
4	-6	-6,7	1,892	98,108
5	-10	-10,5	1,351	98,649
6	-4	-4,4	1,081	98,919
7	0	-0,8	2,162	97,838

8	4	3,6	1,081	99,919
9	8	8,1	0,270	99,730
10	-8	-8,9	2,432	97,568
11	-6	-6,2	0,541	99,459
12	3	2,7	0,811	99,189
13	6	5,7	0,811	99,189
14	3	2,7	0,811	99,189
15	-9	-9,1	0,270	99,730
Rata-Rata			1,099	98,901

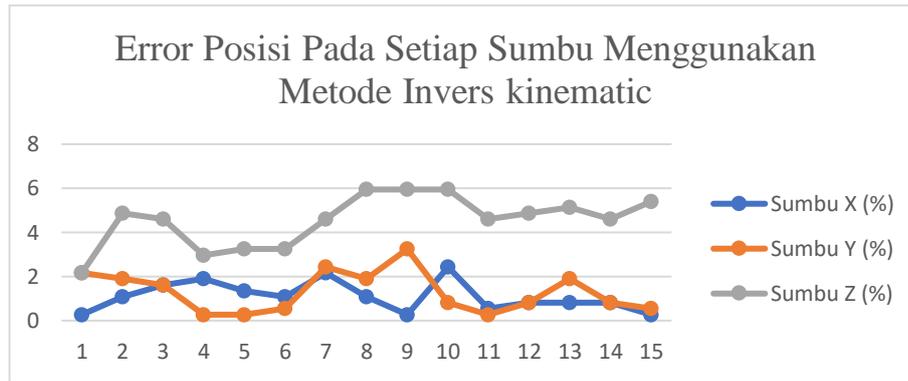
Tabel 4.9 Tabel Pengujian *Invers kinematic* Pada Sumbu Y

No	Simulasi Pada Sumbu Y (Cm)	Aktual Pada Sumbu Y (Cm)	Error Posisi Pada Sumbu Y (%)	Akurasi Minimum (%)
1	16	16,8	2,162	97,838
2	16	16,7	1,892	98,108
3	16	16,6	1,622	98,378
4	16	15,9	0,270	99,730
5	15	15,1	0,270	99,730
6	18	18,2	0,541	99,459
7	18	18,9	2,432	97,568
8	18	18,7	1,892	98,108
9	15	16,2	3,243	96,757
10	15	15,3	0,811	99,189
11	13	12,9	0,270	99,730
12	14	14,3	0,811	99,189
13	14	14,7	1,892	98,108
14	15	15,3	0,811	99,189
15	14	14,2	0,541	99,459
Rata-Rata			1,297	98,703

Tabel 4.10 Tabel Pengujian *Invers kinematic* Pada Sumbu Z

No	Simulasi Pada Sumbu Z (Cm)	Aktual Pada Sumbu Z (Cm)	Error Posisi Pada Sumbu Z (%)	Akurasi Minimum (%)
1	0	-0,8	2,162	97,838
2	0	-1,8	4,865	95,135
3	0	-1,7	4,595	95,405
4	0	-1,1	2,973	97,207
5	0	-1,2	3,243	96,757
6	0	-1,2	3,243	96,757
7	0	-1,7	4,595	95,405
8	0	-2,2	5,946	94,054
9	0	-2,2	5,946	94,054
10	0	-2,2	5,946	94,054
11	0	-1,7	4,595	95,405
12	0	-1,8	4,865	95,135
13	0	-1,9	5,135	94,865
14	0	-1,7	4,595	95,405
15	0	-2	5,405	94,595
Rata-Rata			4,541	95,459

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai error dari masing-masing sumbu. Dari tabel 4.8 pada sumbu x nilai error maksimal sebesar 2,432%, error rata-rata 1,099%, dan akurasi minimum 97,568%. Dari tabel 4.9 pada sumbu y nilai error maksimal sebesar 3,243%, error rata-rata 1,297%, dan akurasi minimum 96,757%. Dari tabel 4.10 pada sumbu z nilai error maksimal sebesar 5,946%, error rata-rata 4,541%, dan akurasi minimum 94,054%. Data menunjukkan bahwa terdapat error relatif yang cukup besar pada sumbu z dan sumbu x memiliki rata-rata error paling kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara posisi simulasi dan posisi aktual pada sumbu z. Data error posisi pada setiap sumbu dapat divisualisasikan pada gambar 4.34 sebagai berikut.



Gambar 4.34 Grafik Error Posisi Setiap Sumbu Menggunakan Metode *Invers kinematic*

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada tugas akhir rancang bangun lengan robot 4 DOF untuk *drilling* adalah sebagai berikut:

1. Rancangan lengan robot memiliki dimensi keseluruhan Panjang 85 mm, lebar 20 mm dan tinggi 417 mm. Dimana didalamnya dirancang komponen lengan robot berupa base, base atas (upper base), *link* (lengan), penghubung, dan *end-effector*. Komponen Base memiliki ukuran diameter 85 mm, tinggi 38.5 mm, dan ketebalan dinding 2.5 mm. komponen base atas memiliki ukuran Panjang 85 mm, lebar 25 mm, tinggi 61 mm. komponen *link* memiliki ukuran Panjang 135 mm, lebar 20 mm dan tinggi 71 mm. komponen penghubung servo horn memiliki ukuran panjang 35.4 mm, lebar 20 mm, dan tebal 5.61 mm. komponen penghubung cover servo memiliki ukuran panjang 53.91 mm, lebar 20 mm, dan tinggi 33.6 mm. dan komponen *end-effector* memiliki ukuran panjang 82,54 mm, lebar 71,1 mm, tinggi 71,89 mm, dan ketebalan 3 mm.
2. Lengan robot yang telah dibuat berjenis articulated manipulator 4 DOF dengan menggunakan motor servo MG996r, mikro controller Arduino nano, end effector bor *drilling*, relay dan adaptor. Komponen lengan robot dicetak menggunakan 3D printer dan menghasilkan base dengan ukuran diameter 84,8 mm, tinggi 37.7 mm, dan ketebalan dinding 2.5 mm. Bagian base atas memiliki ukuran Panjang 84,9 mm, lebar 24,8 mm, tinggi 60,65 mm. bagian *link* memiliki ukuran panjang 134 mm, lebar 20 mm dan tinggi 70,7 mm. Bagian penghubung servo horn memiliki ukuran panjang 34.8 mm, lebar 20 mm, dan tebal 5.4 mm. bagian penghubung cover servo memiliki ukuran panjang 53.5 mm, lebar 20 mm, dan tinggi 32.4 mm. dapat dilihat pada gambar 4.16 dan 4.17 dibawah ini. Dan bagian *end-effector* memiliki ukuran panjang 82,54 mm, lebar 71,1 mm, tinggi 71,89 mm, dan ketebalan 3 mm.
3. Pengujian lengan robot menggunakan metode *forward kinematic* memperoleh error posisi relative maksimal sebesar 6.934% dan rata-rata error

sebesar 4.381% dengan akurasi minimal sebesar 93.066%. dengan error posisi pada sumbu x nilai error maksimal sebesar 3,378%, error rata-rata 1,541%, dan akurasi minimum 96,622%. Pada sumbu y nilai error maksimal sebesar 4,459%, error rata-rata 1,225%, dan akurasi minimum 95,541%. Dan pada sumbu z nilai error maksimal sebesar 5,135%, error rata-rata 3,676%, dan akurasi minimum 94,865%. Pengujian lengan robot menggunakan metode *invers kinematic* memperoleh error posisi relatif maksimal sebesar 6.778% dan rata-rata error sebesar 4.974% dengan akurasi minimal sebesar 93,222%. pada sumbu x nilai error maksimal sebesar 2,432%, error rata-rata 1,099%, dan akurasi minimum 97,568%. Pada sumbu y nilai error maksimal sebesar 3,243%, error rata-rata 1,29%, dan akurasi minimum 96,757%. Pada sumbu z nilai error maksimal sebesar 5,946%, error rata-rata 4,541%, dan akurasi minimum 94,054%.

4. Penelitian ini menunjukkan bahwa lengan robot yang dirancang dan dibangun memiliki performa yang memadai untuk proses pengeboran, dengan tingkat akurasi yang dapat diterima.

5.2 Saran

Adapun saran pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memilih servo yang lebih baik dan kuat dibanding yang dipakai.
2. Menggunakan baut yang sesuai dengan kebutuhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, B., Sunaryo, M., & Arif, A. (2008). Simulator Lengan Robot Enam Derajat Kebebasan Menggunakan OpenGL. *Telkomnika*, 6(3), 209–216.
- Agni, M., & Rafi Al Tahtawi, A. (2020). Perancangan robot lengan lima derajat kebebasan untuk misi pick and place berbasis inverse kinematics. *SEMNASTERA*, 2(14), 87–92. <https://semnastera.polteksmi.ac.id/index.php/semnastera/article/view/162>
- Andika, J., & Salamah, K. S. (2018). Analisis kinematik pada robot hexapod. *Jurnal Teknologi Elektro*, 9(2), 83–91. <https://publikasi.mercubuana.ac.id/files/journals/4/articles/4072/submission/original/4072-7845-1-SM.pdf>
- Bahrin, M. A. K., Othman, M. F., Azli, N. H. N., & Talib, M. F. (2016). Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi*, 78(6–13), 137–143. <https://doi.org/10.11113/jt.v78.9285>
- Craig, J. J. (2005). *Introduction to Robotics Mechanics and Control Third Edition* (M. J. Horton, Ed.; 3rd ed.). Pearson Prentice Hall.
- Devereux, S. (2012). *Drilling Technology in Nontechnical Language Second Edition* (2nd ed.). Penn Well. www.pennwellbooks.com
- Dewadi, F. M., Wibowo, C., Karyadi, Mulyadi, D., Dahlan, M., & Nanda, R. A. (2023). *Proses Produksi Manufaktur*. Get Press Indonesia.
- Didi, M., Marindani, D., & Elbani, A. (2016). Rancang Bangun Pengendalian Robot Lengan 4 DOF dengan GUI (Graphical User Interface) Berbasis Arduino Uno. *Teknik Elektro*, 1(1), 1–11. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/14580>
- Hall, E., & Golnazarian, W. (2002). Intelligent Industrial Robots. In *Handbook Of Industrial Automation*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203908587.ch6.5>
- 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>
- Jatmiko, W., Mursanto, P., Iqbal Tawakal, M., Alvissalim Sakti, M., Hafidh, A., Budianto, E., Nanda Kurniawan, M., Ahfa, K., Danniswara, K., Anwar Ma'sum, M., & Hermawan, I. (2012). *Robotika: Teori dan Aplikasi*. Grafika Jati.
- Jaya, H. (2016). *Desain Dan Implementasi Sistem Robotika berbasis Mikrocontroller*. Edukasi Mitra Grafika.

- Khairudin, M., Asnawi, R., & Hadi, S. (2015). Desain Robot Lengan Raket Dengan Kombinasi Aktuator Motor dan Pnuematik Untuk Mendapatkan optimasi pukulan. *Pendidikan Teknik Elektro*.
<http://staffnew.uny.ac.id/upload/132161227/penelitian/10mkhrusdesainlengarnrobotsnpte2015.pdf>
- Khoirul Anaam, I., Hidayat, T., Yuga Pranata, R., Abdillah, H., & Yhuto Wibisono Putra, A. (2022). Pengaruh Trend Otomasi Dalam Dunia Manufaktur Dan Industri. In *Jl. Ciwaru Raya No (Vol. 25)*.
- Kurniawan, A. (2019). *Arduino Nano A Hands On Guide for Beginn*. PE Pres.
- Lyons, W. C. (2010). *Working Guide to Drilling Equipment and Operations* (1st ed.). Elseviers.Inc.
- Mitchell, R. F., & Miska, S. Z. (2011). *Fundamentals Of Drilling Engineering* (12th ed.). Society of Petroleum Engineers.
- Mufarrih, A., Harijono, A., Amrullah, U. S., Qosim, N., & Emzain, Z. F. (2023). Analisa Kebulatan pada Proses Drilling Material KFRP. *Jurnal Mesin Nusantara*, 5(2), 201–212. <https://doi.org/10.29407/jmn.v5i2.19472>
- 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>
- Spong, M. W., Hutchinson, S., & Vidyasagar, M. (2005). *Robot Modeling and Control First Edition* (1st ed.). John Wiley & Sons, Inc. https://www.researchgate.net/profile/Mohamed_Mourad_Lafifi/post/How_to_avoid_singular_configurations/attachment/59d6361b79197b807799389a/A_S%3A386996594855942%401469278586939/download/Spong+-+Robot+modeling+and+Control.pdf
- Utomo, E., & Ma'ruf, B. (2015). Kajian Aplikasi Robot Dalam Industri Perkapalan. *Jurnal Wave*, 9(1), 31–38.
- Vega Prayuda, I., Hartono, B., & Sutoyo, E. (2017). Perancangan Struktur Rangka Lengan Robot Mekanik Pemindah Bahan Tipe Cartesian Coordinate. *Teknik Ilmiah Mesin*, 1(3), 38–47.

LAMPIRAN

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN END EFFECTOR BOR MINI UNTUK PROSES DRILLING PADA ROBOT LENGAN 4 DERAJAT KEBEBASAN

Nama : Dicky Rahman Syahri Hutasuhut

NPM : 1907230172

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	Perbaikan Bab 2	u
3	26/6.2023	Perbaikan alat/bahan dan prosedur	u
4	3/7.2023	ACC, Seminar Proposal	u
5	9/1.2024	Perbaikan Bab 3	u
6	7/2.2024	Perbaikan Bab 4	u
7	22/2.2024	Revisi kesimpulan	u
8	26/2.2024	ACC, Seminar hasil	u
9	22/5.2024	Ace online	u

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

Peserta seminar

Nama : Dicky Rahman Syahri Hutasuhut

NPM : 1907230172

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

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	2001830070	M. Ruzai Ruzasrym	
2	2007230039	Imam Natawi Jaya	
3	1907230166	Agung Iza Imrullah	
4	1907230160	Dimas Setyo Hadi	
5	1907230139	RANGGA FIBRI HASIBUAN	
6	1907230136	Muhammad Daffa	
7	1907230171	Muhammad Hanifan Haq	
8	1907230169	Halifa Andh Pambuan	
9	1907230104	RUSTAM (FENDI)	
10	1907230077	ARIS SANDI LESMANA	

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 : Dicky Rahman Syahri Hutasuhut
NPM : 1907230172
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Lengan (ARM) Robot 4 Degrees Of Freedom Untuk
Proses Drilling

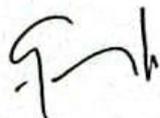
Dosen Pembanding – I : Munawar Alfansury Siregar, ST, MT
Dosen Pembanding – II : Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT
Dosen Pembimbing – I : Khairul Umurani, ST, MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
..... *Perbaikan desain pergilasan, toleransi & kualitas*
..... *Lasur belahan (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 : Dicky Rahman Syahri Hutasuhut
NPM : 1907230172
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Lengan (ARM) Robot 4 Degrees Of Freedom Untuk Proses Drilling

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)
Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain : *perbaiki*

0. Peras perhitungan Akurasi minimum

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- II



Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama : Dicky Rahman Syahri Hutasuhut
NPM : 1907230172
Tempat, Tanggal Lahir : Bukit Tujuh, 22 Mei 2001
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Kewarganegaraan : Indonesia
Status Perkawinan : Belum Kawin
Alamat : Bukit Tujuh
Kecamatan : Torgamba
Kabupaten : Labuhan Batu Selatan
Provinsi : Sumatra Utara
Nomor Hp : 081262844891
E-mail : dickyrhansyah2805@gmail.com
Nama Orang Tua
Ayah : Benry Pardomuan Hutasuhut
Ibu : Suryani br. Sinaga

PENDIDIKAN FORMAL

1. SDN 118400 Bukit Tujuh : Tahun 2007-2013
2. SMPN 12 Satap Torgamba : Tahun 2013-2016
3. SMAN 2 Tebing Tinggi : Tahun 2016-2019
4. Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara : Tahun 2019-2024