

TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN LENGAN (*ARM*) ROBOT 4 *DEGREES OF FREEDOM* UNTUK PROSES *CASTING*

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

Disusun Oleh:

AGUNG TRI TARUNA
1907230166



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2024

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Agung Tri Taruna
NPM : 1907230166
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Lengan (*Arm*) Robot 4 *Degrees Of Freedom* Untuk Proses *Casting*
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, 25 Februari 2024

Mengetahui dan menyetujui :

Dosen Penguji I



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

Dosen Penguji II



Muharnif M, S.T., M.Sc

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 : Agung Tri Taruna
Tempat /Tanggal Lahir : Medan /23 September 2001
NPM : 1907230166
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“RANCANG BANGUN LENGAN (ARM) ROBOT 4 DEGREES OF FREEDOM UNTUK PROSES CASTING”,

Bukan merupakan plagiarism, 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 orisinil 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, 25 Februari 2024

Saya yang menyatakan,

A 1000 Rupiah postage stamp with a signature and the name Agung Tri Taruna. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'METERAI TEMPEL' and 'EAD9CALX144441488'.

ABSTRAK

Robot merupakan suatu perangkat yang sangat penting di dunia saat ini disebabkan robot dapat mengemban tugas dan fungsi yang sangat fleksibel dalam membantu pekerjaan manusia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan membangun lengan robot 4 degrees of freedom untuk casting serta menguji pergerakannya. Manfaat penelitian ini adalah memberikan kontribusi pada pengetahuan dalam bidang robotika dan proses manufaktur, khususnya dalam aplikasi lengan robot untuk proses casting. Pembuatan lengan robot 4 dof untuk casting dimulai dengan perancangan lengan robot, pencetakan komponen lengan robot, penghalusan komponen lengan robot, penyesuaian servo, perakitan lengan robot dan pemrograman lengan robot. Lengan robot menggunakan servo mg996r, arduino nano dan metode invers kinematik. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata error relatif posisi sebesar 8,41%. Pada sumbu x nilai error maksimal sebesar 5,504% dan error rata-rata 3,223%. Pada sumbu y nilai error maksimal sebesar 12,162% dan error rata-rata 5,504%. Pada sumbu z nilai error maksimal sebesar 6,373% dan error rata-rata 4,599%. Sumbu y memiliki error rata-rata terbesar yaitu 5,504%.

Kata Kunci : pengecoran logam, Lengan Robot, 4 DOF, Kinematik Mundur

ABSTRACT

Robots are highly essential devices in today's world because they can perform tasks and functions very flexibly in assisting human work. The purpose of this research is to design and build a 4 degrees of freedom robot arm for casting and to test its movements. The benefit of this research is to contribute to the knowledge in the field of robotics and manufacturing processes, particularly in the application of robot arms for casting processes. The construction of the 4-DOF robot arm for casting begins with the design of the robot arm, printing the robot arm components, smoothing the robot arm components, servo adjustments, robot arm assembly, and programming the robot arm. The robot arm uses MG996R servos, Arduino Nano, and inverse kinematic methods. The test results show an average relative positional error of 8.41%. On the x-axis, the maximum error value is 5.504% with an average error of 3.223%. On the y-axis, the maximum error value is 12.162% with an average error of 5.504%. On the z-axis, the maximum error value is 6.373% with an average error of 4.599%. The y-axis has the highest average error at 5.504%.

Key Word : Metal Casting, Arm Robot, 4 DOF, Invers Kinematics

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 “Rancang Bangun Lengan (*Arm*) Robot 4 *Degrees Of Freedom* Untuk Proses *Casting*” 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 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. 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 mesin 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, 25 Februari 2024


Agung Tri Taruna

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR NOTASI	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Casting	4
2.1.1. Pengertian Casting (Pengecoran)	4
2.1.2. Faktor Yang Mempengaruhi Proses Pengecoran	5
2.1.3. Jenis Teknik Casting	6
2.1.3.1. Teknik Casting Tradisional	6
2.1.3.2. Teknik Casting Non-Tradisional	8
2.2. Robot	9
2.2.1. Pengertian Robot	9
2.2.2. Sejarah Robot	10
2.2.3. Perkembangan Robot	12
2.2.4. Jenis-Jenis Robot	13
2.2.5. Prinsip Kerja	15
2.3. Lengan Robot	16
2.3.1. Pengertian Lengan Robot	16
2.3.2. Bagian-Bagian Lengan Robot	17
2.3.3. Derajat Kebebasan	18
2.3.4. Kinematika Robot	19
2.3.5. Peran Lengan Robot Dalam Pengecoran	19
BAB 3 METODE PENELITIAN	21
3.1. Tempat dan Waktu	21
3.1.1. Tempat	21
3.1.2. Waktu	21
3.2. Alat dan Bahan	22
3.2.1. Alat	22
3.2.2. Bahan	26

3.3. Bagan Alir Penelitian	28
3.4. Rancangan Alat Penelitian	29
3.5. Prosedur Penelitian	29
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1. Perancangan Lengan Robot	31
4.2. Rancangan Komponen Lengan Robot	32
4.3. Pencetakan Komponen Lengan Robot	36
4.4. Penghalusan Komponen Lengan Robot	40
4.5. Penyesuaian Aktuator	40
4.6. Perakitan Lengan Robot	41
4.7. Pengujian Lengan Robot	42
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1. Kesimplan	48
5.2. Saran	48\
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengecoran Logam	4
Gambar 2.2 Robot	9
Gambar 2.3 Perkembangan Robot	12
Gambar 2.4 Fixed Robot	13
Gambar 2.5 Mobile Robot	14
Gambar 2.6 Humanoid Robot	15
Gambar 3.1 Laptop	16
Gambar 3.2 3D Printer	22
Gambar 3.3 Solidwork	23
Gambar 3.4 Matlab	24
Gambar 3.5 Arduino IDE	24
Gambar 3.6 Kikir	26
Gambar 3.7 Obeng	25
Gambar 3.8 Jangka Sorong	26
Gambar 3.9 Motor Servo	26
Gambar 3.10 3D Filamen	27
Gambar 3.11 Arduino Nano	27
Gambar 3.12 Bagan Alir Penelitian	28
Gambar 3.13 Rancangan Alat Penelitian	29
Gambar 4.1 4 Derajat Kebebasan	31
Gambar 4.2 Mengukur Servo	32
Gambar 4.3 Desain Base	33
Gambar 4.4 Desain Base Atas	33
Gambar 4.5 Desain Link	34
Gambar 4.6 Desain End-Effektor	34
Gambar 4.7 Desain Cover Servo	35
Gambar 4.8 Desain Servo Horn	35
Gambar 4.9 Lengan Robot	36
Gambar 4.10 Pencetakan 3D Komponen Lengan Robot	36
Gambar 4.11 Base	37
Gambar 4.12 Base Atas	37
Gambar 4.13 Link	38
Gambar 4.14 End-Effektor	38
Gambar 4.15 Cover Servo	39
Gambar 4.16 Servo Horn	39
Gambar 4.17 Penghalusan Komponen Lengan Robot	40
Gambar 4.18 Penyesuaian Motor Servo	41
Gambar 4.19 Perakitan Lengan Robot	42
Gambar 4.20 Grafik Error Relatif Posisi	44
Gambar 4.21 Grafik Error Posisi Setiap Sumbu	47

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan	21
Tabel 4.1 Hasil Sudut Joint	41
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Error Relatif Posisi	42
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Error Sumbu X	43
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Error Sumbu Y	44
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Error Sumbu Z	44

DAFTAR TABEL

X	= Koordinat Sumbu Horizontal
Y	= Koordinat Sumbu Vertikal
Z	= Koordinat Sumbu Miring
θ	= Besar Sudut
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	= Jangkauan maksimal

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Robot merupakan suatu perangkat yang sangat penting di dunia saat ini disebabkan robot dapat mengemban tugas dan fungsi yang sangat fleksibel dalam membantu pekerjaan manusia. Salah satu robot yang penting dan banyak digunakan di dunia adalah arm robot/lengan robot karena tingkat penggunaannya yang sangat tinggi dan banyak diterapkan pada dunia industri, hal ini dibuktikan dengan kenaikan penjualan industrial robot/ arm robot sebesar 12% setiap tahun. Robot adalah sebuah mesin yang mampu melakukan serangkaian tugas rumit secara otomatis terutama yang diprogram oleh komputer. Robot digunakan untuk tugas yang berat, berbahaya, pekerjaan berulang dan kotor dan biasanya robot industri digunakan dalam bidang produksi. Pada dasarnya, robot merupakan rangkaian peralatan yang dapat diprogram ulang, memiliki banyak fungsi yang biasanya didesain untuk memindahkan material, part, atau peralatan khusus lainnya (Wardhani et al., 2016).

Industri manufaktur saat ini semakin bergantung pada teknologi robotik untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Lengan robot (casting) adalah salah satu contoh aplikasi robotic yang digunakan untuk suatu proses penuangan materi cair seperti logam atau plastic yang dimasukkan ke dalam cetakan, kemudian dibiarkan membeku di dalam cetakan tersebut, dan kemudian dikeluarkan atau dipecah-pecah untuk dijadikan komponen mesin. Pengecoran digunakan untuk membuat bagian mesin dengan bentuk yang kompleks. Lengan robot casting digunakan untuk membentuk logam dalam kondisi panas sesuai dengan bentuk cetakan yang telah dibuat. Namun, meskipun penggunaan robot dalam proses casting telah meningkat, masih ada beberapa tantangan yang perlu diatasi. Salah satu tantangan utama adalah desain dan arsitektur lengan robot yang efektif dan efisien untuk mengoptimalkan proses casting. Desain yang buruk dapat mengakibatkan waktu produksi yang lebih lama, biaya produksi yang lebih tinggi, dan kualitas produk yang buruk (Muslimin & Wijarnako, 2014).

Kemudian, perancangan dan penggunaan arm robot juga sering memiliki masalah yang dihadapi. Robot lengan didesain agar dapat mengikuti gerak sesuai dengan gerakan yang dilakukan oleh gerakan lengan manusia. Lengan robot harus mampu bergerak berdasarkan sudut-sudut tiap joint. Untuk mencari sudut pada masing-masing joint robot lengan, diperlukan sebuah metode yang dinamakan invers kinematik. Invers kinematik adalah sebuah perhitungan matematika dengan sebuah input variabel yaitu titik koordinat yang dituju, sehingga menghasilkan output sudut untuk menggerakkan setiap joint pada lengan robot tersebut. Dengan adanya rumus dari invers kinematik, manusia atau operator tidak perlu lagi memikirkan berapa derajat yang dibutuhkan robot lengan untuk mencapai end effector yang diinginkan. Dengan adanya perhitungan matematika, operator akan dimudahkan dengan hanya memudahkan koordinat yang dituju yang berupa koordinat x, y, z (Hasan et al., 2020).

Lengan robot akan menjadi sangat penting di dunia industri dan kemajuan di dunia teknologi. Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini, penulis mengambil judul Rancang bangun lengan robot 4 degrees of freedom untuk proses Casting.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah yang di dapat adalah :

1. Bagaimana merancang lengan robot 4 dof untuk proses casting.
2. Bagaimana membangun lengan robot 4 dof untuk proses casting

1.3. Ruang Lingkup

Mengingat luasnya permasalahan untuk tugas akhir ini, maka penulis memberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Robot menggunakan 4 DOF (Degrees Of Freedom)
2. Robot menggunakan motor servo sebagai aktuatornya
3. Robot menggunakan arduino nano sebagai mikrokontrolernya

1.4. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membangun lengan robot 4 DOF untuk casting
2. Menguji pergerakan lengan robot 4 DOF untuk casting

1.5. Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian lengan robot 4 DOF untuk casting ini adalah sebagai bahan pembelajaran kepada mahasiswa teknik mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang sistem kerja lengan robot serta memberikan kontribusi pada pengetahuan dalam bidang robotika dan proses manufaktur, khususnya dalam aplikasi lengan robot untuk proses casting.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Casting

2.1.1. Pengertian Casting (Pengecoran)

Pengecoran (casting) merupakan salah satu teknik pembuatan produk di mana logam dicairkan dalam tungku peleburan, lalu dituangkan ke dalam cetakan yang sesuai dengan bentuk dari produk cor yang akan dibuat. Proses ini memungkinkan pembuatan produk dengan bentuk yang kompleks dan detail yang sulit dicapai dengan proses manufaktur lainnya (Stefanescu, 2015).



Gambar 2.1 Pengecoran Logam

Secara umum, proses casting terdiri dari beberapa langkah, termasuk persiapan cetakan, peleburan logam, pengecoran, pendinginan, dan pemrosesan pasca-casting. Di bawah ini adalah penjelasan singkat tentang setiap langkah:

1. Persiapan Cetakan

Cetakan yang akan digunakan harus dipersiapkan terlebih dahulu. Ini bisa termasuk pembuatan cetakan dari pasir, logam, atau bahan lainnya, serta pemrosesan cetakan untuk menghasilkan permukaan yang halus dan presisi.

2. Peleburan Logam

Logam yang akan dilelehkan ditempatkan dalam tungku peleburan dan dipanaskan hingga mencapai suhu cair. Proses ini memungkinkan logam untuk menjadi cair dan siap untuk dituangkan ke dalam cetakan.

3. Pengecoran

Logam cair dituangkan ke dalam rongga cetakan melalui saluran atau lubang tuang. Proses ini memungkinkan logam untuk mengambil bentuk cetakan yang diinginkan dan mendingin untuk membentuk produk akhir.

4. Pendinginan

Setelah pengecoran selesai, produk cor didinginkan dalam cetakan hingga logam menjadi padat dan dapat diangkat dari cetakan.

5. Pemrosesan Pasca-casting

Setelah produk cor dikeluarkan dari cetakan, proses pasca-casting mungkin diperlukan untuk membersihkan, memotong, memperbaiki, atau memodifikasi produk cor sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

2.1.2. Faktor Yang Mempengaruhi Proses Casting

Casting dapat digunakan untuk membuat berbagai jenis produk, mulai dari komponen mesin dan kendaraan hingga dekorasi dan perhiasan. Keuntungan utama dari proses ini adalah kemampuannya untuk membuat produk dengan bentuk yang kompleks, presisi tinggi, dan detail yang halus (Sudiyanto & Shiddiq, 2022). Namun, proses casting juga dapat menjadi rumit dan memerlukan perhatian khusus terhadap faktor-faktor seperti berikut:

1. Desain Cetakan

Desain cetakan, termasuk bentuk, ukuran, dan kompleksitas geometri, sangat mempengaruhi kemampuan pengisian dan pemadatan logam cair. Cetakan harus dirancang sedemikian rupa sehingga mampu mengakomodasi penyusutan logam dan mencegah cacat seperti porositas. Desain cetakan yang baik sangat penting dalam proses casting.

2. Suhu dan Tekanan Peleburan

Suhu dan tekanan pada saat logam dilelehkan memiliki dampak besar terhadap viskositas dan aliran logam cair sehingga dapat memengaruhi kualitas produk akhir. Pengendalian suhu dan tekanan sangat penting untuk menghindari cacat pada produk cor Suhu Peleburan.

3. Bahan Baku

Jenis logam yang digunakan dalam proses casting juga mempengaruhi hasil akhir. Setiap jenis logam memiliki karakteristik unik dan sifat-sifat tertentu yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan bahan.

4. Material Cetakan

Jenis material cetakan yang dipilih juga berpengaruh signifikan terhadap proses casting. Material cetakan harus memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, kekuatan mekanik yang memadai, dan kemampuan untuk memberikan hasil cetakan yang halus.

5. Pemilihan Metode Casting Metode casting yang dipilih juga akan memengaruhi hasil akhir. Masing-masing metode memiliki karakteristik, kecocokan aplikasi, dan parameter operasional yang berbeda-beda. Pemilihan teknik pengecoran yang tepat akan memengaruhi kualitas produk akhir.

6. Proses Pendinginan

Proses pendinginan setelah logam dituangkan ke dalam cetakan juga memainkan peran penting dalam menentukan struktur dan sifat mekanik produk akhir. Pengaturan suhu dan laju pendinginan harus diatur dengan tepat untuk mencegah terjadinya cacat seperti distorsi atau tegangan internal.

7. Kondisi Lingkungan

Kondisi lingkungan tempat casting dilakukan, seperti kelembaban udara, suhu lingkungan, dan kontaminasi, juga dapat mempengaruhi kualitas casting. Lingkungan yang bersih dan terkontrol akan membantu mengurangi risiko kontaminasi dan cacat pada produk akhir

2.1.3. Jenis Teknik Casting

Proses casting (pengecoran) ini dibedakan menjadi dua jenis, yaitu tradisional dan non-tradisional (Suprpto, 2017).

2.1.3.1. Teknik Casting Tradisional

1. Sand-Mold Casting

Proses : Cetakan dibuat menggunakan pasir campur air, dan cetakan tersebut kemudian diisi dengan logam cair.

Karakteristik : Sederhana, murah, dan dapat digunakan untuk membuat produk dengan geometri yang kompleks.

2. Dry-Sand Casting

Proses : Mirip dengan sand-mold casting, namun pasir yang digunakan kering tanpa campuran air.

Karakteristik : Menghasilkan permukaan yang lebih halus dan detail yang lebih baik dibandingkan dengan sand-mold casting biasa.

3. Shell-Mold Casting

Proses : Cetakan dibuat dengan cara mengecor campuran resin dan pasir di sekitar pola yang dipanaskan.

Karakteristik : Cetakan yang lebih halus, dengan toleransi dimensi yang lebih ketat dan permukaan yang lebih baik.

4. Full-Mold Casting

Proses : Pola yang terbuat dari bahan mudah terbakar seperti polistiren dipasang di dalam cetakan pasir. Ketika logam dituangkan, pola tersebut terbakar dan meninggalkan ruang kosong untuk pembentukan produk akhir.

Karakteristik : Menghasilkan produk dengan kekuatan dan dimensi yang lebih baik, tetapi membutuhkan lebih banyak waktu dan biaya dalam persiapan.

5. Cement-Mold Casting

Proses : Cetakan dibuat dengan mencampur pasir dengan semen dan air untuk membentuk cetakan.

Karakteristik : Cocok untuk produksi massal dan produk berukuran besar, tetapi memerlukan waktu pematatan yang cukup lama.

6. Vacuum-Mold Casting

Proses : Teknik yang menggunakan tekanan vakum untuk menarik logam cair ke dalam cetakan.

Karakteristik : Menghasilkan produk dengan ketelitian yang tinggi dan permukaan yang halus, cocok untuk produk-produk dengan geometri yang rumit.

2.1.3.2. Teknik casting Non-Tradisional

1. High-Pressure Die Casting

Proses : Logam cair disuntikkan ke dalam cetakan dengan tekanan tinggi.

Karakteristik : Cocok untuk produksi massal dengan biaya rendah, dan menghasilkan produk dengan toleransi dimensi yang tinggi.

2. Permanent-Mold Casting

Proses : Cetakan yang terbuat dari logam tahan panas digunakan untuk membuat produk.

Karakteristik: Cocok untuk produksi dalam jumlah sedang hingga besar, dengan biaya cetakan yang lebih tinggi tetapi umur cetakan yang lebih panjang.

3. Centrifugal Casting

Proses : Logam cair dituangkan ke dalam cetakan yang berputar, yang memungkinkan gravitasi untuk mendistribusikan logam secara merata di sepanjang dinding cetakan.

Karakteristik : Menghasilkan produk dengan struktur yang homogen dan ketahanan terhadap tekanan yang tinggi.

4. Plaster-Mold Casting

Proses : Cetakan dibuat menggunakan campuran plaster dan serat, kemudian diisi dengan logam cair.

Karakteristik : Cocok untuk produk-produk dengan detail yang halus dan kompleks.

5. Investment Casting

Proses : Cetakan terbuat dari campuran keramik dan bahan perekat organik yang kemudian dipanaskan untuk menghilangkan bahan organik tersebut sebelum logam dituangkan.

Karakteristik : Menghasilkan produk dengan permukaan yang halus dan toleransi dimensi yang tinggi, cocok untuk produk-produk presisi.

6. Solid-Ceramic Casting

Proses : Cetakan terbuat dari bahan keramik yang kuat dan tahan panas.

Karakteristik : Cocok untuk produk-produk yang memerlukan ketahanan terhadap suhu tinggi dan korosi.

2.2. Robot

2.2.1. Pengertian Robot

Robot adalah berasal dari kata “robota” bahasa Czech yang berarti pekerja, diperkenalkan pertama kali pada tahun 1920 oleh K. Capek dalam Rossum’s Universal Robot. Robot industri mempunyai pengertian yang berbeda dengan pengertian robot secara awam yang berkembang dewasa ini. Robot industri tidak berbentuk humanoid, artinya mesti mempunyai; kepala, badan dan organ lainnya, serta mempunyai kecerdasan buatan seperti manusia layaknya. Robot menurut Robot Institute of America, adalah sebagai berikut; Sebuah robot adalah mesin yang dapat diprogram, multifungsi, dibuat untuk mengerjakan, memindahkan, material-material, komponen, perkakas dan benda-benda tertentu, melalui sebuah pergerakan yang dapat berubah-ubah sesuai dengan program yang ditentukan, sehingga mempunyai performansi untuk dapat mengerjakan tugas yang cukup banyak (Prasetyawan et al., 2018).



Gambar 2.2 Robot

Robot adalah suatu alat mekanik yang dapat melakukan tugas menggantikan manusia, baik menggunakan pengawasan dan kontrol manusia, atau menggunakan program yang telah didefinisikan (kecerdasan buatan). Robot biasanya digunakan

untuk menggantikan manusia melakukan tugas berat, berbahaya, pekerjaan berulang, dan kotor. Biasanya robot industri digunakan dalam garis produksi (pekerjaan berulang). Penggunaan lainnya adalah untuk membantu manusia dalam memindahkan suatu benda tanpa harus mengangkat benda tersebut. Robot ini juga sering diaplikasikan pada industri pabrik dan dapat membantu manusia serta menghemat waktu dalam pekerjaan (Jaya, 2016).

Adapun Definisi robot menurut Robotic Industries Association (RIA) adalah suatu peralatan manipulator yang mampu program (programm-able), mempunyai berbagai fungsi, yang dirancang untuk memindahkan bahan, komponen-komponen, peralatan atau alat khusus, melalui berbagai gerakan yang terprogram untuk pelaksanaan berbagai tugas. Selanjutnya sesuai dengan penerapannya, robot industri bukanlah peralatan yang dirancang untuk menirukan seluruh kemampuan manusia, tetapi robot industri lebih menyerupai tangan manusia, serta dirancang untuk memanipulasi gerak dari organ tersebut. Oleh karenanya robot industri dikenal juga dengan nama robot tangan atau manipulator.

2.2.2. Sejarah Robot

Robot pertama kali diperkenalkan oleh seorang penulis dari Czech yang bernama Karel pada tahun 1921 dalam karya sastranya. Kata Robot berasal dari kata 'robota' yang berarti: pekerja sendiri. Sejarah robot bermula ketika sistem otomatis dibuat oleh Jacques de Vaucanson pada tahun 1938, yang membuat bebek mekanik yang dapat memakan dan mencincang biji-bijian, membuka dan menutup sayapnya. Kemudian tahun 1796, Hisashine Tanaga di Jepang berhasil membuat mainan mekanik yang dapat mnghidangkan the dan menulis huruf kanji. Lalu 1926, Nikola Tesla mendemintrasikan perahu bot yang dapat dikontrol dengan radio. Tahun 1928, Makoto Nishimura membuat robot pertama di Jepang (Abidin & Suprianto, 2020).

Dengan perkembangan teknologi Elektronika, maka perkembangan robot ini melaju pesat, seperti tahun 1948, William Grey Walter membuat robot elektronik otomatis pertama dimana robot ini dapat merespon cahaya dan dapat melakukan kontak dengan objek dari luar. Pada tahun 1954, saat dimulainya zaman digital, sebuah robot digital yang dapat diprogram ditemukan oleh George Devol. Pada

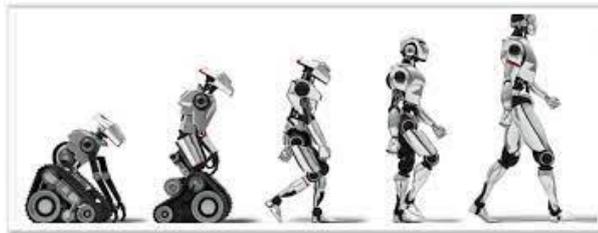
abad modern ini sudah bermacam-macam robot yang dicipta dan digunakan seperti dalam industri, rumah sakit, transportasi, pendidikan dan kehidupan sehari-hari. Seperti robot yang digunakan untuk mengecat mobil, robot yang digunakan untuk merakit komponen elektronik dan juga humanoid robot yaitu robot yang memiliki muka, yang mampu berjalan dan bertindak seperti manusia.

Sejarah Perkembangan sistem komputer telah berperan dalam perkembangan robot sebagai berikut sejarah nya :

- 1921: Penulis Ceko Karel Kapeek menulis sebuah drama berjudul
- 1926 : Pembuat film Fritz Lang merilis film Metropolis, itu adalah robot pertama kali muncul di film. Robot ini dibangun dalam bentuk istri penciptanya itu.
- 1927 : pertama di dunia ini “robot” suara humanoid disebut Televox, dioperasikan melalui system telpon
- 1928 : Jepang memproduksi robot pertama, Gakutensoku, Namanya berarti “belajar dari hukum alam.emas” robot itu di cat,berdiri dan bisa membuka dan menutup mata, membesungkan pipi dan Tersenyum.
- 1936 : Konsep untuk komputer pertama kali diperkenalkan oleh Alan Turning yang menyebutnya mengubah mesin
- 1942 : Isaac Asimov menghasilkan serangkaian cerita tentang robot untuk majalah fiksi ilmiah, Serial ini berputar di sekitar robot dan kasih sayang untuk anak itu di bangun untuk melindungi. Ia akhirnya di kompilasi ke dalam sebuah buku yang di sebut “ I, Robot “ pada 1950. Serial ini juga memperkenalkan “ Tiga Hukum Robot “, sebuah konsep yang telah dimasukan dalam hampir setiap cerita robot lain,acara TV,dan film to-date.
- 1948 : MIT Profesor Norbert Wiener menerbitkan sebuah buku berjudul Sibernatika, yang rincian konsep control dan komunikasi dari sebuah system mekanik (robot).
- 1951 : Raymond Goertz desain lengan mekanik untuk Atomic Komisi Energi yang dapat dikendalikan oleh seseorang yang agak jauh.
- 1954 : George Devol menciptakan istilah Universal Otomatisasi dan desain robot di program pertama.

Dengan perkembangan robot sangat berkaitan erat dengan adanya kebutuhan dalam dunia industri modern yang menuntut adanya suatu alat dengan kemampuan yang tinggi yang dapat membantu menyelesaikan pekerjaan manusia ataupun untuk menyelesaikan pekerjaan yang tidak mampu diselesaikan oleh manusia. robot sangat berkaitan erat dengan adanya kebutuhan dalam dunia industri modern yang menuntut adanya suatu alat dengan kemampuan yang tinggi yang dapat membantu menyelesaikan pekerjaan manusia ataupun untuk menyelesaikan pekerjaan yang tidak mampu diselesaikan oleh manusia

2.2.3. Perkembangan Robot



Gambar 2.3 Perkembangan Robot

Perkembangan robotika dunia saat ini sedang pesat-pesatnya bahkan sekarang manusia bisa menciptakan robot yang sangat mirip dengan manusia itu sendiri atau biasa disebut robot humanoid. Saat ini, robot yang paling maju mampu berpikir, bertindak dan berinteraksi layaknya manusia. Perkembangan teknologi ini sangat menakjubkan dengan populasi yang terus beranjak naik di banyak negara, terutama untuk menunjang sektor industri. Saat ini perkembangan ilmu robotika telah merata seluruh tanah air yang dibuktikan dengan keikutsertaan mahasiswa hampir seluruh kepulauan yang ada di Indonesia. Prestasi mahasiswa Indonesia untuk bidang robot juga sudah diperhitungkan di dunia, terbukti dengan beberapa kali dapat menjuarai perlombaan-perlombaan tingkat dunia (Winarno & Arifianto, 2011).

Salah satu faktor yang mendukung pesatnya robotika di bidang teknologi adalah perkembangan arsitektur pengendali robot (robot control architecture). Arsitektur pengendali robot membentuk tulang punggung dari sistem robot yang

kompleks dan sempurna. Arsitektur pengendali menyediakan beberapa prinsip-prinsip untuk mengorganisasikan sistem pengendali pada robot yang menjelaskan bagaimana sistem robot tersebut dibagi menjadi beberapa sub-sub sistem, dan menjelaskan sub-sub sistem tersebut berinteraksi serta menggambarkan konsep algoritma dan komputasi yang digunakan sistem tersebut secara keseluruhan. Beberapa arsitektur pengendali robot telah dikembangkan, antara lain arsitektur pertimbangan (deliberative control architecture), arsitektur reaktif (reactive control architecture), arsitektur hibridisasi (hybrid control architecture) dan arsitektur berbasis perilaku (behavior-based control architecture) (Hammad Zaki et al., 2019).

Robotika memiliki unsur yang sedikit berbeda dengan ilmu-ilmu dasar atau terapan yang lain dalam berkembang. Ilmu dasar biasanya berkembang dari suatu hipotesis yang kemudian diteliti secara metodis. Ilmu terapan dikembangkan setelah ilmu-ilmu yang mendasarinya berkembang dengan baik. Sedangkan ilmu robotika lebih sering berkembang melalui pendekatan secara praktis pada awalnya. Kemudian melalui suatu pendekatan atau perumpamaan dari hasil pengamatan perilaku makhluk hidup atau benda/mesin/peralatan bergerak lainnya dikembangkanlah penelitian secara teoritis. Dari teori kembali kepada praktis, dan dari robot berkembang menjadi lebih canggih

2.2.4. Jenis-Jenis Robot

Robot memiliki berbagai bentuk jenis di antaranya sebagai berikut

1. Fixed Robot

Merupakan bentuk robot yang tidak dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain secara keseluruhan. Bentuk robot ini bersifat dari segi posisi dan sangat sulit untuk dipindahkan. contoh dari bentuk robot ini seperti pada gambar 2.4 yaitu robot di bidang industry.



Gambar 2.4 Fixed Robot

2. Mobile Robot

Merupakan bentuk robot yang dapat secara dinamis berpindah tempat dari satu titik ke titik lainnya. Memiliki alat gerak untuk berpindah seperti, roda atau kaki. Dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 Mobile Robot

3. Animal Robot

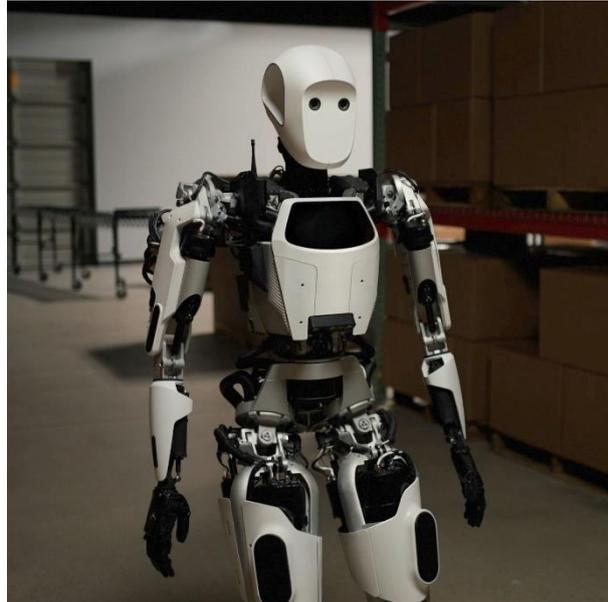
Merupakan robot yang memiliki bentuk menyerupai binatang. Disebut Animal Robot karena pada awalnya bentuk robot mengambil bentuk berbagai jenis hewan. Contoh animal robot dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6 Animal Robot

4. Humanoid

Merupakan robot yang memiliki bentuk menyerupai bentuk manusia. Hal yang paling sulit dari bentuk robot ini adalah memikirkan bagaimana robot dapat berdiri tegak dan berjalan dengan seimbang. Contoh dari robot humanoid dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6 Humanoid Robot

2.2.5. Prinsip Kerja Robot

Sampai saat ini, belum ada robot yang mampu berinteraksi secara mandiri atau dengan kata lain bertindak seperti manusia yang dapat melakukan banyak hal tanpa harus menunggu suatu rangsangan dari lingkungan. Robot terlihat hidup tapi sebenarnya hanya merespon rangsangan yang diterimanya dari lingkungan sekitarnya (Djaya Siswaja, 2008).

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

mengebor, mengelas, mengecat, menyatukan produk atau mencetak produk, hingga melakukan pengemasan (Harpad et al., 2020).

Lingkungan memberikan rangsangan yang akan diterima oleh sensor. Sensor akan mengirimkan sinyal-sinyal rangsangan ke otak (pusat pengolah data dari robot). Otak kemudian memproses rangsangan tersebut dan memutuskan komponen yang akan bekerja. Komponen yang dipilih otak akan memberikan respon kepada lingkungan sehingga seolah-olah robot mengerti dan memahami rangsangan dari lingkungan

2.3. Lengan Robot

2.3.1. Pengertian Lengan Robot



Gambar 2.7 Lengan robot

Lengan robot seperti pada gambar 2.7 di atas terdiri dari serangkaian segmen bersendi yang terhubung satu sama lain melalui sendi-sendi atau persendian. Sendi-sendi ini dapat berupa sendi revolute (putar) yang memungkinkan gerakan rotasi, sendi prisma (linier) yang memungkinkan gerakan translasi, atau kombinasi dari keduanya. Setiap sendi dilengkapi dengan motor dan penggerak yang menggerakkan lengan robot sesuai dengan instruksi yang diberikan oleh sistem kendali (Jatmiko et al., 2012).

Material yang umumnya digunakan untuk membangun lengan robot adalah logam, plastik, atau serat komposit yang kuat dan ringan. Desain struktural lengan robot harus mempertimbangkan kekuatan, kestabilan, dan bobot keseluruhan untuk memastikan kinerja yang optimal.

Selain struktur mekanis, lengan robot juga dilengkapi dengan berbagai sensor seperti sensor tekanan, sensor kecepatan, sensor posisi, dan sensor penginderaan lainnya. Sensor-sensor ini memberikan informasi penting tentang lingkungan sekitarnya dan memungkinkan lengan robot untuk merespons secara tepat terhadap perubahan yang terjadi.

Sistem kendali adalah komponen inti dari lengan robot yang mengatur gerakan dan perilaku lengan sesuai dengan tugas yang diberikan. Sistem kendali dapat berupa kendali terprogram yang menerima instruksi dari operator manusia, kendali autonomi yang menyusun rencana tindakan sendiri berdasarkan pemrograman yang telah ditentukan, atau kombinasi keduanya (Firman, 2014).

Dengan kemajuan dalam bidang robotika dan kecerdasan buatan, lengan robot semakin menjadi lebih fleksibel, adaptif, dan cerdas. Teknologi seperti machine learning dan computer vision memungkinkan lengan robot untuk belajar dari pengalaman, menyesuaikan strategi kerja mereka, dan berinteraksi dengan lingkungan secara lebih efektif.

Secara keseluruhan, lengan robot merupakan salah satu inovasi paling penting dalam teknologi modern yang memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keamanan dalam berbagai bidang aplikasi. Dengan terus berkembangnya teknologi, lengan robot akan terus menjadi bagian integral dari sistem robotik yang kompleks dan canggih di masa depan.

2.3.2. Bagian-Bagian Lengan Robot

Adapun Bagian-bagian lengan robot yaitu sebagai berikut:

1. Robot Memiliki sensor

Sensor merupakan peralatan yang berguna untuk mengukur ataupun merasakan sesuatu pada lingkungan di luar robot, layaknya indera pada makhluk hidup, dan memberi laporan hasilnya kepada robot. Dengan

adanya sensor, robot bisa memiliki suatu pertimbangan dalam mengambil keputusan sebagai sensor jari.

2. Robot Memiliki (Aktuator) peralatan mekanik

Peralatan mekanik berfungsi untuk membuat robot dapat melakukan suatu tindakan tertentu dan berinteraksi dengan lingkungannya. Aktuator yang sering digunakan sebagai penggerak robot diantaranya : motor dc magnet permanen, motor dc brushles, motor dc servo, pneumatic, dan masih banyak lagi. Penggerak yang digunakan pada lengan robot ini ialah motor servo dan motor dc.

3. Robot Memiliki (Power) sumber daya

Seperti halnya makhluk hidup yang membutuhkan makanan untuk hidup, robot juga memerlukan sumber tenaga untuk menggerakkan komponen elektrik dan mekanika yang terpasang. Sumber energi pada robot mencakup penyedia tenaga listrik seperti baterai, dan sistem pengatur transmisi yang bertugas mengonversi tenaga listrik sesuai kebutuhan setiap komponen.

4. End Effector

Merupakan suatu komponen pada lengan robot yang mempunyai fungsi mencengkram suatu objek tertentu untuk di pegang atau di pindahkan. Jenis-jenis End-Effector diantara lain Gripper dan Tools. Namun pada Laporan Akhir ini menggunakan tipe Gripper sebagai End Effector Robot

2.3.3. Derajat Kebebasan

Derajat kebebasan (degrees of freedom, DoF) dalam konteks robotika mengacu pada jumlah gerakan independen yang dapat dilakukan oleh robot. Ini mencerminkan seberapa fleksibel dan serbaguna sebuah robot dalam melakukan berbagai tugas. Derajat kebebasan diukur berdasarkan jumlah sumbu atau sendi yang dimiliki oleh robot. Jumlah derajat kebebasan sebuah robot sangat penting dalam menentukan kemampuan dan fleksibilitasnya dalam melakukan tugas-tugas yang kompleks. Semakin banyak derajat kebebasan yang dimiliki oleh robot, semakin kompleks gerakan dan manipulasi yang dapat dilakukannya. Namun, penambahan derajat kebebasan juga dapat meningkatkan kompleksitas kontrol dan

pemrograman robot. Oleh karena itu, desain robot seringkali merupakan keseimbangan antara kebutuhan untuk memiliki fleksibilitas yang tinggi dan kemampuan untuk mengontrol dengan efisien (Craig, 2005).

Jenis-jenis Kebebasan Gerak dalam Ruang Tiga Dimensi

1. Translasi (Perpindahan):
 - Gerak dalam sumbu X: Pergerakan benda ke kiri dan ke kanan.
 - Gerak dalam sumbu Y: Pergerakan benda ke atas dan ke bawah.
 - Gerak dalam sumbu Z: Pergerakan benda ke depan dan ke belakang.
2. Rotasi (Putaran):
 - Rotasi di sekitar sumbu X (roll): Gerakan memutar benda di sekitar sumbu X (seperti memutar roda mobil).
 - Rotasi di sekitar sumbu Y (pitch): Gerakan memutar benda di sekitar sumbu Y (seperti menganggukkan kepala).
 - Rotasi di sekitar sumbu Z (yaw): Gerakan memutar benda di sekitar sumbu Z (seperti menggelengkan kepala).

2.3.4. Kinematika Robot

Kinematika adalah cabang dari mekanika klasik yang menggambarkan tentang pergerakan sebuah titik, pergerakan sebuah objek, atau juga pergerakan dari grup dari banyak objek tanpa mempedulikan tentang masa dari objek tersebut dan juga gaya yang menyebabkan objek tersebut bergerak. Kinematika lengan robot adalah studi analisis geometri gerak lengan robot terhadap referensi tetap sistem koordinat tanpa memperhatikan kekuatan/gaya atau momen-momen yang menyebabkan gerak. Kinematika lengan robot dibagi menjadi dua yaitu forward dan inverse kinematics.

Kinematika maju atau forward kinematika adalah suatu persamaan yang berfungsi untuk menemukan posisi letak koordinat orientasi End of Effector robot lengan berdasarkan pergerakan sudut dari tiap joint yang bergerak. Dikarenakan

setiap perubahan posisi sendi akibat gerakan dihitung menggunakan trigonometri langsung, kinematika maju sangat mudah dihitung

Inverse kinematics memiliki pemahaman yang berkebalikan dengan forward kinematics, digunakan untuk menentukan nilai pada variabel sendi dari robot manipulator, di mana diketahui posisi dan orientasi dari end-effector. Inverse kinematic memiliki masalah yang banyak dan kompleks jika dibandingkan dengan forward kinematic

2.3.5. Peran Lengan Robot Dalam Proses Casting

Peran lengan robot dalam proses pengecoran sangat penting dalam meningkatkan efisiensi, kualitas, dan keamanan dalam produksi komponen logam.

1. Pengisian Cetakan

Lengan robot dapat digunakan untuk mengisi cetakan dengan logam cair secara tepat dan konsisten. Dengan sensor dan sistem kendali yang canggih, lengan robot dapat memastikan pengisian cetakan yang merata dan mengurangi risiko terjadinya cacat seperti porositas atau retak.

2. Manipulasi Pemodelan

Sebelum pengecoran, lengan robot dapat digunakan untuk manipulasi pemodelan cetakan atau pola. Ini termasuk pemindahan dan penempatan pola cetakan, serta pengaturan geometri dan orientasi cetakan sesuai dengan kebutuhan produksi.

3. Pengangkatan dan Penanganan Produk

Setelah pengecoran selesai, lengan robot dapat digunakan untuk mengangkat dan menangani produk yang baru saja dicor. Ini termasuk proses pemindahan produk dari cetakan ke tempat pendinginan atau proses selanjutnya dalam jalur produksi.

4. Inspeksi dan Pengujian

Lengan robot dapat dilengkapi dengan sensor dan sistem pengukuran yang memungkinkan untuk melakukan inspeksi dan pengujian produk secara otomatis. Hal ini membantu dalam mendeteksi cacat atau ketidaksempurnaan pada produk dan memastikan bahwa hanya produk berkualitas tinggi yang disetujui untuk dipasarkan.

5. Optimasi Proses

Melalui pemantauan dan analisis data yang terkait dengan proses pengecoran, lengan robot dapat membantu dalam mengoptimalkan parameter-proses seperti suhu, kecepatan pengisian, atau tekanan cetakan. Ini dapat meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi pemborosan bahan baku.

6. Keamanan dan Kesehatan Kerja

Penggunaan lengan robot dalam proses pengecoran juga dapat meningkatkan keamanan dan kesehatan kerja di tempat kerja. Dengan mengambil alih tugas-tugas fisik yang berat atau berbahaya, lengan robot membantu mengurangi risiko cedera pekerja dan menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan nyaman.

Dengan memanfaatkan kemampuan dan fleksibilitas lengan robot, produsen dapat meningkatkan efisiensi, kualitas, dan keamanan dalam proses pengecoran logam, serta mempercepat inovasi dan pengembangan produk.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

3.1.1. Tempat Penelitian

Tempat pelaksanaan penelitian Arm Robot 4 DOF untuk Casting 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 Hasil dan Sidang						■

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

1. Laptop

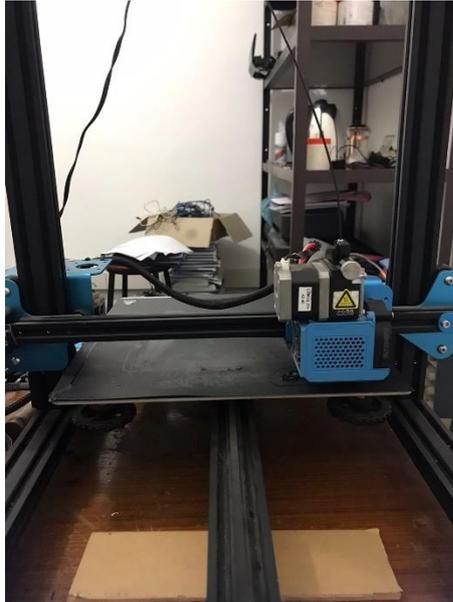
Laptop adalah komputer pribadi yang berukuran relatif kecil dan ringan sehingga sifatnya portable. Digunakan untuk merancang komponen dan membuat program untuk lengan robot. Laptop dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Laptop

2. 3D Printer

3D printer adalah perangkat yang membuat objek tiga dimensi dari plastik dengan cara menambahkan lapisan demi lapisan sesuai dengan desain digital yang telah dibuat sebelumnya. Digunakan untuk mencetak komponen lengan robot. 3D Printer dapat dilihat pada gambar 3.2 sebagai berikut



Gambar 3.2 3D Printing

3. SolidWork

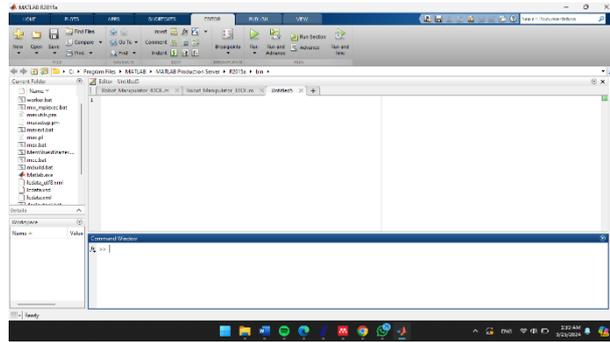
SolidWorks adalah perangkat lunak CAD yang digunakan untuk merancang dan memodelkan gambar secara digital dalam tiga dimensi. Digunakan untuk menggambar komponen lengan robot. Dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 SolidWork

4. Matlab

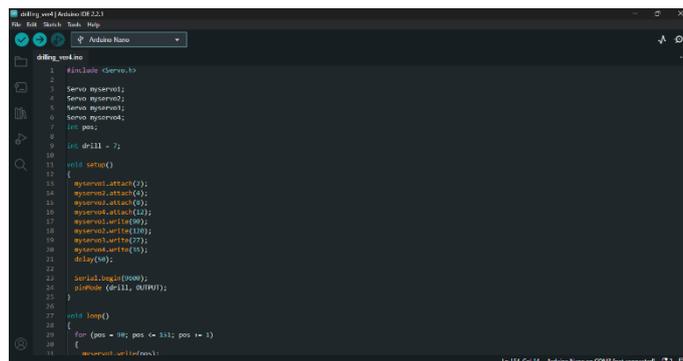
Matlab adalah perangkat lunak yang digunakan untuk analisis data, pemodelan, dan pengembangan algoritma. Digunakan untuk mensimulasikan lengan robot. Dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 Matlab

5. Arduino IDE

Arduino IDE adalah perangkat lunak digunakan untuk memprogram dan mengunggah kode ke papan mikrokontroler Arduino. Digunakan untuk memprogram lengan robot untuk aplikasi casting. Dapat dilihat pada gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Arduino IDE

6. Kikir

Kikir adalah alat yang digunakan untuk menggosok, menghaluskan, atau memotong material. Digunakan untuk merapikan permukaan komponen lengan robot. Dapat dilihat pada gambar 3.6 sebagai berikut.



Gambar 3.6 Kikir

7. Obeng

Obeng adalah alat yang digunakan untuk mengencangkan atau melonggarkan baut, sekrup, atau paku dengan kepala yang sesuai. Digunakan untuk memasang baut pada lengan robot. Dapat dilihat pada gambar 3.7 dibawah ini.



Gambar 3.7 Obeng

8. Jangka Sorong

Jangka sorong alat pengukur presisi yang digunakan untuk mengukur panjang, ketebalan, atau diameter suatu objek dengan akurasi tinggi. Digunakan untuk mengukur komponen lengan robot. Dapat dilihat pada gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8 Jangka Sorong

3.2.2. Bahan

1. Motor Servo

Motor servo adalah jenis motor listrik yang dapat menghasilkan gerakan presisi sesuai dengan sinyal kontrol yang diterimanya. Motor servo digunakan sebagai aktuator penggerak lengan robot. Dapat dilihat pada gambar 3.9 sebagai berikut.



Gambar 3.9 Motor Servo

2. 3D Filamen

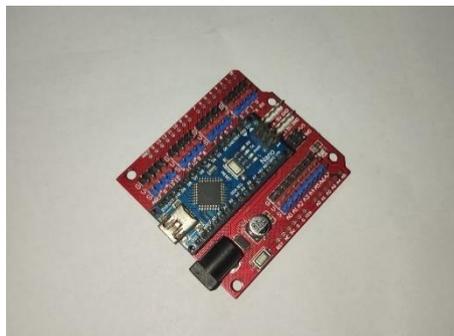
3D Filamen adalah bahan dasar untuk pencetakan 3D yang tersedia dalam bentuk gulungan benang plastik yang dilelehkan dan dicetak menjadi objek tiga dimensi menggunakan printer 3D. 3D Filamen digunakan sebagai bahan dasar dari pencetakan komponen-komponen lengan robot. Adapun 3D filamen dapat dilihat pada gambar 3.10 sebagai berikut.



Gambar 3.10 3D Filamen

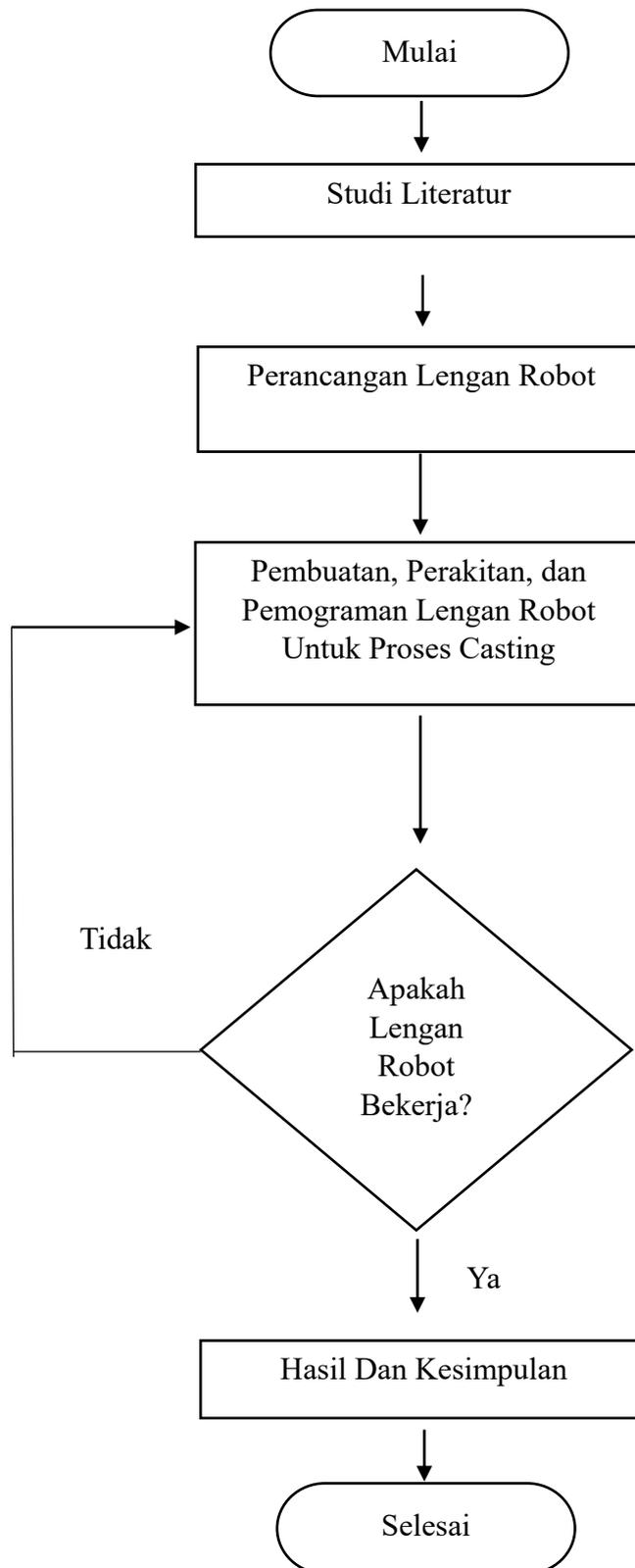
3. Arduino Nano

Arduino Nano adalah papan mikrokontroler arduino yang digunakan untuk mengontrol berbagai perangkat dan sensor. Arduino nano digunakan sebagai mikrokontroler pengatur lengan robot. Adapun arduino nano dapat dilihat pada gambar 3.11 berikut ini.



Gambar 3.11 Arduino Nano

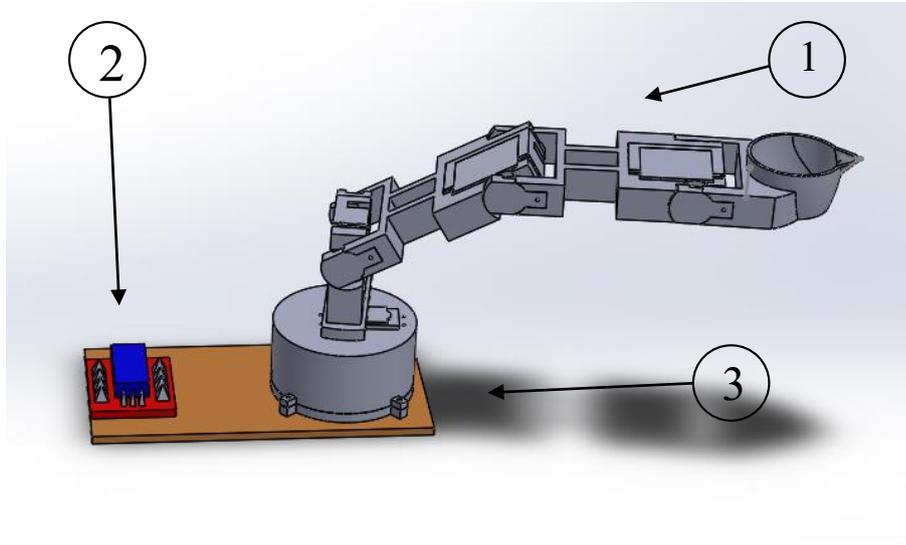
3.3. Bagan Air Penelitian



Gambar 3.12 Bagan Alir Penelitian

3.4. Rancangan Alat Penelitian

Rancangan alat penelitian sebagai berikut :



Gambar 3.13 Rancangan Alat Penelitian

Keterangan : 1. Lengan Robot
2. Arduino Nano
3. Platform

3.5. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian antara lain sebagai berikut :

1. Merancang dan menggambar lengan (link) pada lengan robot dengan menggunakan software solidwork dan menyimpannya dalam bentuk file STL.
2. Menyesuaikan model 3D rancangan lengan (link) dengan menggunakan aplikasi creality slicer dan menyimpannya dalam bentuk gcode.
3. membentuk rancangan lengan (link) dalam bentuk gcode menggunakan 3D printing.
4. Merapikan secara manual hasil 3D printing.
5. Merakit komponen lengan (link) dengan aktuatornya berupa motor servo pada

setiap sendi lengan robot.

6. Memasang end-effector berupa alat drilling pada ujung lengan robot.

7. Menyambungkan semua komponen elektrik dengan Arduino nano menggunakan

kabel dan solder.

8. Menyiapkan data sudut pergerakan lengan robot berdasarkan posisi akhir end-effector menggunakan invers kinematic.

9. Menyiapkan program berdasarkan data sudut pergerakan aktuator untuk menggerakkan lengan robot menggunakan software Arduino IDE.

10. Menguji pergerakan lengan robot untuk proses casting.

11. Memodifikasi program sesuai hasil pengamatan untuk mendapatkan hasil terbaik.

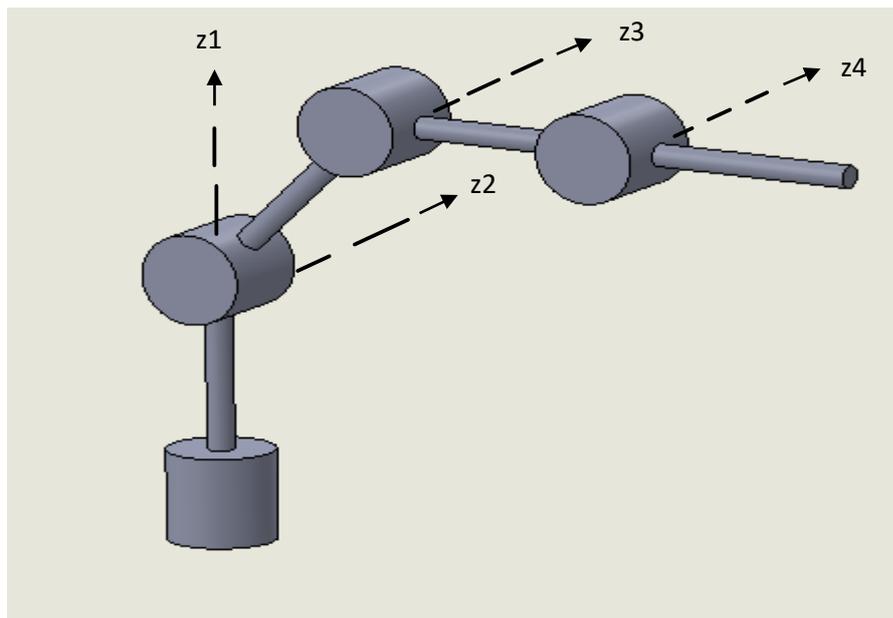
12. Mengumpulkan hasil penelitian pergerakan lengan robot untuk proses casting

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perancangan Lengan Robot

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.



Gambar 4.1 4 Derajat Kebebasan

Lengan robot memiliki 4 DOF atau 4 derajat kebebasan sehingga aktuator yang bekerja berjumlah 4 buah dimana aktuator pertama mengontrol rotasi di pangkal lengan robot yang memungkinkan lengan bergerak dari satu sisi ke sisi lain (kiri dan kanan). Tiga aktuator lainnya mengontrol rotasi di setiap ujung lengan robot. Lengan robot dengan 4 derajat kebebasan (DOF) dipilih untuk memberikan keseimbangan antara kompleksitas, fleksibilitas, keandalan dan biaya. Lengan

dengan 4 DOF cukup fleksibel untuk tugas casting yang ingin dilakukan. Lengan robot ini memiliki kemampuan untuk mencapai dan mengorientasikan objek dalam ruang tiga dimensi yang akurat lebih besar dari 3 DOF tanpa terlalu banyak kerumitan mekanis dan kontrol yang lebih sederhana dibandingkan lengan robot dengan DOF yang lebih banyak.

4.2. Rancangan komponen Lengan Robot

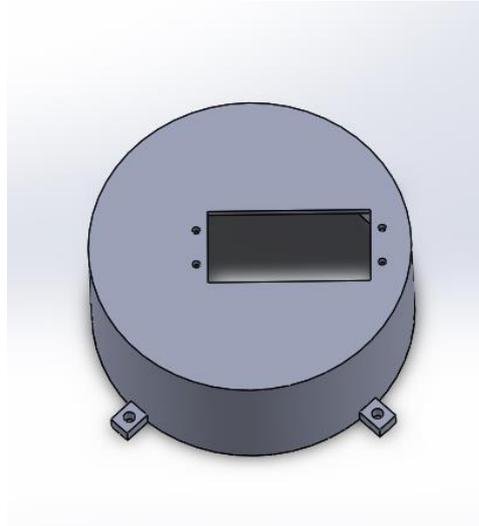
Penelitian lengan robot untuk casting dimulai dengan tahap pembuatan desain lengan robot. Desain ini menjadi langkah awal yang sangat penting dalam pengembangan lengan robot untuk proses casting yang efisien. Desain lengan robot untuk aplikasi casting haruslah mempertimbangkan berbagai aspek, termasuk fleksibilitas dan presisi. Pembuatan desain akan menggunakan perangkat lunak desain CAD (Computer-Aided Design) untuk membuat model virtual dari lengan robot. Perangkat lunak yang akan digunakan adalah solidwork. Dalam proses ini, pembuatan desain akan merancang struktur fisik dari lengan robot, termasuk bagian-bagian utama seperti base, link, dan end effector.

1. Mengukur servo yang akan digunakan sebagai aktuator dalam lengan robot. Langkah-langkahnya mencakup pengukuran dimensi fisik servo, seperti panjang, lebar, dan tinggi, serta mengevaluasi beratnya. Dapat dilihat seperti gambar 4.1 dibawah ini.



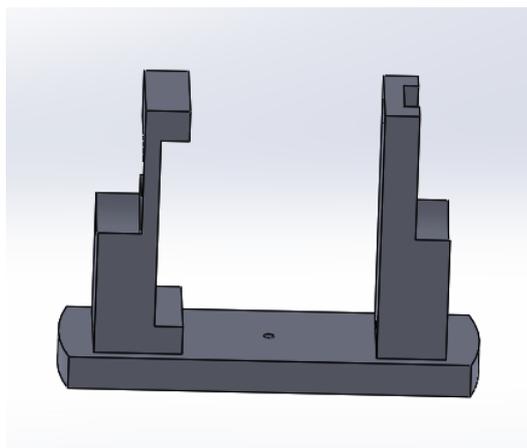
Gambar 4.2 Mengukur servo

2. Menjalankan aplikasi CAD solidwork dan membuat desain base. Base dibuat berbentuk lingkaran dengan ukuran diameter 85 mm, tinggi 30.85 mm, dan ketebalan dinding 2.5 mm. dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini.



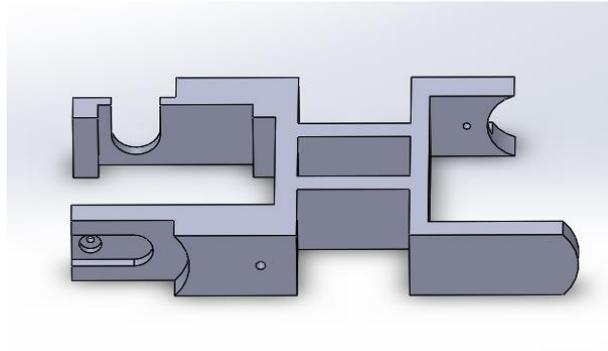
Gambar 4.3 Desain Base

3. Melanjutkan dengan membuat desain base atas dengan ukuran Panjang 85 mm, lebar 25 mm, tinggi 61 mm bagian bawahnya memiliki ketebalan 7 mm. dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini.



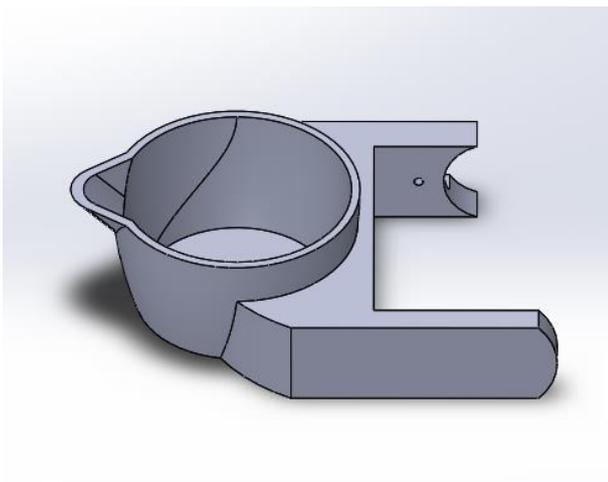
Gambar 4.4 Desain Base Atas

- Setelah base dan base atas telah selesai, selanjutnya membuat desain link yang sesuai dengan desain base dan base atas yang telah dibuat. Adapun desain link dibuat seperti gambar 4.4 dengan ukuran Panjang 135 mm, lebar 20 mm dan tinggi 71 mm.



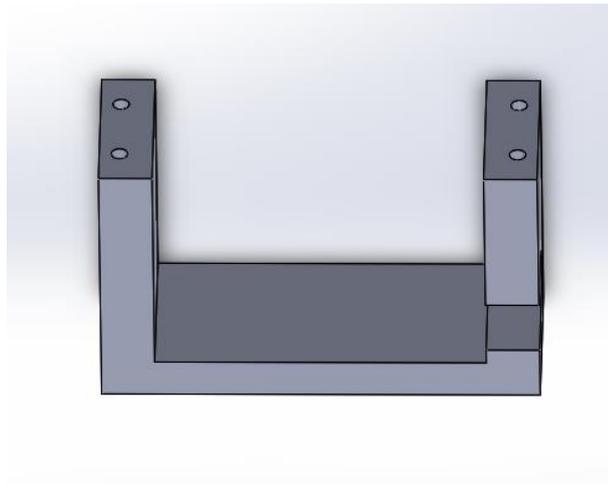
Gambar 4.5 Desain Link

- Membuat desain end-effektor casting berupa casting bucket. Bagian ini terlihat seperti gambar 4.5 dibawah ini dengan memiliki ukuran Panjang 106 mm, lebar 71 mm dan tinggi 30 mm.

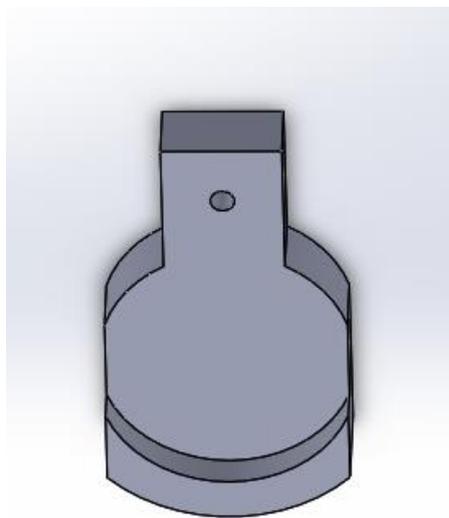


Gambar 4.6 Desain End-Effektor

6. Membuat komponen pembantu berupa cover servo dan servo horn. Bagian cover memiliki ukuran Panjang 54mm lebar 20 mm tinggi 34 mm dan servo horn memiliki ukuran panjang 35.4 mm, lebar 20 mm, dan tebal 5.61 mm. Adapun komponen pembantu ini dapat dilihat pada gambar 4.6 dan 4.7 sebagai berikut.

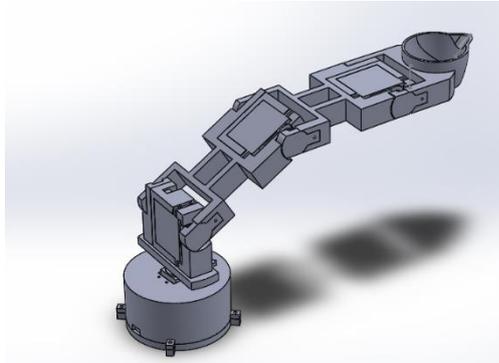


Gambar 4.7 Desain Cover Servo



Gambar 4.8 Desain Servo Horn

7. Setelahnya seluruh komponen yang telah didesain di satukan hingga membentuk desain lengan robot untuk proses casting seperti pada gambar 4.8 berikut ini.

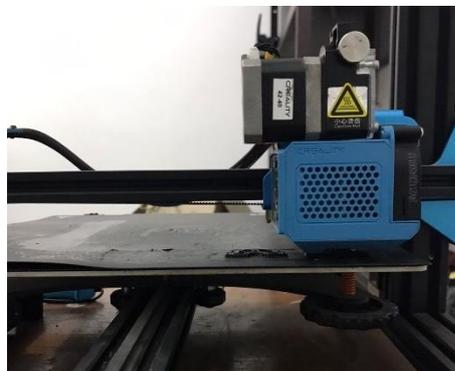


Gambar 4.9 Lengan Robot Untuk Casting

4.3. Pencetakan Komponen Lengan Robot

Komponen yang telah dibuat desainnya akan dilakukan Pencetakan 3D. Pencetakan 3D akan membuat komponen aktual dari lengan robot untuk casting. Proses ini memanfaatkan teknologi pencetakan 3D yang menggunakan bahan cetakan seperti plastik PLA+.

1. Seluruh komponen yang telah didesain akan di buat menggunakan printer 3D. Pencetakan 3D komponen lengan robot dimulai dengan menyiapkan file desain CAD yang telah dirancang sebelumnya. File ini kemudian diimpor ke perangkat lunak atau mesin pencetak 3D untuk memulai proses pencetakan seperti pada gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.10 Pencetakan 3D Komponen Lengan Robot

2. Base dicetak kemudian dikikir agar menghilangkan permukaan yang kasar dan tidak rata. Adapun ukuran base yang telah dicetak berdasarkan desain akan mengalami penyusutan sehingga base yang jadi memiliki ukuran diameter 84,7 mm, tinggi 29 mm, dan ketebalan dinding 2.5 mm seperti terlihat pada gambar 4.10 berikut.



Gambar 4.11 Base

3. Dilanjutkan dengan mencetak base atas. Base atas setelah dilakukan pencetakan 3D memiliki ukuran Panjang 84,8 mm, lebar 24,3 mm, tinggi 61 mm bagian bawahnya memiliki ketebalan 6,7 mm seperti terlihat pada gambar 4.11 berikut.



Gambar 4.12 Base Atas

8. Mecetak link yang memiliki ukuran Panjang 134 mm, lebar 20 mm dan tinggi 70,9 mm seperti terlihat pada gambar 4.12 berikut.



Gambar 4.13 Link

4. Mencetak end-effektor berupa casting bucket dan memiliki ukuran Panjang 105,5 mm, lebar 70,8 mm dan tinggi 30 mm. dapat dilihat pada gambar 4.13 berikut ini.



Gambar 4.14 end-effektor

5. Mencetak komponen pembantu servo berupa cover servo dan memiliki ukuran Panjang 53,6 mm lebar 20 mm tinggi 34 mm. Dapat dilihat pada gambar 4.14 dibawah ini.



Gambar 4.15 Cover Servo

6. Mencetak komponen pembantu servo berupa servo horn dan memiliki ukuran panjang 34.8 mm, lebar 20 mm, dan tebal 5.3 mm dapat dilihat pada gambar 4.15 dibawah ini.



Gambar 4.16 Servo Horn

4.4. Penghalusan Komponen Lengan Robot

Setelah dilakukan pembentukan komponen lengan robot berdasarkan desain yang telah dibuat. Terdapat kesalahan pencetakan akibat deflek dari printer, sehingga perlu penghalusan komponen agar sesuai dan dapat bekerja dengan baik satu sama lain. Adapun proses penghalusan berupa penghalusan manual menggunakan kikir seperti gambar 4.16 berikut.



Gambar 4.17 Penghalusan Komponen Lengan Robot

4.5. Penyesuaian Aktuator

Sebelum melakukan perakitan lengan robot, dilakukan penyesuaian sudut servo. Proses penyesuaian servo ini sangat penting agar servo dapat beroperasi sesuai dengan kebutuhan spesifik aplikasi. Hal ini karena servo yang digunakan memiliki batasan putaran maksimum sebesar 180 derajat, sehingga diperlukan konfigurasi khusus untuk memastikan penggunaan servo tersebut optimal.

Penyesuaian servo dilakukan dengan mengatur sudut 90 derajat pada setiap servo, yang kemudian dipasang dengan presisi di tengah-tengah komponen lengan robot di tempat diletakkannya aktuator. Dengan penempatan yang tepat ini, lengan robot akan dapat berputar sesuai dengan keinginan dan mengoptimalkan rentang gerakan yang tersedia dari servo.



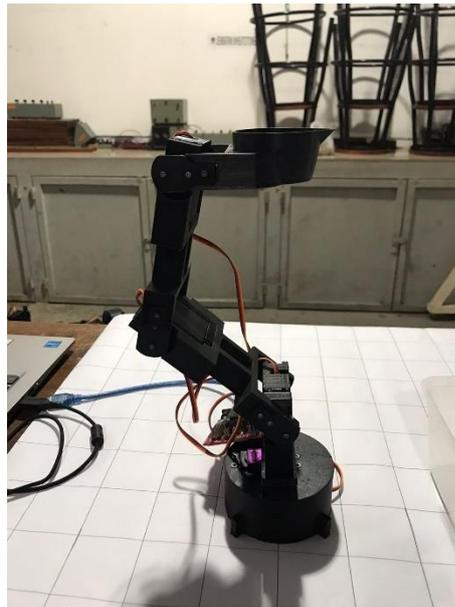
Gambar 4.18 Penyesuaian Motor Servo

Seperti pada gambar 4.17 di atas. Proses penyesuaian ini merupakan langkah kunci sebelum perakitan lengan robot dilakukan, karena kesesuaian yang tepat dari servo akan memastikan bahwa robot dapat berkinerja dengan baik dan akurat sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Dengan konfigurasi yang benar, lengan robot akan dapat menjalankan tugasnya dengan presisi dan efisiensi yang tinggi, meningkatkan kinerja keseluruhan dari sistem robotik yang dibangun.

4.6. Perakitan Lengan Robot

Setelah semua komponen telah dibuat dan disiapkan, selanjutnya adalah merakitnya menjadi satu kesatuan lengan robot. Proses perakitan ini membutuhkan kehati-hatian dan ketelitian untuk memastikan bahwa setiap komponen terpasang dengan benar dan sesuai dengan desain yang telah direncanakan sebelumnya. Pertama, base lengan robot diposisikan di platform atau struktur penyangga yang telah disiapkan. Kemudian, base atas dipasang di atas base dan link atau bagian utama dari lengan robot dipasang dengan menghubungkannya dengan base atas dan link lainnya. servo dipasang di setiap bagian yang sesuai dengan desain yang telah ditetapkan sebelumnya. Selanjutnya, end effector atau alat kerja dipasang di ujung lengan robot dengan memperhatikan posisi dan orientasi yang tepat untuk menjalankan fungsi yang diinginkan. Cover servo juga dipasang untuk melindungi

dan mengamankan servo di tempatnya. Setiap bagian yang terpasang kemudian diuji untuk memastikan bahwa lengan robot dapat bergerak dengan lancar dan melakukan fungsi yang diinginkan. Setelah semua komponen terpasang dengan baik dan lengan robot telah diuji, lengan robot siap untuk digunakan dalam aplikasi casting.



Gambar 4.19 Perakitan Lengan Robot

4.7. Pengujian Lengan Robot

Pengujian diawali dengan membuat simulasi lengan robot 4 dof untuk casting di matlab. Selanjutnya ditentukan titik yang akan diuji untuk aplikasi casting. Titik yang diuji merupakan titik ambil dan titik tuang pada casting. Titik-titik koordinat nantinya akan diukur penyimpangan atau errornya. Titik yang telah ditentukan akan disimulasikan menggunakan matlab untuk diambil sudut tiap jointnya.

Tabel 4.1 Hasil Sudut Joint

No.	Koordinat Simulasi (Input)			Sudut Joint (Output)			
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Aktuator 1 (°)	Aktuator 2 (°)	Aktuator 3 (°)	Aktuator 4 (°)

1	0	19	-2	90	45	15	44
2	-20	1	-3	177	35	35	25
3	0	20	-2	90	49	0	74
4	-17	9	-3	150	35	35	25
5	0	24	-3	90	18	59	36
6	19	3	-3	8	39	22	40
7	0	25	-4	90	21	34	79
8	17	8	-3	25	45	9	53

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Error Relatif Posisi

No.	Koordinat Simulasi			Koordinat Aktual			Error (%)
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	
1	0	19	-2	1,3	19,9	-3,2	5,75
2	-20	1	-3	-19,6	3,1	-5,1	8,681
3	0	20	-2	1,4	19,9	-3,3	5,542
4	-17	9	-3	-16,4	13,2	-4,65	13,187
5	0	24	-3	1,3	21,1	-5,2	11,197
6	19	3	-3	20,4	1,5	-5,1	8,505
7	0	25	-4	0,6	25,5	-4,95	3,563
8	17	8	-3	18,9	5	-4,2	10,858
Rata-Rata							8,410

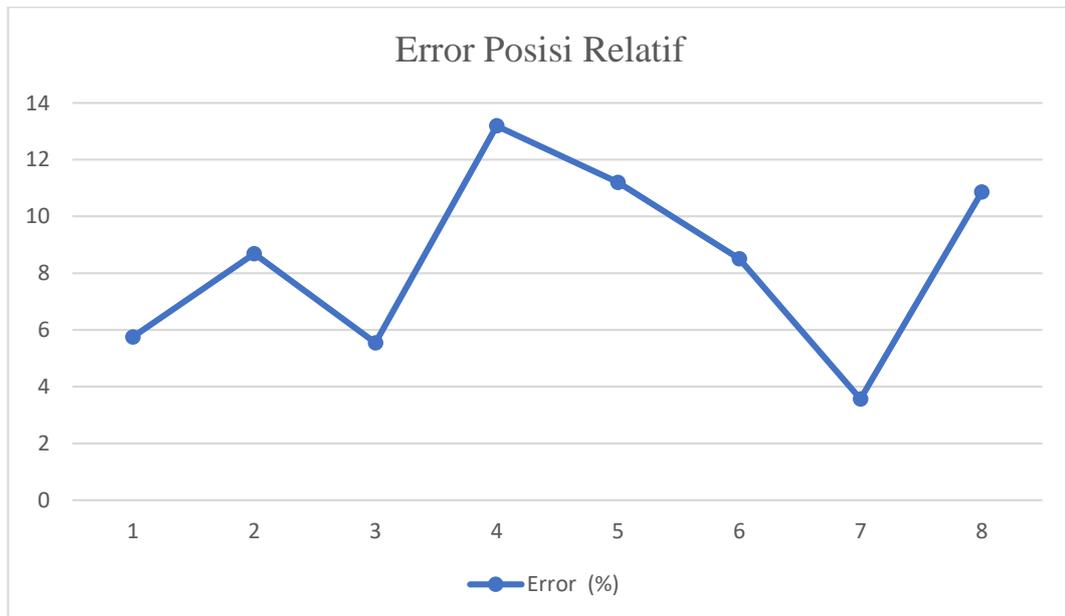
Setelah dilakukan pengujian titik posisi untuk penyolderan didapatkan error posisi lengan robot, error relatif posisi adalah penyimpangan posisi aktual end-

effector pada posisi tujuan. Error relatif posisi didapat dengan menggunakan norma euclidean dengan rumus 4.1 sebagai berikut :

$$\text{Error Posisi relatif} = \frac{\sqrt{(Xa-Xs)^2+(Ya-Ys)^2+(Za-Zs)^2}}{M} \times 100\% \dots\dots\dots(4.1)$$

- 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 = Jangkauan maksimal

Berdasarkan tabel 4.2. dengan jangkauan maksimal lengan robot yang dapat dicapai setiap sumbu yaitu 34,521. hasil penelitian menunjukkan dari 8 titik koordinat, rata-rata error relatif posisi yang didapat pada lengan robot 4 dof untuk casting adalah 8,41%. Dengan error maksimal 13.187%. error relative posisi dapat divisualisasikan sebagai berikut.



Gambar 4.20 Grafik Error Posisi Relatif

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. Error posisi setiap sumbu didapat dengan menggunakan norma euclidean dengan rumus 4.2, 4.3, dan 4.4 sebagai berikut :

$$\text{Error Posisi Sumbu X} = \frac{\sqrt{(Xa-Xs)^2}}{M} \times 100\% \dots \dots \dots (4.2)$$

$$\text{Error Posisi Sumbu Y} = \frac{\sqrt{(Ya-Ys)^2}}{M} \times 100\% \dots \dots \dots (4.3)$$

$$\text{Error Posisi Sumbu Z} = \frac{\sqrt{(Za-Zs)^2}}{M} \times 100\% \dots \dots \dots (4.4)$$

- 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
 - M = Jangkauan maksimal dengan jangkauan maksimal lengan robot yang dapat dicapai setiap sumbu yaitu 34,521

Tabel 4.3 Tabel Pengujian Invers Kinematic Pada Sumbu X

No	Simulasi Pada Sumbu X (Cm)	Aktual Pada Sumbu X (Cm)	Error Posisi Pada Sumbu X (%)
1	0	1,3	3,766
2	-20	-19,6	1,738
3	0	1,4	4,056
4	-17	-16,4	1,738

5	0	1,3	3,766
6	19	20,4	4,056
7	0	0,6	1,738
8	17	18,9	5,504
Rata-Rata			3,223

Tabel 4.4 Tabel Pengujian Invers Kinematic Pada Sumbu Y

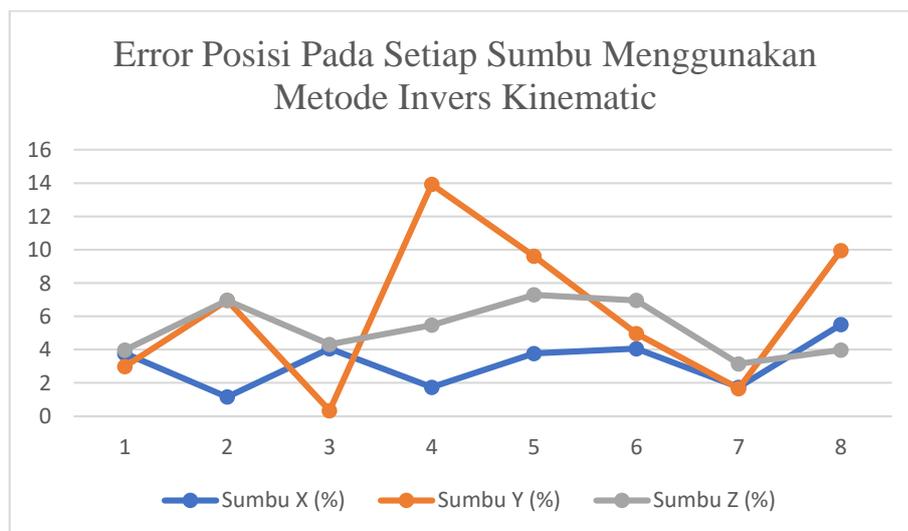
No	Simulasi Pada Sumbu Y (Cm)	Aktual Pada Sumbu Y (Cm)	Error Posisi Pada Sumbu Y (%)
1	19	19,9	2,607
2	1	3,1	6,083
3	20	19,9	0,290
4	9	13,2	12,167
5	24	21,1	8,401
6	3	1,5	4,345
7	25	25,5	1,448
8	8	5	8,690
Rata-Rata			5,504

Tabel 4.5 Tabel Pengujian Invers Kinematic Pada Sumbu Z

No	Simulasi Pada Sumbu Z (Cm)	Aktual Pada Sumbu Z (Cm)	Error Posisi Pada Sumbu Y (%)
1	-2	-3,2	3,476
2	-3	-5,1	6,083
3	-2	-3,3	3,766
4	-3	-4,65	4,780

5	-3	-5,2	6,373
6	-3	-5,1	6,083
7	-4	-4,95	2,752
8	-3	-4,2	3,476
Rata-Rata			4,599

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai error dari masing-masing sumbu. Pada sumbu x nilai error maksimal sebesar 5,504% dan error rata-rata 3,223%. Pada sumbu y nilai error maksimal sebesar 12,162% dan error rata-rata 5,504%. Pada sumbu z nilai error maksimal sebesar 6,373% dan error rata-rata 4,599%. Sumbu y memiliki error rata-rata terbesar yaitu 5,504%. Error rata-rata setiap sumbu digambarkan sebagai berikut.



Gambar 4.21 Grafik Error Posisi Setiap Sumbu

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Perancangan dan pembuatan lengan robot 4 DOF untuk casting dibuat menggunakan CAD Solidwork dengan membuat komponen-komponen lengan robot berupa base, base atas (upper base), link (lengan), end-effektor, dan cover servo. Komponen-komponen tersebut dibentuk dan disatukan hingga menjadi lengan robot. Komponen lengan robot dibuat menggunakan 3D printing dan menghasilkan base ukuran diameter 84,7 mm, tinggi 29 mm, dan ketebalan dinding 2.5 mm. Base atas memiliki ukuran panjang 84,8 mm, lebar 24,3 mm, tinggi 61 mm. link memiliki ukuran Panjang 134 mm, lebar 20 mm dan tinggi 70,9 mm. Bagian end-effektor memiliki ukuran Panjang 105,5 mm lebar 70,8 mm dan tinggi 30 mm.
2. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata erro relatif posis sebesar 8,41%. Pada sumbu x nilai error maksimal sebesar 5,504% dan error rata-rata 3,223%. Pada sumbu y nilai error maksimal sebesar 12,162% dan error rata-rata 5,504%. Pada sumbu z nilai error maksimal sebesar 6,373% dan error rata-rata 4,599%. Sumbu y memiliki error rata-rata terbesar yaitu 5,504%.

5.2 Saran

Adapun saran dalam penelitian ini adalah lebih baik menggunakan servo yang lebih baik. menggunakan alat ukur yang akurat untuk mengukur titik koordinat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, M., & Suprianto, B. (2020). Rancang Bangun Trainable Servo Robotic Arm 4 DOF (Degree Of Freedom). *Teknik Elektro*, 9(2), 321–329.
- Craig, J. J. (2005). *Introduction to Robotics Mechanics and Control Third Edition* (M. J. Horton, Ed.; 3rd ed.). Pearson Prentice Hall.
- Djaya Siswaja, H. (2008). Prinsip Kerja Dan Klasifikasi Robot. *Media Informatika*, 7(3), 147–157.
- Firman, F. (2014). Perancangan Lengan Robot 5 Derajat Kebebasan Dengan Pendekatan Kinematika. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 11(2). <https://doi.org/10.17529/jre.v11i2.2309>
- Hammad Zaki, Gokhan alkan, & Mustafa Unel. (2019). Robust trajectory control of an unmanned aerial vehicle using acceleration feedback. *International Journal of Mechatronics and Manufacturing Systems*, 12(3), 298–317.
- Harpad, B., Widya Cipta Dharma, S., Yamin No, J. M., & Sur-el, S. (2020). Prototype Lengan Robot Berbasis Arduino Dengan Menggunakan Algoritma Kinematics. *Jurnal Ilmiah MATRIK*, 22(2).
- Hasan, M. A., Sinaga, K., Pamungkas, D. S., Elektro, J., Batam, N., Centre, B., Yani, J. A., Tering, T., Kota, K. B., & Batam, K. (2020). Invers Kinematik Robot Arm 4 DOF Menggunakan Sensor Leap Motion. *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Ke-6 ISAS Publishing Series: Engineering and Science*, 6(1).
- 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 Mikrokontroller*. Edukasi Mitra Grafika.
- Muslimin, selamat, & Wijarnako, Y. (2014). Penerapan Flex-Sensor Pada Lengan Robot Berjari Pengikut Gerak Lengan Manusia Berbasis Mikrokontroler. *Politeknik Astra*, 5(2).
- 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>
- Stefanescu, D. M. (2015). *Sciences And Engineering Of Casting Solidification*. Springer.

- Sudiyanto, A., & Shiddiq, N. A. (2022). Proses Pengecoran Logam Dan Analisa Cacat Pada Produk. *Teknik Metalurgi*.
- Suprpto, W. (2017). *Teknologi Pengecoran Logam*. UB Press.
- Wardhani, D., Dwi Wardihani, E., Suharjono, A., Elektro Politeknik Negeri Semarang Jalan Soedarto, J. H., & Tembalang, S. (2016). Sistem Tracking Robot Pada Rule Terbatas Menggunakan GPS Tracker Berbasis Android. In *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif SEMARANG* (Vol. 01).
- Winarno, & Arifianto, D. (2011). *Bikin Robot Itu Gampang*. Kawan Pustaka.

LAMPIRAN

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

WANCANG BANGUN LENGAN (ARM) ROBOT 4 DEGREES OF FREEDOM UNTUK PROSES CASTING

Nama : Agung Tri Taruna
NPM : 1907230166
Dosen Pembimbing : Khairul Ummurani, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	3/5 2023	Revisi latar belakang dan Tujuan	h
2	14/6 2023	Perbaiki Bab 2	h
3	26/6 2023	Perbaiki Alat/Bahan dan Prosedur	h
4	3/7 2023	ACC, Seminar Proposal	h
5	9/1 2024	Perbaiki Bab 3	h
6	7/2 2024	Perbaiki Bab 4	h
7	22/2 2024	Revisi kesimpulan	h
8	30/4 - 2024	- Acc, seminar final	h
9	30/5 - 2024	- Acc, sidang	h

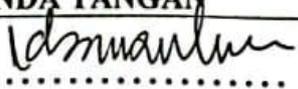
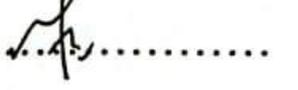
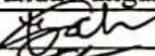
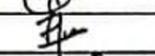
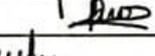
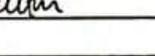
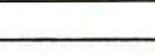
**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2023 – 2024**

Peserta seminar

Nama : Agung Tri Taruna

NPM : 1907230166

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

DAFTAR HADIR			TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Khairul Umurani, ST, MT		 
Pembanding – I : Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT		 
Pembanding – II : H. Muharnif, ST, M.Sc		 
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1907230002	TACHU AZMI	
2	1907230047	MUHAMMAD FIKRI	
3	1907230159	Riza Sahlayni	
4	1907230163	RENDY KURNIAWAN	
5	1907230104	RUSTAM EFENDI	
6	1907230089	ANGGA SYAHPUTRA	
7			
8			
9			
10			

Medan, 29 Syawal 1445 H
08 Mei 2024 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

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

Nama : Agung Tri Taruna
NPM : 1907230166
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Lengan (ARM) Robot 4 Degrees Of Freedom Untuk Proses Casting

Dosen Pembanding – I : Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT
Dosen Pembanding – II : H. Muharnif, ST, M.Sc
Dosen Pembimbing – I : Khairul Umurani, ST, MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
- ② Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain : *perbaiki*
.....
- perjelas angka-angka di kesimpulan
.....
pada Bab 4
.....
.....
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....
.....

Medan, 29 Syawal 1445 H
08 Mei 2024 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- I



Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT

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

Nama : Agung Tri Taruna
NPM : 1907230166
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Lengan (ARM) Robot 4 Degrees Of Freedom Untuk Proses Casting

Dosen Pembanding – I : Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT
Dosen Pembanding – II : H. Muharnif, ST, M.Sc
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:
Lihat buku scrap.
.....
.....
.....
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....
.....

Medan 29 Syawal 1445 H
08 Mei 2024 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- II



H. Muharnif, ST, M.Sc

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama : Agung Tri Taruna
NPM : 1907230166
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 23 September 2001
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Kewarganegaraan : Indonesia
Status Perkawinan : Belum Kawin
Alamat : Jln. Kongsu Gang Genteng Marindal I
Kecamatan : Patumbak
Kabupaten : Deli Serdang
Provinsi : Sumatra Utara
Nomor Hp : 082370375590
E-mail : agungtrii270@gmail.com
Nama Orang Tua
Ayah : Wardiman
Ibu : Mujinem

PENDIDIKAN FORMAL

1. SDN 106165 Marindal I : Tahun 2007-2013
2. MTS EX PGA Proyek Univa Medan : Tahun 2013-2016
3. SMKN 2 Medan : Tahun 2016-2019
4. Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara : Tahun 2019-2024