

# **TUGAS AKHIR**

## **ANALISIS NUMERIK LENGAN ROBOT 3-DOF (*DEGREE OF FREEDOM*) UNTUK KEBUTUHAN ROBOT SAR**

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

**Disusun Oleh:**

**ATIF JUANTORO**  
**2007230161**



**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

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



## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Atif Juantoro  
NPM : 2007230161  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Tugas Akhir : Analisis Numerik Lengan Robot 3-DOF(*DEGREE OF FREEDOM*) Untuk Kebutuhan Robot SAR  
Bidang ilmu : Konstruksi Manufaktur

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

Medan, 11 September 2024

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I

(H. Muharnif M, S.T., M.Sc)

Dosen Peguji II

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

Dosen Penguji III

(Affandi, S.T., M.T)

Program Studi Teknik Mesin  
Ketua

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

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Atif Juantoro  
NPM : 2007230161  
Tempat / Tanggal Lahir : Kabun, 28 September 2001  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul :

### **"ANALISIS NUMERIK LENGAN ROBOT 3-DOF (*DEGREE OF FREEDOM*) UNTUK KEBUTUHAN ROBOT SAR "**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karna hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain yang pada hakikatnya bukan merupakan karya tulis tugas akhir secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia di proses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan / keserjanaan 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, 11 September 2024



Atif Juantoro

## ABSTRAK

Indonesia merupakan negara dengan risiko tinggi terhadap bencana alam seperti gempa bumi dan tsunami yang sering kali menimbulkan korban jiwa dan kerusakan infrastruktur. Untuk mendukung proses penyelamatan di wilayah terdampak bencana, dilakukan bagaimana cara menganalisis Numerik dan membuat desain lengan Robot 3-DoF (Degree of Freedom) serta melakukan identifikasi kekuatan struktur lengan Robot 3-DoF untuk melakukan tugas dalam pencarian, penyelamatan korban pada suatu daerah bencana. Dalam penelitian ini riset berfokus terhadap uji statis pada material lengan Robot 3-DoF. Penelitian ini bertujuan untuk membuat desain lengan 3-DOF serta menganalisis beban statis untuk melakukan identifikasi kekuatan struktur lengan 3-DoF yang akan digunakan dalam robot SAR, guna membantu pencarian dan evakuasi korban. Analisis numerik digunakan untuk mengevaluasi kekuatan struktur lengan robot, serta dilakukan simulasi beban statis menggunakan perangkat lunak SolidWorks dan Ansys. Hasil penelitian diharapkan menghasilkan desain yang optimal, efisien, dan tahan terhadap kondisi ekstrem di lapangan. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teknologi robotik yang lebih maju dan efektif untuk mitigasi bencana, khususnya di Indonesia.

**Kata Kunci:** Lengan Robot, 3 Degree of Freedom, Robot SAR, Analisis Numerik, Uji Statis

## ABSTRACT

*Indonesia is a country with a high risk of natural disasters such as earthquakes and sunami which often cause casualties and infrastructure damage. To support the rescue process in disaster-affected areas, how to numerically analyze and design a 3-DoF (Degree of Freedom) Robot arm and identify the strength of the 3-DoF Robot arm structure to perform tasks in searching, rescuing victims in a disaster area. In this research, the research focuses on static tests on the 3-DoF Robot arm material. This research aims to create a 3-DOF arm design and analyze static loads to identify the strength of the 3-DoF arm structure that will be used in SAR robots, to help search and evacuate victims. Numerical analysis is used to evaluate the strength of the robot arm structure, and static load simulation is carried out using SolidWorks and Ansys software. The research results are expected to produce a design that is optimal, efficient, and resistant to extreme conditions in the field. This research contributes to the development of more advanced and effective robotic technology for disaster mitigation, especially in Indonesia.*

**Keywords:** Robot Arm, 3 Degree of Freedom, SAR Robot, Numerical Analysis, Static Test

## 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 Tugas Akhir penelitian ini dengan judul "ANALISIS NUMERIK LENGAN ROBOT 3-DOF (*DEGREE OF FREEDOM*) UNTUK KEBUTUHAN ROBOT SAR".

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

1. Bapak Affandi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir penulis yang selalu memberikan masukan, motivasi, serta ilmu yang bermanfaat bagi penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir.
2. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Ketua prodi dan selaku dosen Pembanding II Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan bimbingan dalam penyelesaian Tugas Akhir penelitian penulis.
3. Bapak Ahmad Marabdi, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan nasehat dan bimbingan dalam penyelesaian Tugas Akhir penelitian penulis.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang terus mendukung seluruh kegiatan mahasiswa/i Fakultas Teknik dalam proses perkuliahan.
5. Bapak H. Muharnif M., S.T., M.Sc, Selaku Dosen Pembanding I, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dalam penyelesaian Tugas Akhir penelitian penulis.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan banyak ilmu keteknik mesinan kepada penulis.
7. Orang tua penulis: Bapak (Julianto) dan Ibu (Yamliah), selaku kedua orang tua penulis yang selalu memberikan doa terbaiknya yang tiada henti untuk

kesuksesan, keberhasilan dan membiayai Studi penulis selama proses perkuliahan.

8. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan administrasi selama proses perkuliahan.
9. Bapak Iqbal Tanjung, S.T., M.T., Bapak Rahmat Fauzi Siregar, S. T., M. T., yang telah memberikan banyak ilmu, saran dan motivasi kepada penulis untuk terus semangat dalam berproses selama perkuliahan.
10. Abang Dwiki Chandra, Septian, Aulia, dan Raihan Syahputra, selaku grup mesin yang terus memberikan semangat dan motivasi.
11. Abangda Hassanul Arifin, Muhammad Rizki suma, Fadli Dwi Yulianto, Rio Satya, Fauzan Wahyu Putra, Fiqri Haikal Lubis, selaku teman-teman seperjuangan penulis selama perkuliahan di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
12. Teman-teman penulis di kelas C1-Pagi Teknik Mesin yang terus bersama-sama menjaga solidaritas dan semangat selama proses perkuliahan.

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 Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 11 September 2024



Atif Juantoro





## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>viii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>5</b>
2.1 Lengan Robot SAR	5
2.1 Perangkat keras Lengan Robot 3 DOF	7
2.2 Sistem Kendali	12
2.4 <i>Solidworks</i>	13
2.5 <i>Ansys</i>	13
2.6 Metode Elemen Hingga	14
2.7 Tegangan	18
2.8 Regangan	19
2.9 Beban statis	20
2.10 Von Mises	21
2.11 Deformation	22
2.12 Analisis Dimensional	23
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b>	<b>26</b>
3.1 Tempat dan Waktu	26
3.1.1 Tempat Penelitian	26
3.1.2 Waktu Penelitian	26
3.2 Bahan dan Alat Penelitian	27
3.3 Bagan Alir Penelitian	29
3.4 Rancangan penelitian	30
3.5 Prosedur Penelitian	31
3.6 Variabel yang akan diteliti	32
<b>BAB 4</b>	<b>33</b>
4.1 Hasil Desain Lengan Robot 3-DOF	33
4.2 Hasil Pengujian Simulasi Menggunakan Ansys Leg 1, Leg 2, Leg 3	34
4.3 Hasil pengujian kekuatan Struktur Lengan Robot 3-Dof	45

4.4 Hasil Simulasi Kontak Pada Lengan Robot 3-Dof	54
<b>BAB 5</b>	<b>57</b>
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>59</b>
<b>Lampiran 1. Lembar Asistensi</b>	
<b>Lampiran 2. Sk Pembimbing</b>	
<b>Lampiran 3. Berita Acara Seminar Hasil Penelitian</b>	
<b>Lampiran 4. Daftar Riwayat Hidup</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Data Teknik Board Arduino Mega 2560	7
Tabel 3.1 Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian	13

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Ilustrasi Link dan Joint(NtoUchrowi et al., 2019).	6
Gambar 2.2. Diagram Blok Kinematika(NtoUchrowi et al., 2019).	7
Gambar 2.3. Board Mikrokontroler Arduino type atmega 2560(L et al., 2020)	10
Gambar 2.4 Blok Diagram dari Servo Motor(Passive et al., 2017)	11
Gambar 2.5 Motor Servo tipe SG90(Passive et al., 2017)	11
Gambar 2.6 Bentuk sensor ultrasonic(Arief, 2011)	11
Gambar 2.7 Blok Diagram Kendali lengan Robot 4 DOF(Diatas, 2022)	13
Gambar 2.8 Software Ansys (Darianto et al., 2019)	14
Gambar 2.9 Proses Pengerjaan pada Metode Elemen Hingga (Sonief, 2005.)	15
Gambar 2.10 Grafik Hubungan Stress dengan Strain(Irawan et al., 2016).	20
Gambar 2.11 Hasil Simulasi Chassis Robot AGV (Deformation)	23
Gambar 3.4. PET (Polietilena tereftalat)	27
Gambar 3.5. Komputer	27
Gambar 3.6. Software Solidworks	28
Gambar 3.7. Software Ansys.	28
Gambar 3.8 Diagram Alir Penelitian.	29
Gambar 3.9 Lengan Robot SAR	30
Gambar 3.10 Desain lengan robot	31
Gambar 4.1. Desain Leg 1	33
Gambar 4.2. Desain Leg 2	33
Gambar 4.3. Desain Leg 3	34
Gambar 4.4 Hasil simulasi Total <i>Deformation</i> (a) dan (b)	34
Gambar 4.5 Hasil simulasi <i>Equivalent Elastic Strain</i> (a) dan (b)	36
Gambar 4.6 Hasil simulasi <i>von mises stress</i> (a) dan (b)	37
Gambar 4.7 Hasil simulasi total <i>deformation</i> (a) dan (b).	38
Gambar 4.8 Hasil simulasi <i>Equivalent Elastic Strain</i> (a) dan (b)	39
Gambar 4.9 Hasil simulasi <i>Von Mises stress</i> (a) dan (b)	40
Gambar 4.10 Hasil simulasi Total <i>deformation</i> (a) dan (b)	42
Gambar 4.11 Hasil simulasi <i>Equivalent Elastic Strain</i> (a) dan (b)	43
Gambar 4.12 Hasil simulasi <i>Von Mises stress</i> (a) dan (b)	44
Gambar 4.13 Hasil simulasi kekuatan struktur Leg 1 Total <i>Deformation</i>	45
Gambar 4.14 Hasil simulasi kekuatan struktur Leg 1 <i>Equivalent Elastic Strain</i>	46
Gambar 4.15 Hasil simulasi kekuatan struktur Leg 1 <i>Von Mises stress</i>	47
Gambar 4.16. Hasil simulasi kekuatan struktur Leg 2 Total <i>Deformation</i>	48
Gambar 4.17. Hasil simulasi kekuatan struktur Leg 2 <i>Equivalent Elastic Strain</i> .	49
Gambar 4.18. Hasil simulasi kekuatan struktur Leg 2 <i>Von Mises Stress</i>	50
Gambar 4.19. Hasil simulasi kekuatan struktur Leg 3 Total <i>Deformation</i>	51
Gambar 4.20. Hasil simulasi kekuatan struktur <i>Equivalent Elastic Strain</i> Leg 3	52
Gambar 4.21. Hasil simulasi kekuatan struktur Leg 3 <i>von mises stress</i>	53
Gambar 4.22 Hasil Simulasi Von Mises	54
Gambar 4.23 Hasil Simulasi Kontak <i>Equivalent Strain</i>	55
Gambar 4.24 Hasil simulasi Kontak <i>Deformation</i>	56

## DAFTAR NOTASI

F = Gaya (N)

a = Percepatan ( $\frac{m}{s^2}$ )

S = jarak ( $.t^2$ )

V = kecepatan

t = selisih waktu

$A_e$  = luas penampang melintang

$E_e$  = modulus Young

K= matriks kekakuan struktur

Q = vektor perpindahan

F = merupakan vektor beban.

$\sigma$  = Tegangan ( $N/m^2$ )

F = Gaya yang bekerja (N)

E = Regangan

I-Io = Pertambahan panjang dari panjang awal (m)

Io = Panjang awal (m)

$\theta$  = Sudut

$J_2$  = Tegangan

J = Yield kondisi Von-Mises ( $N/m^2$ )

k = Tegangan luluh bahan pada geser murni ( $N/m^2$ )

$\sigma$  = Tegangan tarik bahan ( $N/m^2$ )







# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang secara geografis terletak pada pertemuan empat lempeng tektonik yaitu lempeng Indo Australia, Eurasia dan Pasifik. Pada bagian selatan dan timur Indonesia terdapat sabuk vulkanik yang berupa pegunungan vulkanik. Kondisi tersebut menyebabkan Indonesia sangat rawan terhadap bencana seperti letusan gunung berapi, gempa bumi, tsunami, banjir dan tanah longsor. Bahkan dari data United States Geological Survey (USGS) menunjukkan bahwa Indonesia merupakan salah satu Negara yang memiliki tingkat kegempaan tertinggi di dunia (Anggraini & Akib, 2021).

Bencana alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah longsor. Berdasarkan definisi di atas maka potensi bencana adalah keadaan, atau kondisi alam yang memungkinkan terjadinya bencana. Misalnya kondisi tanah yang labil dengan lereng yang curam adalah daerah yang rawan longsor, apabila terjadi cuaca ekstrim berupa curah hujan yang tinggi maka kemungkinan akan terjadi longsor (Sulistyo, 2016).

Proses evakuasi korban pasca bencana harus segera dilakukan untuk mengurangi resiko yang ditimbulkan akibat bencana tersebut seperti banyaknya jatuh korban jiwa akibat terlambatnya proses evakuasi. Pasca bencana, tim SAR (*Search And Rescue*) akan memberikan pertolongan kepada para korban bencana dengan mengarahkan tim SAR, namun hal ini sangat beresiko bagi keselamatan jiwa tim SAR itu sendiri karena lokasi yang ditinjau masih sangat berbahaya dan dikhawatirkan terjadi bencana susulan maupun jatuhnya korban jiwa dari tim SAR (Sausan et al., 2017).

Robot SAR (*Search and Rescue*) adalah robot yang dirancang khusus untuk membantu dalam misi pencarian dan penyelamatan, terutama di lingkungan berbahaya atau sulit diakses oleh manusia, seperti area bencana alam, bangunan yang runtuh. Pengembangan dan penerapannya terus berkembang seiring dengan

kemajuan teknologi sensor, kecerdasan buatan, dan kemampuan otonom yang semakin canggih. Hal tersebut dilakukan dengan sasaran tersedianya robot bencana yang harus berfungsi seperti yang dibutuhkan di medan bencana, memiliki ukuran yang cukup ringan untuk dibawa ke medan bencana, memiliki mekanisme gerak dan bentuk baru sehingga cukup fleksibel untuk memasuki daerah bencana yang sempit, berubah-ubah secara dinamis dan tidak beraturan (Kuswadi & Sigit, 2020).

Pada penelitian Syadza Sausan, melakukan perancangan Robot pointer (RoPo) yang diaplikasikan pasca bencana untuk mendeteksi korban bencana. Sistem ini juga mampu mengirimkan informasi-informasi seperti posisi korban dan lokasi RoPo tersebut ke posko Tim SAR untuk dilakukan tindakan lanjutan. Ropo telah mampu dikendalikan menggunakan smartphone melalui media bluetooth dengan jarak kendali maksimum 10 meter dan dapat dikembangkan dengan menggunakan perangkat kendali yang lebih jauh lagi dengan menggunakan Radio Frequency (RF) (Aulia et al., 2021). Kemudian dalam pengembangan perencanaan jalur robot merupakan elemen penting dalam sistem robotika. Perencanaan jalur robot bertujuan untuk memberikan kemampuan dan kekuatan robot dalam melakukan gerak sesuai dengan ketentuan yang telah dibuat. Sehingga, robot dapat bergerak secara otomatis dari titik awal menuju tujuan. Teknik perencanaan jalur robot secara klasik memiliki beberapa masalah, yaitu biaya yang besar dan waktu komputasi yang tinggi (Mardiyanto et al., 2020).

Robot 5 DOF (*Degree of Freedom*) merupakan sistem yang dapat diprogram dengan fungsi yang mirip dengan lengan manusia. Pergerakan pada lengan robot 5 DOF ditentukan dari putaran motorservo yang saling berkaitan satu dengan yang lainnya. Putaran motor servo diatur oleh mikrokontroler. Pengaturan data gerakan lengan robot pada mikrokontroler tergantung dari sistem gerakan yang diinginkan (Amelia et al., 2021).

Robot 4 DoF (*Degree of Freedom*) adalah robot manipulator yang memiliki empat sendi yang dapat bergerak ditambah dengan satu pencapit (gripper) pada ujung lengan robot yang berfungsi sebagai pencengkram barang (Anggi & Iklima, 2021).

7 DOF (*Degree of Freedom*) atau 7 derajat kebebasan mengacu pada jumlah total gerakan independen yang dapat dilakukan oleh suatu benda atau sistem

mekanis di ruang tiga dimensi. Dalam konteks robotika atau manipulasi objek, DOF menggambarkan gerakan yang dapat dilakukan oleh robot atau perangkat mekanis. Gerakan ini terbagi ke dalam dua kategori besar: translasi (gerakan linier) dan rotasi (gerakan sudut). Mulai banyak dibuat karena memiliki tingkat fleksibilitas yang tinggi dibanding dengan yang sebelumnya. 7 DOF dapat bergerak ke atas, bawah, maju, mundur, ke samping, dan dapat memutar setiap bagian lengannya, termasuk memutar pergelangan tangan dan menyesuaikan cengkeraman. Pada kasus multi manipulator 7 DOF (*Degree of Freedom*) merupakan jenis manipulator yang memiliki keistimewaan dalam hal joint (Nur Akhliis Sarihidaya Laksana et al., 2022).

3 DOF (*Degree of Freedom*) berarti tiga derajat kebebasan dalam konteks robotika, ini mengacu pada sejumlah parameter independen yang menentukan konfigurasi sistem mekanis. Misalnya robot dengan 3 DOF dilengannya dapat bergerak dalam tiga cara berbeda. Robot SAR yang digunakan untuk mendeteksi korban bencana alam, selain itu Robot SAR cukup memerlukan 3 gerakan yaitu atas/bawah, kiri/kanan, maju/mundur. Memiliki 3 dof di setiap kaki memungkinkan gerakan yang lebih kompleks dan alami, berkontribusi terhadap stabilitas dan ketangkasan (Amir & Suwardoyo, 2023).

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, adapun penelitian ini adalah untuk mengetahui pengembangan teknologi Robotika dalam menangani korban bencana dan mengevakuasi penyelamatan korban. Sebagai perwujudan dari penerapan pemikiran tersebut maka penulis memilih judul. "*Analisis numerik lengan robot 3-dof (degree of freedom) untuk kebutuhan Robot sar*".

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah ini adalah membuat desain lengan Robot 3-DoF (Degree of Freedom) dan menganalisis Numerik serta melakukan identifikasi kekuatan struktur lengan Robot 3-DoF untuk melakukan tugas dalam melakukan pencarian dan penyelamatan korban pada suatu daerah bencana.

## 1.3 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup pada penelitian ini adalah riset berfokus terhadap uji statis pada material lengan Robot 3-DoF (Degree of Freedom) untuk mengetahui

kekuatan lengan robot dalam pencarian dan penyelamatan korban pada suatu daerah bencana.

#### 1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

- 1) Untuk membuat desain lengan 3-DOF untuk kebutuhan ROBOT SAR.
- 2) Untuk menganalisis kekuatan material berbahan PET pada lengan 3-DOF untuk kebutuhan ROBOT SAR.

#### 1.5 Manfaat

- 1) Dapat membuat desain lengan 3-DOF untuk kebutuhan ROBOT SAR.
- 2) Dapat menganalisis beban statik pada lengan 3-DOF untuk kebutuhan ROBOT SAR.
- 3) Membantu tim USAR (*Urban Search and Rescue*) untuk melakukan tugasnya dalam melakukan pencarian dan penyelamatan korban pada suatu daerah bencana.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### 2.1 Lengan Robot SAR

Lengan robot sering disebut juga robot manipulator. Robot manipulator merupakan gabungan dari beberapa segmen dan *joint* yang secara umum dibagi menjadi 3 bagian yaitu arm, wrist, dan gripper. Robot lengan adalah robot mekanik yang gerakannya dibuat menyerupai anatomi lengan manusia. Robot lengan memiliki beberapa sendi pergerakan dan pencengkram (*gripper*) yang disesuaikan dengan kebutuhan. Robot lengan juga memiliki komponen-komponen lain sebagai bagian pembentuknya seperti aktuator dan kontroler. Robot lengan juga memiliki derajat kebebasan yang berfungsi menentukan banyaknya gerakan pada robot tersebut (Budiman et al., 2022).

Derajat kebebasan gerak atau Degree of Freedom (DOF) dari sebuah sistem robotik dapat dibandingkan dengan bagaimana tubuh manusia bergerak. Sama halnya dengan manusia, untuk setiap derajat kebebasan gerak pada robot, dibutuhkan sebuah sendi. Secara umum total derajat kebebasan gerak yang dibutuhkan untuk menggerakkan sebuah lengan robot adalah enam buah. Terdapat tiga buah derajat kebebasan gerak yang terletak pada lengan, antara lain yaitu rotational reverse, radial transverse, dan vertical transverse. Terdapat pula tiga buah derajat kebebasan gerak yang terletak pada pergelangan tangan, antara lain yaitu pitch, roll, dan yaw (NtoUchrowi et al., 2019).

Analisis Numerik adalah salah satu cabang matematik yang memecahkan masalah berkelanjutan dengan menggunakan pendekatan numerik. Hal ini melibatkan perancangan metode yang tidak mungkin atau sangat sulit dihitung termasuk metode elemen hingga pada komponen lengan robot yang saling berintraksi atau saling memiliki kontak

Adapun beberapa dasar teori untuk mendukung penelitian ini adalah sebagai berikut.

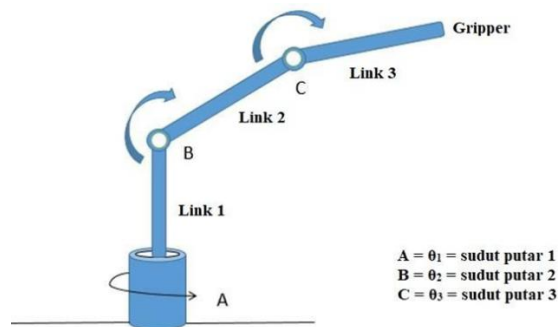
a) Metode numerik

Metode numerik dalam konteks robotika adalah penggunaan teknik-teknik matematika dan komputasi untuk memodelkan, menganalisis, dan merencanakan

perilaku robot. Simulasi numerik merupakan metode kritis dalam pengembangan dan analisis sistem robot autonom, terutama untuk memodelkan perilaku sistem dinamis yang kompleks. Metode numerik dilakukan dengan komputasi numerik, misalnya penggunaan matriks Jacobian iteratif, untuk meninjau relasi antara perubahan pose inkremental end-effector dan perubahan parameter DH pada lengan robot (Budiman et al., 2022).

b) Link dan Joint

Link merupakan bagian-bagian kerangka kaku yang dihubungkan secara bersamaan sehingga membentuk suatu rangkaian robot. Sedangkan joint (sendi) yaitu koneksi antar link yang dapat menentukan pergerakan. Gambar 1 menunjukkan bagian link dan joint pada suatu robot lengan.



Gambar 2.1. Ilustrasi Link dan Joint(NtoUchrowi et al., 2019).

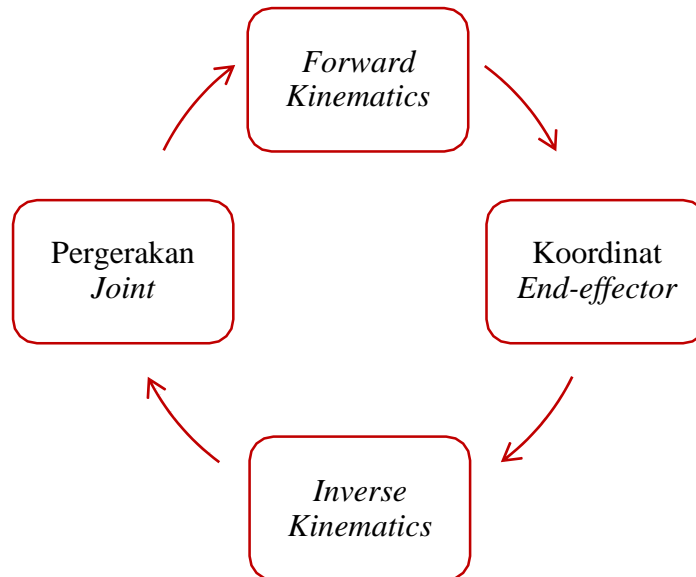
c) Derajat Kebebasan Gerak

Derajat kebebasan gerak atau *Degree of Freedom* (DOF) dari sebuah sistem robotic 3 DOF adalah yang berarti jumlah derajat kebebasan pada sebuah sistem mekanik atau robot. Dalam konteks robotika, 3 DOF mengacu pada jumlah derajat kebebasan pada sebuah robot yang dapat bergerak dalam tiga arah yang berbeda. Sebagai contoh, robot lengan dengan 3 DOF dapat bergerak ke depan dan belakang, ke kiri dan kanan, serta naik dan turun. Jumlah DOF pada sebuah robot dapat bervariasi tergantung pada desain dan fungsi robot tersebut. Semakin banyak DOF pada sebuah robot, semakin kompleks dan fleksibel robot tersebut dalam melakukan tugas-tugas yang berbeda.

d) Kinematika Robot

Kinematika robot adalah studi analisis pergerakan kaki atau lengan robot terhadap sistem kerangka koordinat acuan yang diam/bergerak tanpa

memperhatikan gaya yang menyebabkan pergerakan tersebut. Model kinematika merepresentasikan hubungan end effector dalam ruang tiga dimensi dengan variabel sendi dalam ruang sendi (Balisranislam et al., 2021). Gambar 4 menunjukkan diagram blok sederhana dari konsep kinematika robot.



Gambar 2.2. Diagram Blok Kinematika (NtoUchrowi et al., 2019).

e) *Forward Kinematics*

Kinematika maju atau *forward kinematics* merupakan suatu proses menghitung posisi dari *end-effector* berdasarkan sudut-sudut *joint* yang diketahui dengan keluaran berupa koordinat *end-effector*.

f) *Solidworks*

*Solidworks* adalah Software CAD 3D yang dikembangkan oleh Solidworkss Corporation yang sekarang sudah diakuisisi oleh Dassault Sistem. Solidworks merupakan salah satu 3D CAD yang sangat populer saat ini di Indonesia sudah banyak sekali perusahaan-perusahaan manufacturing yang mengimplementasikan software solidworks.

## 2.1 Perangkat keras Lengan Robot 3 DOF

a) Arduino Uno

Arduino adalah platform pembuatan prototipe elektronik yang bersifat open-source hardware yang berdasarkan pada perangkat keras dan perangkat lunak yang

fleksibel dan mudah digunakan. Arduino ditujukan bagi para seniman, desainer, dan siapapun yang tertarik dalam menciptakan objek atau lingkungan yang interaktif (BMKG, 2016).

Menurut Sulaiman (2012:1), Arduino merupakan platform yang terdiri dari software dan hardware. Hardware Arduino sama dengan mikrocontroller pada umumnya hanya pada arduino ditambahkan penamaan pin agar mudah diingat. Software Arduino merupakan software open source sehingga dapat di download secara gratis. Software ini digunakan untuk membuat dan memasukkan program ke dalam Arduino.

Pemrograman Arduino tidak sebanyak tahapan mikrocontroller konvensional karena Arduino sudah didesain mudah untuk dipelajari, sehingga para pemula dapat mulai belajar mikrocontroller dengan Arduino. Arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik *opensource* yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrocontroller dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel.

Mikrocontroller Arduino merupakan salah satu board mikrocontroller yang sangat populer dan sudah diakui keunggulannya. Kemudahan dalam pemrograman, harganya yang relatif murah, software dan hardwarenya yang bersifat open-source menjadikan mikrocontroller ini paling banyak digunakan di dunia(L et al., 2020). Secara umum Arduino terdiri dari dua bagian, yaitu:

- a. Hardware berupa papan input/output (I/O) yang open source.
- b. Software Arduino yang juga open source, meliputi software Arduino IDE
- c. untuk menulis program dan driver untuk koneksi dengan computer.



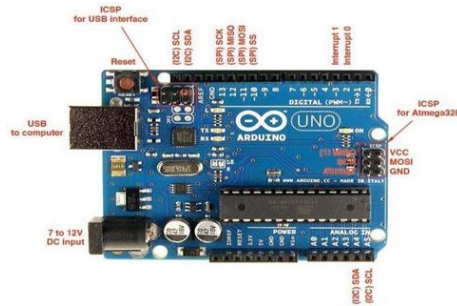
Adapun data teknis board Arduino Mega2560 adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1. Data Teknik Board Arduino Mega 2560

Digital I/O Pins provide	54 (of which 15 PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

Arduino Mega2560 Revisi 3 memiliki fitur-fitur baru berikut:

- a. 1.0 pinout : Ditambahkan pin SDA dan pin SCL yang dekat dengan pin AREF dan dua pin baru lainnya ditempatkan dekat dengan pin RESET, IOREF memungkinkan shield untuk beradaptasi dengan tegangan yang tersedia pada papan. Di masa depan, shield akan kompatibel baik dengan papan yang menggunakan AVR yang beroperasi dengan 5 Volt dan dengan Arduino Due yang beroperasi dengan tegangan 3.3 Volt. Dan ada dua pin yang tidak terhubung, yang disediakan untuk tujuan masa depan.
- b. Sirkuit RESET.
- c. Chip ATmega16U2 menggantikan chipATmega8U2.



Gambar 2.3. Board Mikrokontroler Arduino type atmega 2560(L et al., 2020)

b) Motor Servo

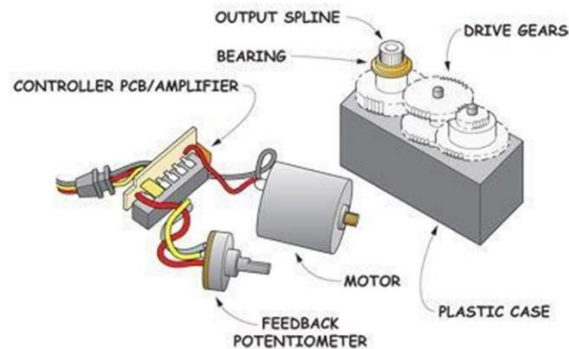
Motor servo merupakan motor DC yang mempunyai kualitas tinggi, sudah dilengkapi dengan sistem kontrol di dalamnya. Dalam aplikasi motor servo sering digunakan sebagai kontrol loop tertutup untuk menangani perubahan posisi secara tepat dan akurat(L et al., 2020). Motor DC servo merupakan alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik melalui interaksi dari dua medan magnet. Salah satu medan dihasilkan oleh magnet permanen dan yang satunya dihasilkan oleh arus yang mengalir dalam kumparan motor. Resultan dari dua medan magnet tersebut, menghasilkan torsi yang membangkitkan putaran motor tersebut(Passive et al., 2017).

Saat motor berputar, arus pada kumparan motor menghasilkan torsi yang nilainya konstan. Motor servo dibedakan menjadi 2, yaitu continuous servo motor dan standar servo motor. Pada continuous servo motor, motor servo dapat berputar penuh  $360^{\circ}$  sehingga memungkinkan untuk bergerak rotasi sedangkan pada servo motor tipe standar hanya mampu berputar 180 derajat. Motor servo standar sering dipakai pada sistim robotika misalnya untuk membuat Robot Arm (Lengan Robot) sedangkan motor servo continous sering dipakai untuk mobil robot(Andrian et al., 2020).

Motor servo biasa digunakan dalam aplikasi-aplikasi di industri, selain itu juga digunakan dalam berbagai aplikasi lain seperti pada mobil mainan radio kontrol, robot, pesawat, dan lain sebagainya. Contoh dan bagian dari motor servo seperti pada gambar 2.4.



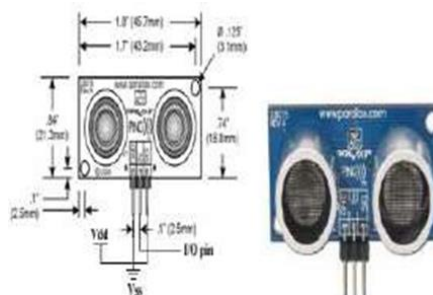
Gambar 2.4 Blok Diagram dari Servo Motor(Passive et al., 2017)



Gambar 2.5 Motor Servo tipe SG90(Passive et al., 2017)

c) Sensor Ultrasonic.

Sensor Ultrasonik ini dapat mengukur jarak antara 3 cm sampai 300 cm. Keluaran dari modul sensor ultrasonik Ping ini berupa pulsa yang lebarnya merepresentasikan jarak. Lebar pulsanya yang dihasilkan modul sensor ultrasonik ini bervariasi dari 115 uS sampai 18,5 mS. Secara prinsip modul sensor ultrasonik ini terdiri dari sebuah chip pembangkit sinyal 40KHz, sebuah speaker ultrasonik dan sebuah mikropon ultrasonik. Speaker ultrasonik mengubah sinyal 40 KHz menjadi suara sementara mikropon ultrasonik berfungsi untuk mendeteksi pantulan suaranya(Arief, 2011). Bentuk sensor ultrasonik diperlihatkan pada gambar 2 berikut.



Gambar 2.6 Bentuk sensor ultrasonic(Arief, 2011)

Sensor ultrasonik bekerja dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik. Frekuensi kerja yang digunakan dalam gelombang ultrasonik bervariasi tergantung pada medium yang dilalui, mulai dari kerapatan rendah pada fasa gas, cair dan padat. Jika gelombang ultrasonik berjalan melalui sebuah medium. Secara matematis besarnya jarak dapat dihitung sebagai berikut:

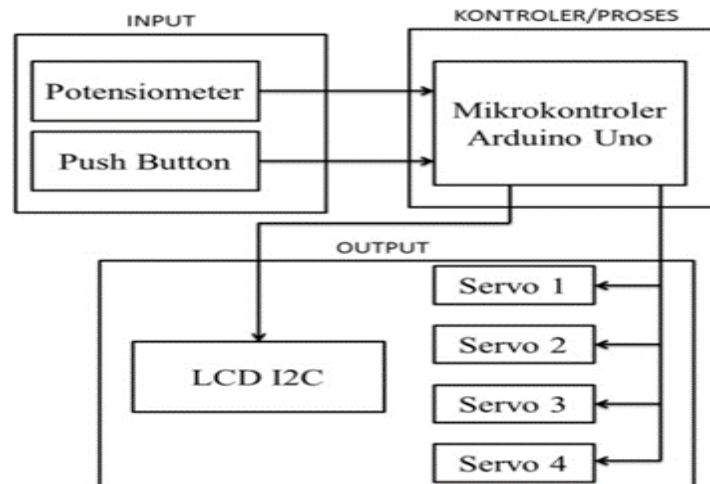
$$s = ( . t 2 )$$

Dimana  $S$  adalah jarak antara sensor ultrasonik dengan objek dalam satuan meter,  $V$  adalah kecepatan suara di udara yaitu 344 m/detik dan  $t$  adalah selisih waktu tempuh pemancaran gelombang dan penerimaan pantulan gelombang dalam satuan detik.

Sinyal output modul sensor ultrasonik dapat langsung dihubungkan dengan mikrokontroler tanpa tambahan komponen apapun. Modul sensor ultrasonik hanya akan mengirimkan suara ultrasonik ketika ada pulsa trigger dari mikrokontroler (Pulsa high selama 5 $\mu$ S). Suara ultrasonik dengan frekuensi sebesar 40KHz akan dipancarkan selama 200 $\mu$ S oleh modul sensor ultrasonik ini. Suara ini akan merambat di udara dengan kecepatan 344.424m/detik (atau 1cm setiap 29.034 $\mu$ S) yang kemudian mengenai objek dan dipantulkan kembali ke modul sensor ultrasonik tersebut

## 2.2 Sistem Kendali

Dari blok diagram lengan robot terdapat dua kendali untuk menggerakkan servo pada lengan robot yaitu dengan potensiometer dan dengan menggunakan push button, untuk potensiometernya sendiri pergerakan lengan robot diatur secara manual dan untuk push button pergerakan lengan robot diatur secara otomatis melalui program yang telah diatur yang nantinya setiap sudut pergerakan yang dibuat oleh servo akan ditampilkan pada layar LCD. Pada bagian lengan robot menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontrolernya dan lengan robot menggunakan 4 (empat) servo yaitu servo 1 (satu), servo 2 (dua), servo 3 (tiga) dan servo 4 (empat) yang berfungsi sebagai sendi atau derajat kebebasan pada lengan robot.



Gambar 2.7 Blok Diagram Kendali lengan Robot 4 DOF(Diatas, 2022)

#### 2.4 Solidworks

*Solidworks* merupakan software rancang bangun yang digunakan untuk melakukan suatu pengerjaan mendesain. File dari software menggunakan penyimpanan jenis model file format Microsoft yang terstruktur, maka beberapa format file yang berada didalam aplikasi solidworks yaitu SLDDRW (format pada gambar), SLDprt (format pada part file), dan SLDASM (format pada assembly). Solidworks juga dilengkapi dengan fitur untuk menghitung stress, strain, safety factor, dengan bantuan perangkat lunak (software) yang mampu menganalisa karakteristik suatu model. *Solidworks* adalah *Software CAD 3D* yang dikembangkan oleh Solidworkss *Coorporation* yang sekarang sudah diakuisisi oleh *Dassault Systemes*. *Solidworks* merupakan salah satu 3D CAD yang sangat populer saat ini di Indonesia sudah banyak sekali perusahaan-perusahaan manufacturing yang mengimplementasikan (Solidworks, 2019).

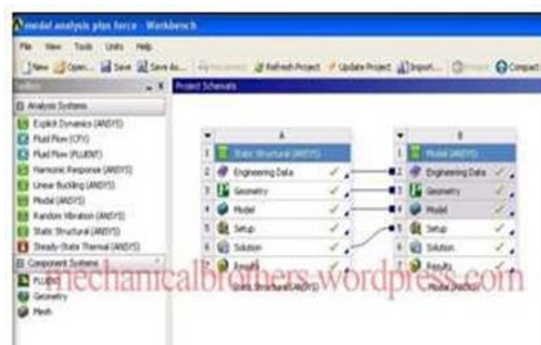
#### 2.5 Ansys

*Ansys* adalah suatu perangkat lunak komputer khusus Engineering yang mampu menyelesaikan persoalan-persoalan elemen hingga dari pemodelan hingga analisis [9]. *Ansys* ini digunakan untuk mensimulasikan semua disiplin ilmu fisika baik statis maupun dinamis, analisis struktural (keduanya linier dan nonlinier), perpindahan panas, dinamika fluida, dan elektromagnetik untuk para engineer. *ANSYS* dapat mengimpor data CAD dan juga memungkinkan untuk membangun geometri dengan kemampuan yang "*preprocessing*". Setelah mendefinisikan beban

dan melakukan analisis, hasil dapat dilihat sebagai numerik dan grafis. Hasil yang diperoleh dari ANSYS ini berupa pendekatan dengan menggunakan analisa numerik. Tahapan Ini merupakan panduan umum yang dapat digunakan untuk menghitung analisis elemen hingga (Harahap, 2020).

*Ansys Workbench* adalah salah satu perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yang dipakai untuk menganalisa masalah-masalah rekayasa (engineering). *Ansys Workbench* menyediakan fasilitas untuk berinteraksi antar solvers famili Ansys. *Ansys Workbench* juga dapat berintegrasi dengan perangkat lunak CAD sehingga memudahkan pengguna dalam membangun model geometri dengan berbagai perangkat lunak CAD. Sependek pengetahuan saya, beberapa perangkat lunak tersebut adalah Catia dan Solidwork. Ansys dapat berjalan di platform Windows dan Linux (Darianto et al., 2019).

*Ansys Workbench* berisi beberapa fasilitas, diantaranya: Mechanical, Fluid Flow, Engineering Data, Design Modeler, Meshing Application, BladeGen. Bentuk tampilan software ini diperlihatkan pada gambar

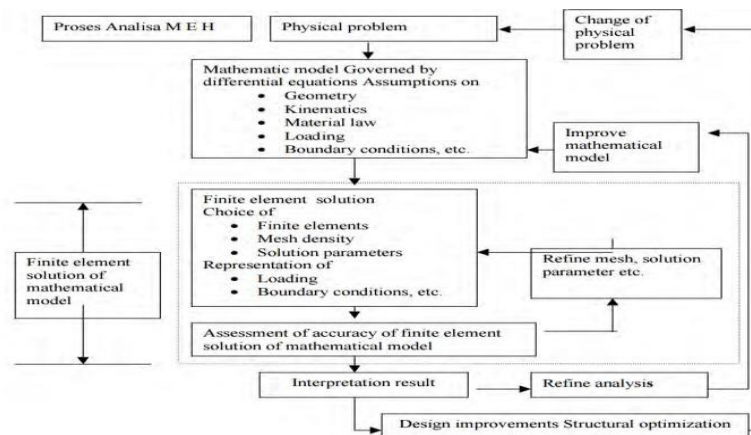


Gambar 2.8 Software Ansys (Darianto et al., 2019)

## 2.6 Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga adalah metode numerik berbasis komputer untuk memecahkan masalah teknik di dalam geometri bidang atau volume yang ditetapkan pengguna atau user. Metode elemen hingga (finite element method) telah secara luas diaplikasikan dan berhasil menyelesaikan banyak permasalahan rekayasa teknik termasuk kekuatan tarik pada sebuah sambungan material. Pendekatan ini lebih efisien dan memiliki hasil yang cukup memuaskan. Sehingga penyelesaian masalah rekayasa sambungan pengelasan menggunakan metode elemen hingga

menjadi topik yang sangat menjanjikan (IqbalTanjung & Affandi 2022). Geometri tersebut dibagi menjadi elemen-elemen. Setiap elemen memiliki node yang digunakan untuk mewakili nilai variabel (contohnya, temperatur, tegangan dan perpindahan panas) yang membawahi elemen fungsi interpolasi (disebut juga fungsi aproksimasi). Persamaan matriks menjabarkan sifat-sifat setiap elemen. Hal tersebut ditentukan dengan menggunakan salah satu dari tiga pendekatan, yaitu; pendekatan langsung, pendekatan variasional, atau pendekatan *weighted residual*. Setiap persamaan matriks digabungkan untuk menemukan persamaan sistem secara keseluruhan. Nilai nodal dari variabel lapangan dimasukkan pada persamaan sistem. Nilai nodal yang tidak diketahui dari masalah akan diperoleh dengan menyelesaikan persamaan sistem. Masalah teknik yang umum ditangani oleh Metode Elemen Hingga antara lain adalah: struktural, termal, aliran fluida, listrik, magnet, kebisingan akustik dan lain - lain. Di dalam proses pembentukan laser ini akan melibatkan masalah struktural dan termal. Di bagian ini, konsep dari FEM dijelaskan secara singkat dalam hal masalah perpindahan panas (Dapas, 2011).



Gambar 2.9 Proses Pengerjaan pada Metode Elemen Hingga (Sonief, 2005.)

Pada skema penomoran lokal, kedua nodal elemen diberi nomor 1 dan 2. Sistem koordinat lokal terdiri dari sumbu  $x'$ , yang melalui sepanjang elemen dari nodal 1 ke nodal 2. Semua nilai-nilai dalam sistem koordinat lokal ditandai dengan tanda ( $'$ ). Sistem koordinat global bersifat tetap dan tidak tergantung pada orientasi suatu elemen. Dalam sistem koordinat global setiap titik nodal memiliki dua derajat kebebasan (dof). Skema penomoran adalah sebagai berikut: Sebuah nodal 1 yang mempunyai nomor nodal global  $j$  berhubungan dengan derajat kebebasannya  $2j-1$

dan 2j. Perpindahan-perpindahan global yang berhubungan dengan nodal j adalah  $Q_{2j-1}$  dan  $Q_{2j}$ , seperti pada Gambar 1. Misalkan  $q_1$  dan  $q_2$  masing-masing adalah perpindahan-perpindahan nodal 1 dan 2 dalam sistem koordinat lokal maka vektor perpindahan elemen dalam sistem koordinat lokal adalah

$$\dot{q} = [\dot{q}_1 \ \dot{q}_2]^T \quad (1)$$

Vektor perpindahan elemen dalam sistem koordinat global adalah

$$q = [q_1 \ q_2 \ q_3 \ q_4]^T \quad (2)$$

Hubungan antara  $\dot{q}$  dan  $q$  adalah sebagai berikut: Pada Gambar (1.b),  $\dot{q}_1$  adalah sama dengan jumlah proyeksi  $q_1$  dan  $q_2$  pada sumbu x. Jadi

$$\dot{q}_1 = q_1 \cos \theta + q_2 \sin \theta \quad (3.a)$$

demikian juga

$$\dot{q}_2 = q_3 \cos \theta + q_4 \sin \theta \quad (3.b)$$

Cosinus-cosinus arah  $l$  dan  $m$  diperkenalkan sebagai  $l = \cos \theta$ , dan  $m = \cos \varphi$  ( $= \sin \theta$ ). Cosinus-cosinus arah ini adalah cosinus sudut yang dibentuk oleh sistem koordinat lokal dan sistem koordinat global. Persamaan (3.a) dan (3.b) dapat ditulis dalam bentuk matriks

$$\dot{q} = Lq \quad (4)$$

dengan matriks transformasi  $L$  diberikan sebagai

$$L = \begin{bmatrix} 1 & m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & m \end{bmatrix} \quad (5)$$

Cosinus-cosinus arah  $l$  dan  $m$  dihitung dari data koordinat nodal, masing-masing

$$l = \frac{x_2 - x_1}{l_e} \text{ dan } \frac{y_1 - y_2}{l_e} \quad (6)$$

dengan

$$l_e = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (7)$$

**Matriks Kekakuan**

Elemen rangka batang adalah elemen satu dimensi yang ditinjau dalam sistem koordinat lokal. Sehingga matriks kekakuan elemen rangka batang dalam sistem koordinat lokal berbentuk



$$K' = \frac{E_e A_e}{l} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

dengan  $A_e$  adalah luas penampang melintang dan  $E_e$  adalah modulus Young.

Untuk mengekspresikan matriks kekakuan elemen dalam sistem koordinat global ditinjau energi regangan pada elemen. Energi regangan elemen dalam koordinat lokal diberikan oleh

$$U_e = \frac{1}{2} q'^T k' q' \quad (9)$$

Substitusi Persamaan (4) ke persamaan (9), diperoleh

$$U_e = \frac{1}{2} q^T \left[ L^T K' L \right]_q \quad (10)$$

Energi regangan dalam koordinat global dapat ditulis sebagai

$$U_e = \frac{1}{2} q^T k q \quad (11)$$

dengan  $k$  adalah matriks kekakuan elemen dalam koordinat global, yaitu

$$k = L^T k' L \quad (12)$$

Substitusi Pers (5) dan Pers (8) ke persamaan (12) di atas, diperoleh

$$k = \frac{E_e A_e}{l_e} \begin{bmatrix} l^2 & lm & -l^2 & -lm \\ lm & m^2 & -lm & -m^2 \\ l^2 & -lm & l^2 & lm \\ -lm & -m^2 & lm & m^2 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Matriks-matriks kekakuan elemen kemudian dirakit untuk mendapatkan matriks kekakuan struktur.

Penurunan  $k = L^T k' L$  di atas mengikuti juga prinsip variasional Galerkin. Kerja Virtual  $\delta W$  sebagai hasil dari perpindahan  $\psi$  adalah

$$\delta W = \psi^T (k' q') \quad (14.a)$$

Karena  $\psi = L \psi'$  dan  $q = L q'$ , maka

$$\begin{aligned} \delta W &= \psi^T \left[ L^T k' L \right] q \\ &= \psi^T k q \end{aligned} \quad (14.b)$$

Vektor perpindahan diperoleh dengan menyelesaikan persamaan keseimbangan

$$KQ = F \quad (15)$$

dengan  $K$  adalah matriks kekakuan struktur,  $Q$  adalah vektor perpindahan dan  $F$  merupakan vektor beban.

### Perhitungan Tegangan

Rumusan-rumusan untuk mendapatkan tegangan-tegangan pada elemen dapat diperoleh dengan catatan bahwa suatu elemen rangka batang dalam koordinat lokal adalah elemen sederhana dengan dua gaya. Oleh karena itu, tegangan  $\sigma$  pada suatu elemen rangka batang, diberikan oleh

$$\sigma \varepsilon = Ee \quad (16.a)$$

Karena regangan  $\varepsilon$  berubah dalam panjang per satuan panjang semula,

$$\begin{aligned} \sigma &= E_e \frac{q_2 - q_1}{l_e} \\ &= \frac{E_e}{l_e} \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{Bmatrix} \end{aligned} \quad (16.b)$$

Persamaan di atas dapat ditulis dalam perpindahan global  $q$  menggunakan transformasi  $q = L'q$  menjadi

$$\sigma = \frac{E_e}{l_e} \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix} Lq \quad (16.c)$$

Substitusi  $L$  dari Pers. (5) menghasilkan

$$\sigma = \frac{E_e}{l_e} \begin{bmatrix} -1 & -m & l & m \end{bmatrix} q \quad (17)$$

Setelah perpindahan-perpindahan ditentukan dengan menggunakan persamaan-persamaan elemen hingga, tegangan-tegangan dapat diperoleh dari persamaan (17) untuk masing-masing elemen.

### 2.7 Tegangan

Tegangan yang dimaksud pada penelitian ini bertujuan untuk menunjukkan tentang kekuatan gaya yang nantinya akan menyebabkan benda sehingga berubah bentuk.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dimana:  $\sigma$  = Tegangan ( $N/m^2$ )

$F$  = Gaya yang bekerja (N)

$$A = \text{Luas penampang (} m^2 \text{)}$$

Tegangan normal dianggap positif jika menimbulkan suatu tarikan dan dianggap negatif jika menimbulkan penekanan.

## 2.8 Regangan

Regangan adalah perubahan panjang awal yang disebabkan oleh gaya yang menarik atau menekan material. Batasan sifat elastis perbandingan tegangan regangan akan linier dan akan berakhir pada titik mulur. hubungan tegangan tegangan tidak lagi linier ketika material mencapai batas sifat plastis. Rumus untuk memperoleh satuan deformasi atau regangan yaitu dengan membagi perpanjangan (I-Io) dengan panjang material awal (Io). hal ini sesuai dengan rumus

$$\varepsilon = (I-Io)/Io$$

Dimana:

E = Regangan

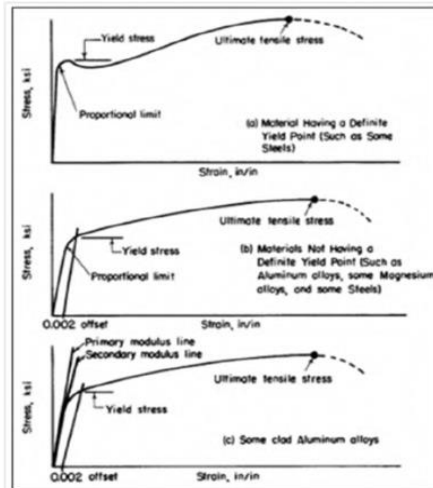
I-Io = Pertambahan panjang dari panjang awal (m)

Io = Panjang awal (m)

Regangan adalah Bentuk tanpa dimensi yang menunjukkan perubahan bentuk disebut regangan. Biasanya dinyatakan dalam bentuk persentasi, atau mungkin tidak. Apakah bahan tersebut mampu menahan perubahan bentuk sebelum patah ditunjukkan oleh besarnya regangan. Bahan lebih mudah dibentuk jika memiliki kekuatan regangan yang lebih besar.(Irawan et al., 2016).

Persamaan untuk regangan adalah:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$



Gambar 2.10 Grafik Hubungan Stress dengan Strain(Irawan et al., 2016).

## 2.9 Beban statis

### a) Metode Analisis Statis

Statis prinsipnya menggantikan beban gempa dengan gaya-gaya statis ekuivalen bertujuan menyederhanakan dan memudahkan perhitungan, dan disebut Metode Gaya Lateral Ekuivalen (*Equivalent Lateral Force Method*). Untuk keperluan desain, analisis dan sistem struktur perlu diperhitungkan terhadap kemungkinan terjadinya kombinasi pembebanan (Load Combination) dan beberapa kasus beban yang dapat bekerja secara bersamaan selama umur rencana. Menurut Peraturan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung 1983, ada 2 kombinasi pembebanan yang perlu ditinjau pada struktur yaitu Kombinasi Pembebanan Tetap dan Kombinasi Pembebanan Sementara. Disebut pembebanan tetap karena beban dianggap dapat bekerja terus menerus pada struktur selama umur rencana. Kombinasi pembebanan ini disebabkan oleh bekerjanya beban mati (Dead Load) dan beban hidup (Live Load). Kombinasi pembebanan sementara tidak bekerja secara terus menerus pada struktur, tetapi pengaruhnya tetap diperhitungkan dalam analisa. Kombinasi pembebanan ini disebabkan oleh bekerjanya beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa. Nilai-nilai beban tersebut di atas dikalikan dengan suatu faktor magnifikasi yang disebut faktor beban, tujuannya agar struktur dan komponennya memenuhi syarat kekuatan dan layak pakai terhadap berbagai kombinasi beban.

b) Metode Analisis Dinamis

Analisis dinamis dilakukan untuk menilai secara akurat perilaku struktur yang dipengaruhi oleh gempa yang berulang. Ada dua jenis teknik ini. Yang pertama adalah Analisis Respon Dinamik Riwayat Waktu (Time History Analysis), yang memerlukan rekaman percepatan gempa rencana; yang kedua adalah Analisis Ragam Spektrum Respon (Spectrum Modal Analysis), yang mengambil respon maksimum dan semua ragam getar yang terjadi dari Spektrum Respon Rencana.

### 2.10 Von Mises

Von Mises (1913) menyatakan bahwa akan terjadi luluh bilamana tegangan normal itu tidak tergantung dari orientasi atau sudut  $\theta$  (invarian) kedua deviator tegangan  $J_2$  melampaui harga kritis tertentu.

$$J_2 = K^2$$

Dengan  $J$  adalah yield untuk kondisi Von-Mises ( $N / m^2$ ) dan  $k$  adalah tegangan luluh bahan pada geser murni ( $N / m^2$ ) dimana:

$$J_2 = 1/6[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]$$

Dimana:  $\sigma$  adalah tegangan tarik bahan ( $N / m^2$ ). Untuk mengevaluasi tetapan  $k$  dan menghubungkannya dengan tegangan luluh dalam uji tarik uniaksial akan terjadi bila  $\sigma_1 = \sigma_0$   $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$  sehingga didapatkan bentuk kriteria luluh Von Mises.

$$\sigma_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{\frac{1}{2}}$$

Dari persamaan (4) dapat dilihat bahwa luluh akan terjadi bilamana selisih tegangan pada sisi kanan persamaan melampaui tegangan luluh dalam uji tarik uniaksial  $\sigma_0$ . Untuk mengidentifikasi tetapan  $k$  dalam persamaan (2), perhatikan keadaan tegangan dalam geser murni, seperti dalam uji puntir.  $\sigma_1 = -\sigma_3 = \tau$  dan  $\sigma_2 = 0$  pada luluh dimana:

$$\sigma \frac{2}{1} + \sigma \frac{2}{1} + 4\sigma \frac{2}{1} = 6k^2$$

Sehingga  $\sigma_1 = k_t$  maka k menggambarkan tegangan luluh dalam keadaan geser murni (puntir). Karena itu kriteria Von Mises meramalkan bahwa tegangan luluh pada puntiran akan lebih kecil dari padadalam penegangan uniaksial, sesuai dengan:

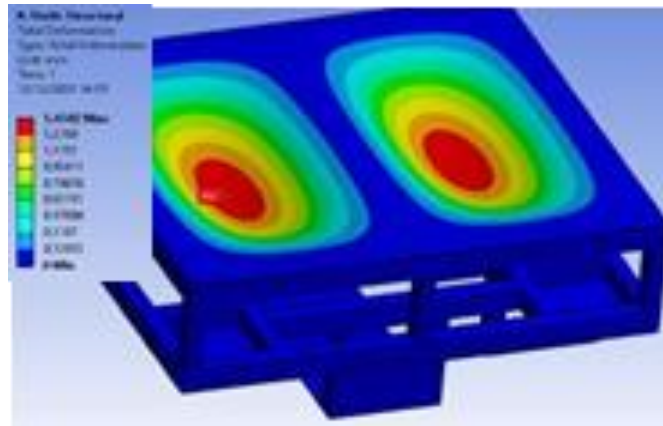
$$k = \frac{1}{\sqrt{3}}\sigma_0 = 0,577\sigma_0$$

Kriteria luluh Von Mises mengisyaratkan bahwa luluh tidak tergantung pada tegangan normal atau tegangan geser tertentu, melainkan tergantung dari fungsi ketiga harga tegangan geser utama. Karena kriteria luluh didasarkan atas selisih tegangan normal,  $\sigma_1 - \sigma_2$  dan sebagainya maka kriteria tersebut tidak tergantung pada komponen tegangan hidrostatis. Karena Hasilnya tidak tergantung pada tanda tegangan individual karena kriteria luluh von mises melibatkan suku pangkat dua. Karena kriteria ini sederhana, Von Mises mengusulkannya semula. Selanjutnya, ahli lainnya berusaha untuk memberikan definisi fisik. Hencky (1924) menemukan bahwa persamaan (4) setara dengan perumpamaan bahwa luluh terjadi ketika energi distorsi mencapai harga kritis. Energi distorsi adalah bagian dari energi regangan per volume total yang diperlukan untuk mengubah bentuk.(Awwaluddin & Purwanta, 2014).

## 2.11 Deformation

Deformasi yaitu perubahan fisik dari suatu benda dikarenakan adanya gaya atau beban yang diterima. Deformasi juga dibagi menjadi dua jenis yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Deformasi elastis merupakan perubahan fisik dari suatu benda akibat adanya gaya atau beban dan akan kembali ke bentuk awal saat gaya atau beban ditiadakan. Sementara itu deformasi plastis merupakan perubahan fisik suatu benda secara tetap, walaupun gaya atau beban sudah dihilangkan Dalam perancangan suatu alat tentu saja yang digunakan adalah deformasi elastis sebab tegangan maksimum dibatasi di bawah yield strength. Gambar merupakan hasil simulasi pada chassis khususnya dibagian flate robot AGV menunjukkan bahwa

deformation maksimal yang terjadi pada bagaian yang berwarna merah yaitu sebesar 1,43 mm pada titik node 15932(Munadi et al., 2022).



Gambar 2.11 Hasil Simulasi Chassis Robot AGV (Deformation)(Munadi et al., 2022)

## 2.12 Analisis Dimensional

Kaki robot yang dibuat dalam skripsi ini merupakan model. Sehingga, jika ingin dibuat kedalam prototype harus dilakukan penyesuaian menggunakan analisis dimensional. Analisis dimensional merupakan sebuah teknik yang melibatkan identifikasi dimensi bentuk fisik dengan mempertimbangkan keseimbangan dimensi. Dengan upaya ini dapat dilakukan penyesuaian persamaan baru. Pada umumnya analisis dimensional dikembangkan dengan prinsip dasar Buckingham. Adapun beberapa langkah umum yang dilakukan dalam analisis dimensional adalah dengan melakukan identifikasi terhadap variabel dan dilanjutkan dengan identifikasi dimensi pada setiap variabel. Setelah langkah ini selesai maka dilanjutkan dengan membentuk persamaan fungsi baru yang memenuhi variabel pada kasus.

Pada kasus ini lengan robot mengangkat beban ( $F$ ) dari motor servo ( $P$ ) sehingga variabel dapat disederhanakan menjadi dimensi  $ML^2T^{-3}$ . Dengan menyesuaikan kecepatan motor ( $\omega$ ) variabel dapat di sederhakan menjadi dimensi  $T^{-1}$ , torsi motor ( $\tau$ ) menjadi dimensi  $ML^2T^{-2}$ , Massa yang diangkat ( $m$ ) menjadi dimensi  $M$  dan Jarak pengangkat atau lengan momen ( $L$ ) dimensi:  $L$ .

Setelah mendefinisikan setiap variabel langkah selanjutnya adalah dengan menyusun persamaan dimensi dimana fungsi dari kaki robot didefinisikan menghubungkan kekuatan (F) dan setial variabel yang telah diidentifikasi

$$F=f(P, \omega, \tau, m, L) \quad (1)$$

Selanjutnya prinsip Buckingham dibentuk kedalam persamaan dan membentuk dimensi seperti persamaan

$$\pi_1 = \frac{F.L^a .m^b .\omega^c}{P^d .\tau^e} \quad (2)$$

$$\left[ \frac{MLT^{-2} .L^a .M^b .T^{-c}}{ML^2T^{-3d} .ML^2T^{-2e}} \right] = M^{1+b-d-e} \quad (3)$$

Agar  $\pi$  tak berdimensi, semua eksponen untuk M, L dan T harus nol sehingga M ( $1+ b- d- e= 0$ ), Untuk L ( $1+ a - 2d -2e = 0$ ) dan Untuk T ( $-2 - c + 3d + 2e = 0$ ). Langkah selanjutnya memasukkan fungsi jika d sama dengan 1 maka eksponen M, L dan T dapat disubsitusikan menjadi persamaan

$$\pi_1 = \frac{F.L^{1+2e-2} .m^e .\omega^{3+2e}}{P.\tau^e} \quad (4)$$

Persamaan akhir kembali idefinisikan dengan mengembalikan F pada fungsi awal

$$F \sim \left( \frac{P \cdot \tau^e}{L^{1+2e-2} \cdot m^e \cdot \omega^{3+2e}} \right) \quad (5)$$

Dimana e bisa ditentukan lebih lanjut melalui eksperimen atau asumsi yang relevan. Pada kasus kaki robot yang dibuat torsi motor torsi sebesar 11 kfg dari data awal dapat ditentukan trosi yang terjadi pada komponen kaki robot dengan menggunakan persamaan dibawah ini

$$\tau_{\max} = 11 \text{kgf} \cdot \text{mm} = 11 \times 9.81 \text{N} \times 0.001 \quad (6)$$

Torsi yang telah didapatkan dapat dimodelkan kedalam analisis dimensional sehingga persamaan menjadi

$$F \sim \frac{0.108 \text{N} \cdot \text{m}}{L \cdot m \cdot \omega^5} \quad (7)$$



Untuk melakukan kalkulasi pada beban yang diinginkan kita dapat menentukan beban maksimum awal. Jika diperkirakan beban maksimum yang diangkat sebesar 80 kg dan beban gravitasi sebesar  $9,81 \text{ m/s}^2$  maka ditemukan gaya total sebesar 784,8. Kondisi ini dapat disesuaikan dengan merujuk persamaan diatas dimana  $P$  dan  $\omega$  dapat diatur sehingga memenuhi kondisi  $F$  sebesar 784.8N. dalam kasus ini kecepatan rotasi dan gaya motor servo tidak dapat diubah. Diperlukanya perbandingan langsung dari persamaan terhadap dua kondisi yang berbeda. Jika beban yang diangkat robot sebesar 3 kg dengan gaya sebesar  $F$  dan masa diinginkan sebesar 80 kg untuk gaya  $F_2$  dapat membentuk persamaan

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{m_2}{m_1} \quad (8)$$

Kondisi variabel  $P$ ,  $\omega$  dan  $L$  tidak berubah maka dapat dibentuk persamaan.

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{80}{3} \Rightarrow F_2 = \frac{80}{3} \times F_1 \quad (9)$$

$F$  berdasarkan spesifikasi torsi motor servo yang digunakan pada kaki robot dapat dikalkulasi dan juga dapat menentukan kapasitas sesuai pada  $F_2$ . Jika  $F_1$  dapat mengangkat 80 kg langkah pergantian servo motor dengan gaya dan torsi yang lebih besar dapat dipertimbangkan.

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu

#### 3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Komputer Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan.

#### 3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian ini dimulai dari disetujuinya penulisan proposal tugas akhir, seminar proposal tugas akhir, pengambilan data, pengolahan data, seminar hasil sampai sidang akhir yang menghabiskan waktu kurang lebih 6 bulan.

Tabel 3.1 Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian

No	Kegiatan	Waktu(Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi literature	■					
2	Penyediaan alat dan bahan		■				
3	Penulisan proposal			■			
4	Pengujian Simulasi				■		
5	Pengambilan data					■	
6	Analisa data					■	
7	Penulisan laporan akhir					■	
8	Sidang sarjana					■	

### 3.2 Bahan dan Alat Penelitian

#### 1. Bahan Penelitian

PET adalah salah satu bahan yang paling umum digunakan dalam pencetakan 3D. Digunakan untuk komponen mekanik, casing elektronik, dan barang-barang yang memerlukan kekuatan tinggi.

Adapun bahan pembuatan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.4. PET (Polietilena tereftalat)

#### 2. Alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

##### 1. Komputer

Pada penelitian ini komputer berfungsi sebagai alat untuk bekerja dan mengolah kata-kata atau data, dan berikut untuk spesifikasi dari komputer ini seperti pada gambar 3.5.

*Device name : DESKTOP-3LRTD4P*

*Processor : Intel(R) Core(TM) i7-10700 CPU @ 2.90GHz 2.90 GHz*

*Installed : RAM 16 GB (7,78 GB usable)*

*Solid State Drive (SSD) : 256 GB*

*Edition Windows 11 Home Single Language*



Gambar 3.5. Komputer

## 2. Softwer solidworks

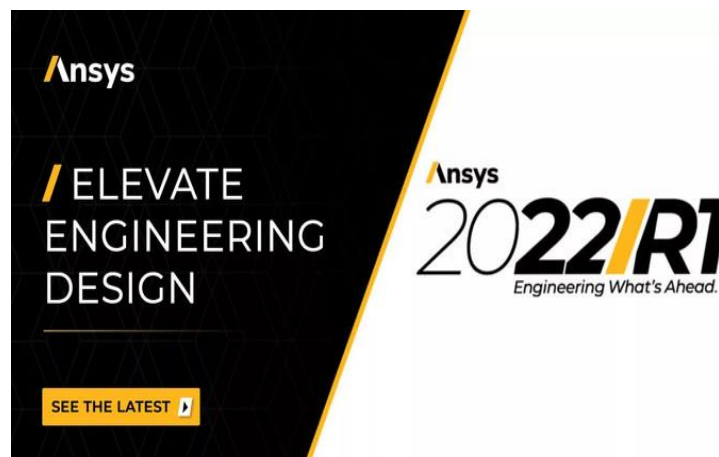
Pada penelitian ini menggunakan software solidworks 2023 dengan kapasitas SolidWorks merekomendasikan RAM minimal 16 GB. Untuk simulasi FEA dan CFD rutin, TriMech menyarankan RAM minimal 64 GB. Solid State Drive (SSD) dengan kapasitas 512 GB atau lebih dapat menyediakan ruang kerja yang baik. Untuk mendesain model 3D penelitian, seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Software Solidworks

## 3. Softwer Ansys

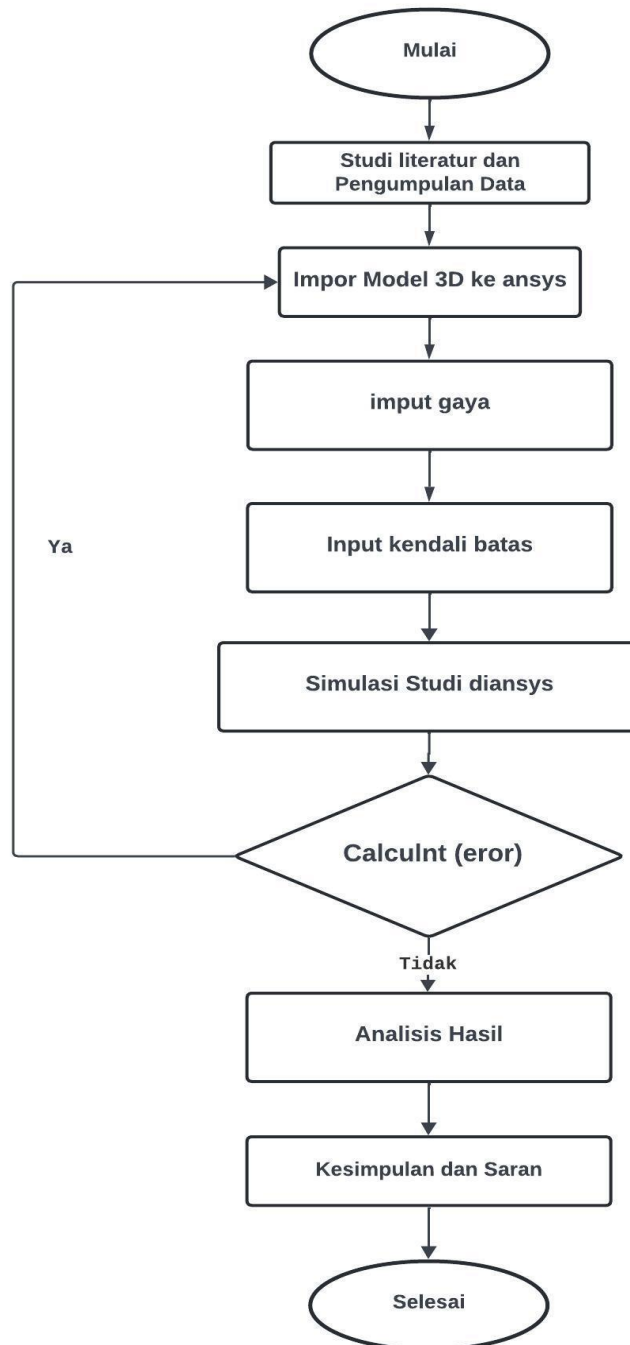
Pada penelitian ini software Ansys yang di gunakan dalam penelitian ini ansys 2022R1 berfungsi untuk menganalisis model 3D penelitian dan data riset penelitian, seperti pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. Software Ansys.

### 3.3 Bagan Alir Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan literatur yaitu metode, analisis dan pemelihan bahan, yang selanjutnya disusun menjadi prosedur penelitian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.8 Diagram Alir Penelitian.

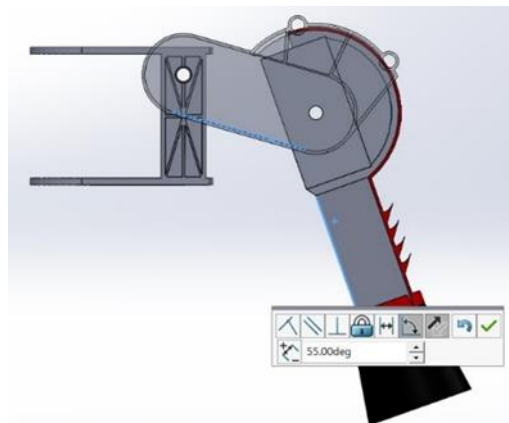
### 3.4 Rancangan penelitian

Rancangan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

#### 1. Desain dan Spesifikasi Lengan Robot

Dalam perancangan robot SAR dengan mekanisme berkaki. Robot SAR memiliki enam kaki dengan masing-masing memiliki tiga sendi pada masing-masing kaki. Kedua sendi pada masing-masing kaki memungkinkan robot untuk melakukan banyak manuver gerak. Sehingga robot dapat berjalan, memanjat, berbelok, memutar, dan sebagainya. Tiap-tiap sendi robot memiliki derajat perputaran sebesar  $0^\circ - 180^\circ$ , hal ini dikarenakan untuk pergerakan sendi-sendi tersebut digunakan motor servo yang memiliki kemampuan putar hingga  $180^\circ$ . Desain robot dirancang dengan menggunakan software solidworks.

Berikut Desain robot SAR dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.9 Lengan Robot SAR

Robot ini memiliki dimensi  $300\text{ mm} \times 280$  dengan bobot total 3 kg dengan menggunakan bahan material yang terbuat dari PET (*Polietilena tereftalat*) dan akrilik. Pada kaki atas (*leg 1*) memiliki dimensi  $60,4\text{ mm} \times 35\text{ mm} \times 8\text{ mm}$ , pada kaki tengah (*leg 2*) memiliki dimensi  $63\text{ mm} \times 17\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ , dan pada kaki bawah (*leg 3*) memiliki dimensi  $64\text{ mm} \times 18\text{ mm} \times 5\text{ mm}$  pada *frame* bawah memiliki dimensi  $200\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ , yang diwakili satu servo. Pada *frame* tengah memiliki dimensi  $180\text{ mm} \times 140\text{ mm}$ , pada *frame* atas memiliki dimensi  $130\text{ mm} \times 90\text{ mm}$ .

### 3.5 Prosedur Penelitian

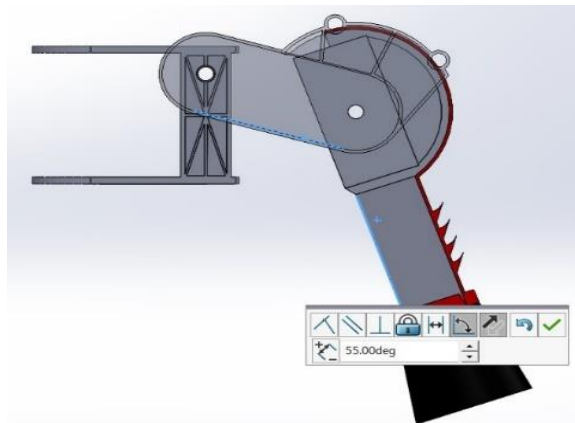
Adapun Prosedur penelitian yang dipakai dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah.

#### 1. Studi Literatur

Pada penelitian ini akan dilakukan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Metode penelitian yang dilakukan antara lain: Pencarian data-dataliteratur untuk perangkat keras dari masing-masing komponen, informasi dariinternet dan konsep teoritis dari buku-buku penunjang Tugas Akhir ini, serta materi-materi perkuliahan yang telah didapatkan dan perancangan perangkat lunak yaitu menggunakan Arduino IDE melalui pencarian dari internet, dan konsep-konsep teoritis dari buku-buku penunjang tersebut. Dari kedua bagian tersebut akan dipadukan agar dapat bekerja sama untuk menjalankan sistem dengan baik.

#### 2. Desain Model 3D dan perancangan

Pada tahap desain pengembang memverifikasi media pembelajaran dan metode pengujian yang tepat. Langkah yang harus ditempuh dalam mendesain yaitu (1) menyusun kebutuhan yang diperlukan; (2) menyusun desain yang tepat dan sesuai dengan tujuan; (3) membuat instrumen.



Gambar 3.10 Desain lengan robot

#### 3. Simulasi Analisis lengan robot

Analisa struktur rangka bidang antar batang terhubung dengan sambungan sendi akan berkurang dari permasalahan penentuan gaya batang struktur tersebut dikarenakan beban dikenai pada join. Ketika rangka bidang yang sama dikenai gaya dinamis, masalah sederhana seperti tegangan aksial dibeberapa bagian tidak ada

lagi. Gaya inersia berkembang di sepanjang batang, dan biasanya menyebabkan gaya lentur seperti gaya aksial. Momen lentur pada ujung semua batang akan tetap bernilai 0 dikarenakan tidak ada momen keluar.

#### 4. Pencatatan data hasil pengujian

Pencatatan data hasil pengujian dilakukan untuk dilakukan pengolahan dan analisa data setelah pengujian. Data hasil pengujian yang dilakukan pencatatan adalah data ketahanan dan kekuatan dari benda tersebut.

#### 5. Analisis data

Analisis data dilakukan dalam penelitian ini untuk melihat dan mengkaji, serta menghitung ketahanan dan keleturan pada pengujian terhadap model lengan Robot dari perbandingan sebelumnya.

### 3.6 Variabel yang akan diteliti

Adapun variabel pada penelitian ini terdiri dari 2 bagian, yaitu:

#### 1) Variabel Bebas

Variabel Bebas adalah variabel yang memengaruhi variabel lainnya dan tidak bergantung pada variabel lainnya. Variabel Bebas dalam penelitian ini adalah Beban dan Gaya.

#### 2) Variabel Terikat

Variabel Terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat, karena adanya variabel bebas. Variabel Terikat dalam penelitian ini adalah PET (*Polietilena tereftalat*) dan Lengan Robot.



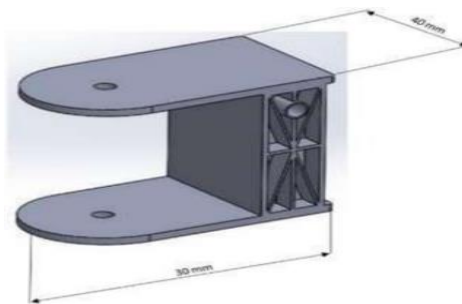
## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan tujuan dari penelitian ini, Hasil Desain serta simulasi dan mengidentifikasi kekuatan struktur pada setiap Lengan Robot 3-Dof mulai dari leg 1, leg 2, leg 3 dan Hasil Simulasi dengan 3 output yaitu *Total Deformation*, *Equivalent Elastic Strain*, *Von Mises stress* ditunjukkan sebagai berikut. Berdasarkan hasil yang didapat terjadi perbedaan distribusi tegangan dan regangan yang terjadi pada lengan Robot 3 DOF.

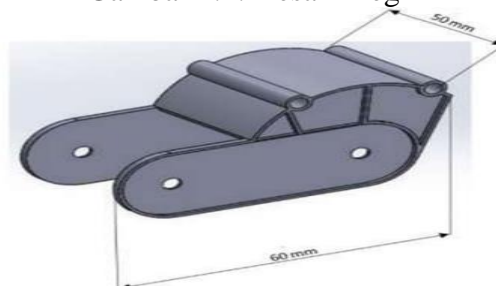
### 4.1 Hasil Desain Lengan Robot 3-DOF

Dari hasil Lengan Robot 3-DOF sudah berhasil dilakukan sebagai berikut.

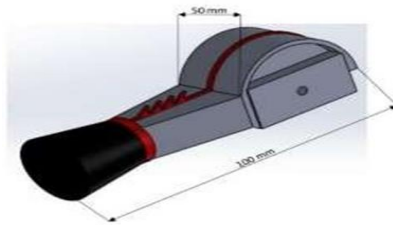
Dalam desain perancangan robot SAR dengan mekanisme berkaki. Robot SAR memiliki enam kaki dengan masing-masing memiliki tiga sendi pada masing-masing kaki. Kedua sendi pada masing-masing kaki memungkinkan robot untuk melakukan banyak manuver gerak. Sehingga robot dapat berjalan, memanjat, berbelok, memutar, dan sebagainya. Tiap-tiap sendi robot memiliki derajat perputaran sebesar  $0^\circ - 180^\circ$ , hal ini dikarenakan untuk pergerakan sendi-sendi tersebut digunakan motorservo yang memiliki kemampuan putar hingga  $180^\circ$ . Adapun Desain lengan robot SAR dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.1. Desain Leg 1



Gambar 4.2. Desain Leg 2



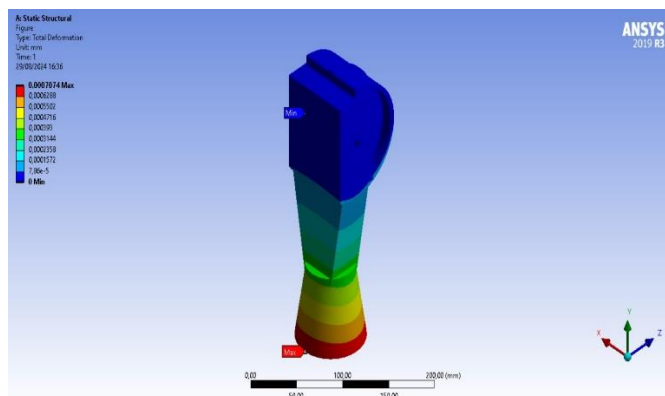
Gambar 4.3. Desain Leg 3

Lengan Robot ini menggunakan bahan material yang terbuat dari PET (*Polietilena tereftalat*). Pada kaki atas (*leg 1*) memiliki dimensi  $60,4 \text{ mm} \times 35 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ , pada kaki bawah (*leg 2*) memiliki dimensi  $63 \text{ mm} \times 17 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ , Sistem penggerak pada lengan robot yang dimana pada leg 1 diwakili satu servo dan pada leg 2 diwakili satu servo, leg 3 diwakili satu servo.

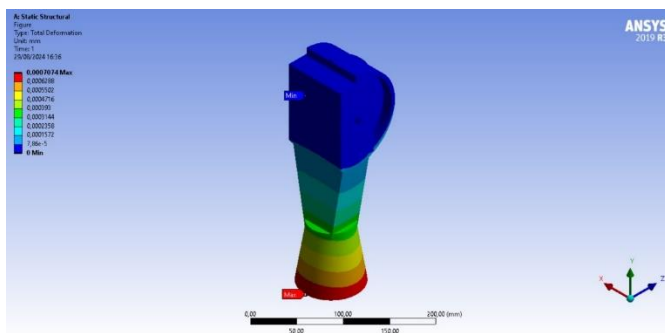
#### 4.2 Hasil Pengujian Simulasi Menggunakan Ansys Leg 1, Leg 2, Leg 3

Hasil simulasi pada Lengan Robot 3-DOF dengan 3 Output dapat dilihat dalam pengujian dibawah ini.

##### 1. Uji Total *Deformation* Leg 3



(a)



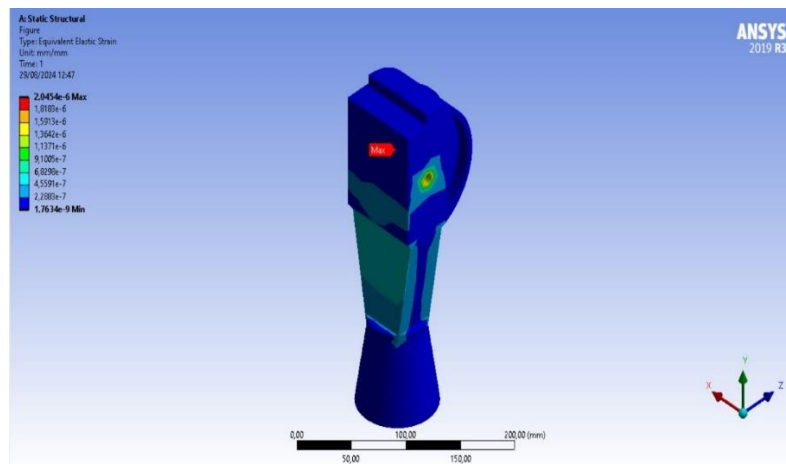
(b)

Gambar 4.4 Hasil simulasi Total *Deformation* (a) dan (b)

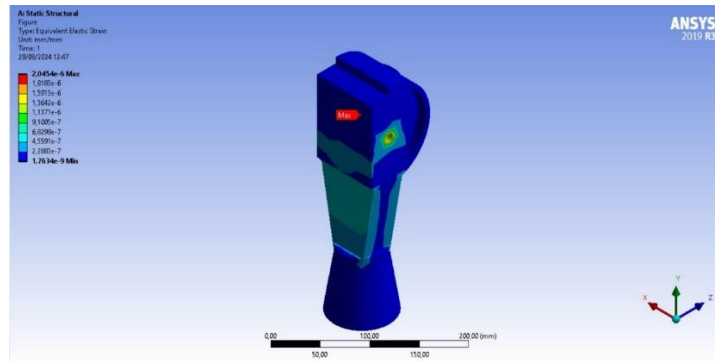
Hasil yang diperoleh dari simulasi dapat ditampilkan dalam bentuk tegangan pada leg 3 seperti terlihat pada Gambar 4.4 (a) dan (b). Kemudian Hasil simulasi Total *Deformation* maksimum ditunjukkan dilihat pada Gambar (b) dengan warna merah yaitu sebesar 0,0007074 mm. Gambar (a) terlihat gambar tersebut memiliki warna-warna berbeda serta dibagian ujung komponen dengan diberi arah gaya yang mengarah ke sumbu Z. Pada komponen ini diberi gaya pembebanan dengan nilai 11,97 N. Dimana tegangan tertinggi terjadi pada area ujung bawah pada metrial tersebut, dan hasil simulasi ini yang diberi tanda “Max” yang terlihat pada Gambar (b), hal ini perlu perhatian khusus yang di mana struktur mengalami perpindahan terbesar dan kemungkinan besar akan menjadi titik lemah di bawah beban dengan ini menunjukkan bahwa desain saat ini cukup baik.

## 2. Uji *Equivalent Elastic Strain*

Hasil simulasi pada komponen leg 3 ditunjukkan pada gambar berikut. Berdasarkan hasil yang didapat terjadi perbedaan distribusi regangan yang terjadi pada permukaan material. pada Gambar 4.5 distribusi yang terjadi pada tengah lubang poros memiliki nilai 2,0454 mm ini dapat dilihat dari sebaran warna yang berbeda distribusi pada hasil pengujian.



(a)



(b)

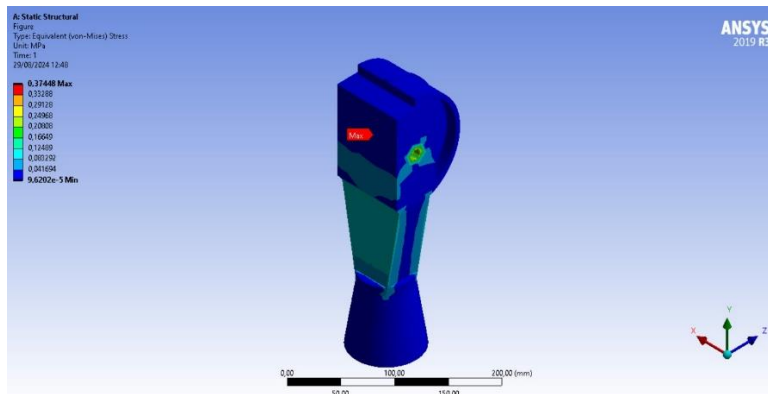
Gambar 4.5 Hasil simulasi Equivalent Elastic Strain (a) dan (b)

Selanjutnya Hasil simulasi dengan pengujian *Equivalent Elastic Strain* pada leg 3 nilai Maksimum *von mises stress* ditunjukkan dengan warna merah yang lokasi dibagian tengah lubang poros Hasil Simulasi sudah terlihat jelas pada Gambar (a) regangan terbesar terjadi diarea yang ditandai dengan warna merah. Regangan minimum terjadi diarea yang ditandai dengan warna biru tua. Pada Gambar (b) Area dengan regangan maksimum ditandai dengan label “Max” di bagian lubang poros tengah yang dilihat. Dengan di beri beban gaya 11,97 N yang mengarah ke sumbu Z terlihat pada Gambar (a). Simulasi ini menunjukkan regangan yang terjadi pada setiap sisi memiliki trend nilai yang meningkat, serta validasi dari material ini dengan Regangan total yang dihasilkan cukup kecil, menunjukkan bahwa objek memiliki kekakuan yang cukup tinggi di bawah kondisi beban yang dianalisis. Berdasarkan hasil simulasi ini, dengan regangan maksimum mungkin perlu diperkuat atau didesain ulang untuk mengurangi regangan dan meningkatkan kekakuan keseluruhan struktur. namun perbedaan yang terlihat pada warna merah memiliki nilai 2,0454 mm cenderung memiliki nilai yang konstant terlihat pada skala warna Gambar.

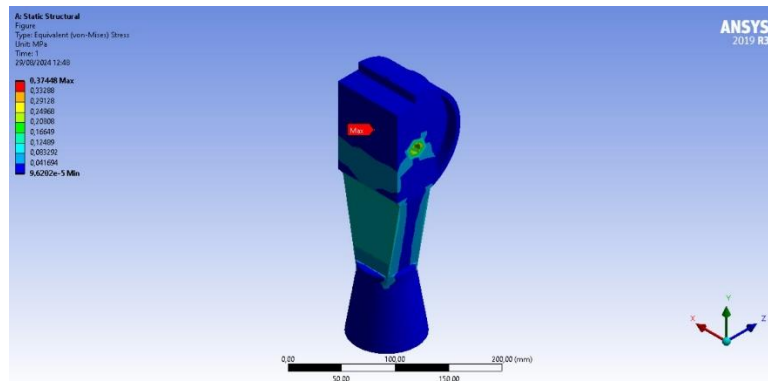
### 3. Uji *von mises stress*

Hasil simulasi pada setiap variasi uji *von mises* leg 3 ditunjukkan pada gambar berikut. Berdasarkan hasil yang di dapat terjadi perbedaan distribusi tegangan yang terjadi pada ujung tepi pada Gambar 4.6. Distribusi yang terjadi pada permukaan komponen memiliki nilai yang seragam dapat dilihat dari sebaran warna distribusi

pada hasil pengujian. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar (a), Material ini diberi gaya pembebanan dengan nilai 11,97 N.



(a)



(b)

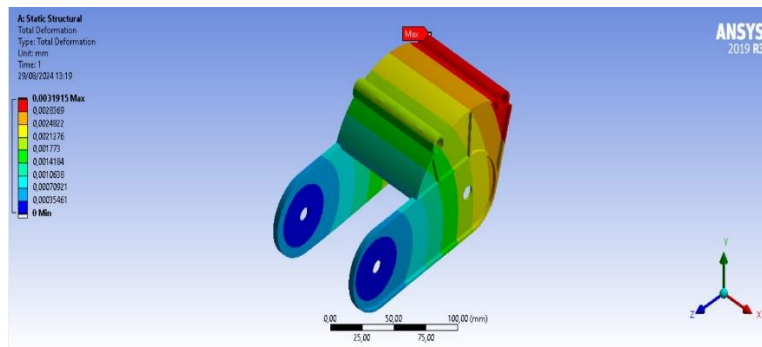
Gambar 4.6 Hasil simulasi *von mises stress* (a) dan (b)

Pada Gambar (a) Simulasi di lanjutkan pada ujung tepi dengan arah sumbu yang mengarah ke Z. Dengan ini hasil simulasi pada gambar (a) terdapat skala warna yang dapat membedakan distribusi tegangan pada objek, dengan warna: Biru Tua: Area dengan tegangan minimum, Hijau hingga Kuning: Area dengan tegangan yang lebih tinggi, dan Merah: Area dengan tegangan maksimum. Hasil simulasi menunjukkan terjadi perbedaan warna tegangan pada lubang poros dan terlihat jelas pada Gambar (a), ini dapat dilihat terdapatnya titik warna distribusi berbeda pada hasil simulasi. Perbedaan distribusi ini semakin terlihat jelas pada hasil simulasi dengan rentannya gaya yang di berikan, yang di tunjukkan pada Gambar (b). pada Gambar (b) diberikan penanda “Max”, ini dapat dilihat jelas di bagian lubang poros, hal ini menunjukkan yang ditandai dengan warna merah dengan nilai 0,3744 MPa. Dengan tegangan maksimum yang dihasilkan relatif kecil,

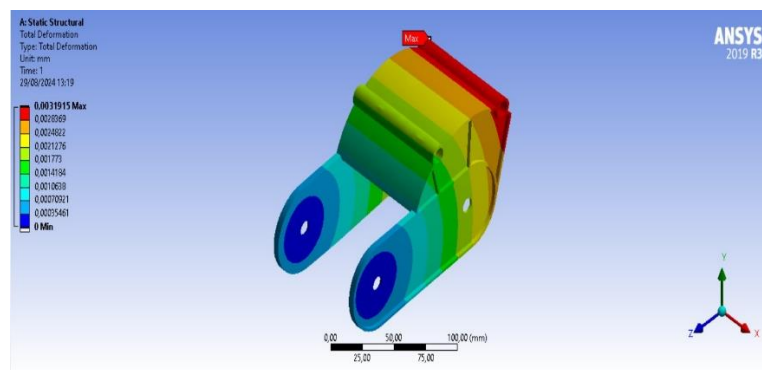
menunjukkan bahwa objek memiliki kekuatan yang cukup tinggi di bawah kondisi beban yang dianalisis. Hal ini bisa menunjukkan bahwa desain saat ini cukup baik jika tegangan dalam rentang yang dapat diterima untuk. Distribusi menjadi lebih merata dan sebaran ini sesuai dengan pada umumnya yang dimana area yang disambung beberapa sendi material memiliki permukaan yang lebih tangguh dibandingkan area permukaan lainnya.

#### 4. Uji Total *Deformation* Leg 2

Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa Leg 2 pada komponen mengalami deformasi yang sangat kecil, dengan maksimum sebesar 0,0031915 mm. Dengan beban gaya statis pada arah Y sebesar 17,9 N, hal ini bisa dilihat pada gambar (a) dengan menunjukkan pergerakan dari meterial tersebut. Bahwa komponen tersebut relatif kaku di bawah beban atau kondisi yang diterapkan. Pada Gambar 4.7 dapat dilihat titik warna merah yang berbeda pada hasil simulasi komponen.



(a)



(b)

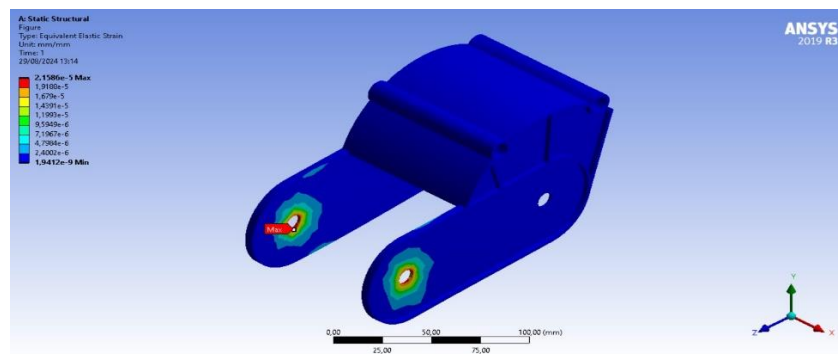
Gambar 4.7 Hasil simulasi total *deformation* (a) dan (b).

Hasil simulasi pada Gambar (a) menunjukkan bahwa perbedaan skala warna yang menunjukkan warna merah dengan menandakan titik-titik yang lebih banyak

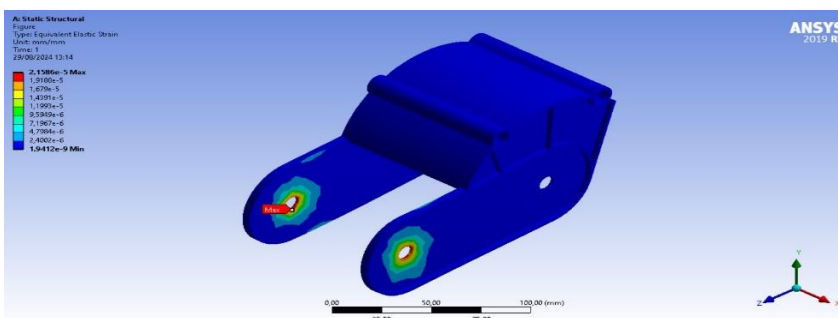
menerima beban atau tegangan. Kemudian dari hasil simulasi ini, area dengan perubahan tertinggi dapat menjadi fokus untuk perbaikan desain atau penguatan material. Hasil simulasi pada gambar (b) menunjukkan bahwa deformasi total pada komponen sebagian besar berada pada batas yang aman, dengan beberapa area yang mungkin memerlukan perhatian lebih lanjut untuk perbaikan desain atau penguatan.

### 5. Uji *Equivalent Elastic Strain*

Hasil dari simulasi yang menunjukkan pada gambar 4.8 distribusi regangan elastis yang setara dalam komponen tersebut dengan nilai maksimum sebesar 2.1586 mm. Dengan ini Distribusi yang terjadi pada permukaan komponen memiliki nilai yang berbeda dapat dilihat dari sebaran warna Area dengan regangan lebih tinggi disorot dengan warna yang lebih hangat (kuning hingga merah), pada hasil simulasi terlihat pada gambar (a) dengan gaya yang mengarah ke sumbu Y, kemudian diberi gaya dengan pembebanan 17,9 N, sementara rendah distribusi pada hasil pengujian. Dalam hasil simulasi gambar (a), menunjukkan apa yang terjadi pada komponen selama terjadinya simulasi.



(a)



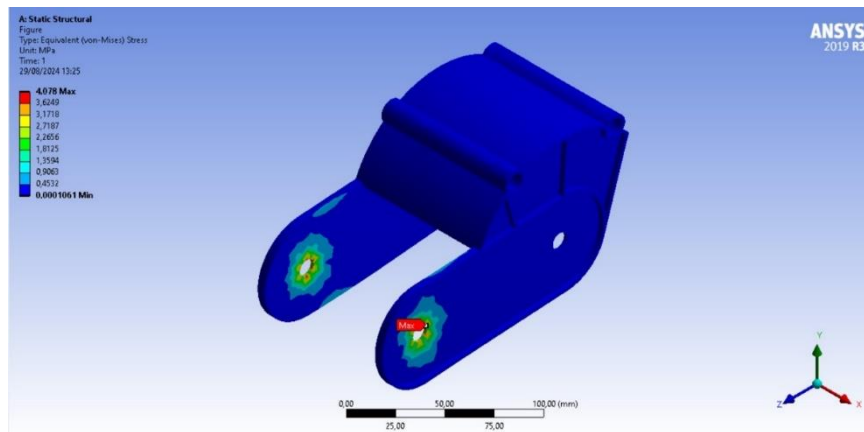
(b)

Gambar 4.8 Hasil simulasi *Equivalent Elastic Strain* (a) dan (b)

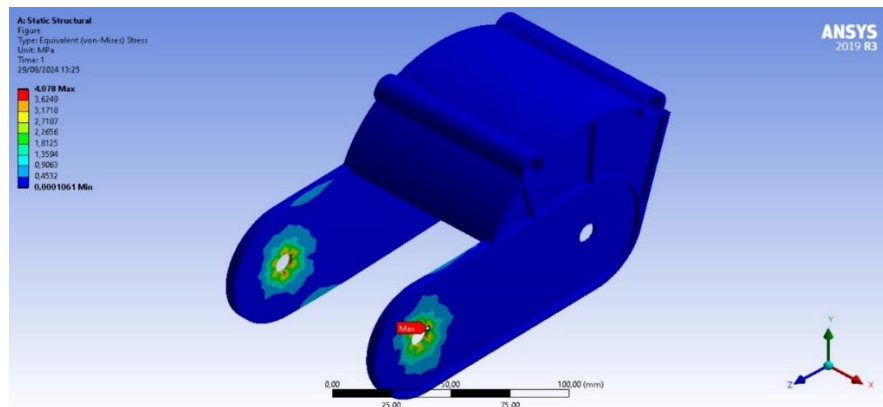
Pada gambar (b) Skala deformasi yang digunakan dalam simulasi ini berkisar dari 0 mm. Hasil simulasi ini dengan Skala warna di lubang penumpu berkisar dari biru tua hingga merah dilihat pada Gambar (b), menunjukkan nilai minimum dan maksimum regangan elastis yang setara.

## 6. Uji *Von Mises Stress*

Hasil dari simulasi leg 2 uji *Von Mises Stress* ditunjukkan pada gambar 4.9 berikut yang menunjukkan hasil analisis tegangan dengan memberikan tegangan *von Mises Stress*, yang merupakan ukuran umum yang digunakan untuk memprediksi material pada kondisi pembebanan yang kompleks. Hasil simulasi ini dilakukan pada kondisi statis struktural, dan waktu simulasi adalah 1 detik pada Gambar 4.9.



(a)



(b)

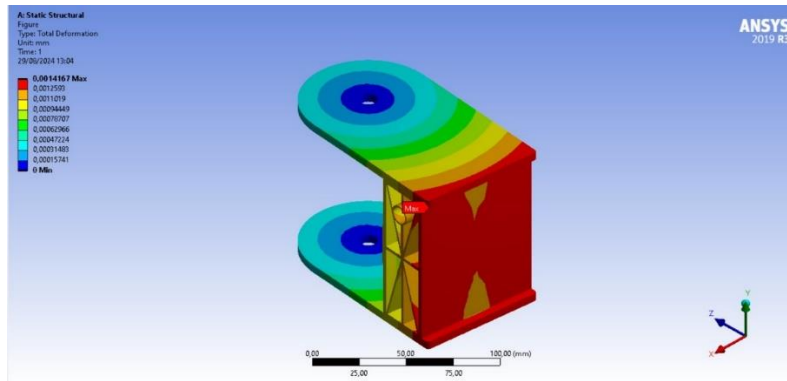
Gambar 4.9 Hasil simulasi *Von Mises stress* (a) dan (b)



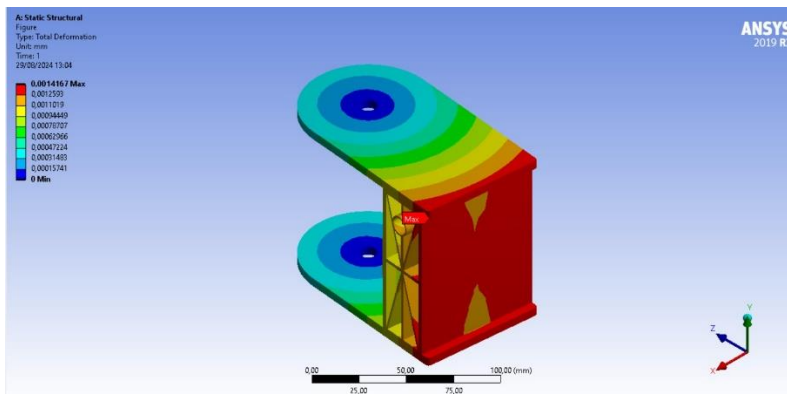
Selanjutnya pada Gambar (a) terlihat Skala penuh dan dimensi model ditampilkan dalam milimeter (mm), dengan skala horizontal dari 0 hingga 100 mm. Simulasi ini dilakukan dengan Berdasarkan investigasi yang dilakukan, pada Gambar (a) hasil simulasi sesuai dengan kondisi yang dilakukan dimana tegangan tertinggi terjadi diluar area lubang penumpu komponen dengan pembebanan 17,9 N untuk material tersebut dan arah gaya yang mengarah ke sumbu Y, bisa dilihat jelas pada Gambar potongan (b) area yang mengalami tegangan tertinggi berada di bagian atas model, dekat dengan titik konsentrasi beban atau sambungan. Hal ini ditunjukkan dengan melakukan investigasi yang dilakukan pada Gambar (b) di beberapa titik pada area yang telah ditetapkan gaya pada komponen. kemudian menunjukkan terlihat jelas Gambar (b) yang ditandai dengan warna yang lebih hangat (kuning hingga merah) dengan nilai 4.078 MPa, yang menunjukkan area dimana material berada di bawah tekanan lebih besar. Titik distribusi tegangan material yang ditunjukkan pada Gambar 4.9. Dapat disimpulkan bahwa desain model tersebut umumnya berada dalam batas tegangan yang aman, kecuali untuk area tertentu yang memerlukan perhatian lebih lanjut untuk memastikan tidak terjadi kegagalan mekanis di sana.

#### 7. Uji Total *Deformation* Leg 1

Dari hasil simulasi total *deformation* ditunjukkan pada gambar 4.10. Pada Gambar (a) dilihat dengan pembebanan torsi 35.25 N untuk material tersebut dan arah gaya yang mengarah ke sumbu X, dapat diketahui hasil *deformation* maksimum terjadi pada bagian depan sebesar 0,0012593 mm, sedangkan *deformation* minimum terjadi pada kaki belakang sebesar 0 mm. Maka Hasil simulasi untuk *deformasi* yang terjadi pada Material sistem penggerak dapat dilihat jelas pada Gambar (b) bahwa *deformation* paling tinggi terjadi pada Material penggerak lebih tepatnya pada permukaan atau face part penggerak tersebut, dengan menandakan titik-titik yang lebih banyak menerima beban atau tegangan. Hal ini dikarenakan part penggerak tersebut hanya bekerja sendirian atau bisa dikatakan sebagai satu – satunya penggerak yang ada.



(a)



(b)

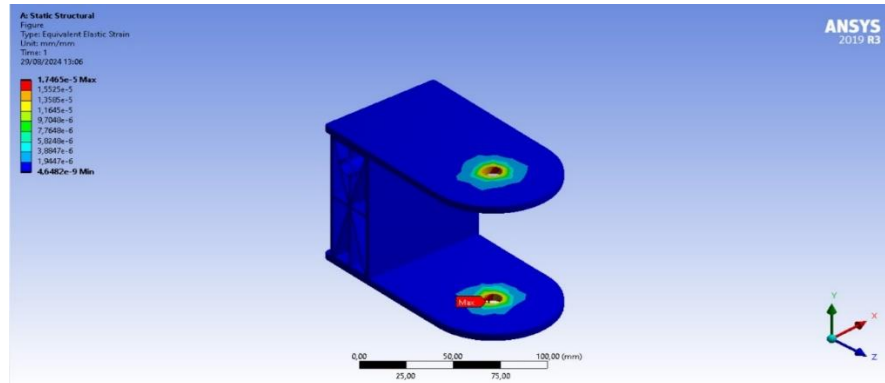
Gambar 4.10 Hasil simulasi Total *deformation* (a) dan (b)

Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar (b) diberikan penanda “Max”, ini dapat dilihat jelas di permukaan luar Material. Serta skala dan dimensi model ditampilkan dalam milimeter (mm), dengan skala horizontal dari 0 hingga 100 mm.

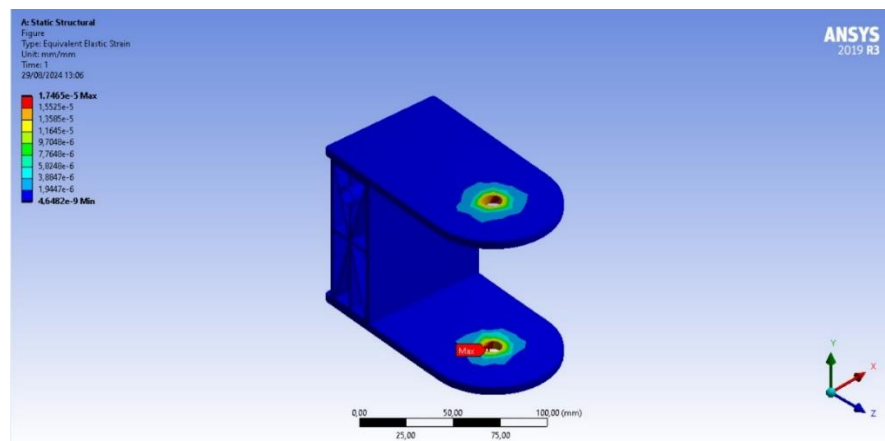
## 8. Uji *Equivalent Elastic Strain*

Dari hasil simulasi pada model yang dibangun diketahui bahwa regangan maksimum berada pada lokasi sekitar lubang atau titik penumpuan seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.11. Pada Gambar (a) gaya yang diberikan dengan nilai 35,28 N yang mengarah ke sumbu X. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai regangan tertinggi terkonsentrasi pada bagian lubang atau titik penumpuan komponen. Serta Gambar (b) menunjukkan bahawa area yang diberi tanda ”Max” ini mengalami konsentrasi tegangan yang tinggi dan Nilai regangan maksimum yang dihasilkan dalam simulasi, pada simulasi ini diberi tanda berwarna merah

dengan nilai 1,7465 mm dari tegangan yang dihasilkan dilihat pada Gambar (b). Sedangkan warna biru menunjukkan area dengan regangan terendah. Namun, dikarenakan Sebagian besar area komponen berada dalam menarik regangan yang rendah, yang berarti komponen tersebut tidak mengalami perubahan di area tersebut.



(a)



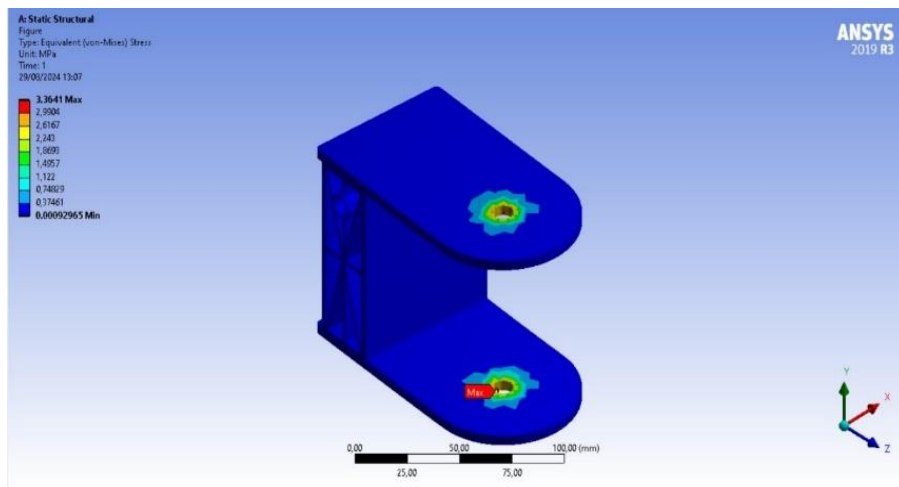
(b)

Gambar 4.11 Hasil simulasi *Equivalent Elastic Strain* (a) dan (b)

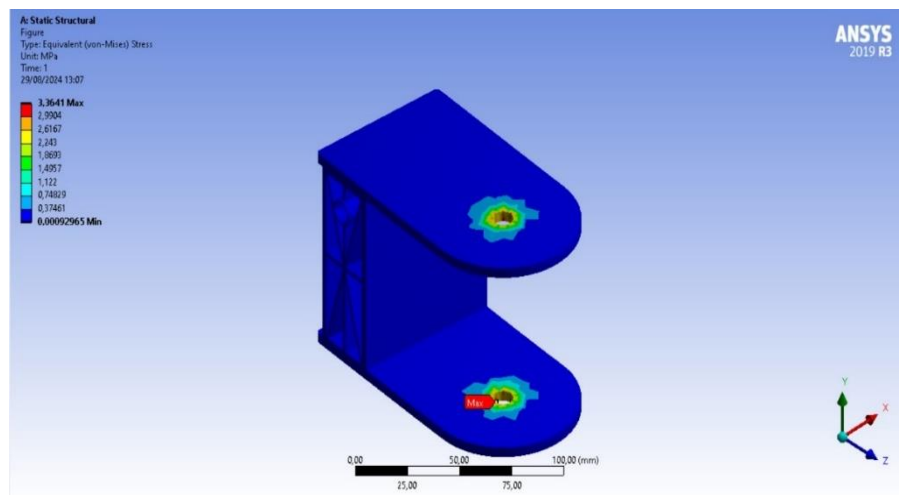
## 9. Uji *von mises stress*

Hasil simulasi *von mises stress* pada leg 1 ditunjukkan pada Gambar 4.17. Gambar (a) leg 1 menerima beban gaya statis pada arah x sebesar 35,28 N dan juga mengalami beban shear pada area lubang penumpu. Maksimum *von mises stress* ditunjukkan dengan warna merah yaitu sebesar 3,3641 MPa yang lokasi dibagian lubang atau titik penumpuan. Secara grafis, defleksi pada material dan tegangan *Von Mises stress* diperlihatkan pada gambar (a). Area dengan tegangan maksimum ditandai dengan label “Max” di bagian atas komponen, dekat dengan

titik penumpuan dan terlihat pada Gambar (b). Sedangkan tegangan geser yang terjadi pada Gambar (a) sebesar 3,3641 Mpa. Dimana maximum tegangan geser terjadi di area titik penumpuan. Jika tegangan *Von mises stress* yang terdeteksi melebihi kekuatan material, maka ada resiko kegagalan material pada titik tersebut. Untuk mengetahui distribusi tegangan, regangan dan *von mises stress* yang terjadi akibat beban impact pada salah satu sisi miring trapesium berongga dapat disimulasikan dengan menggunakan program Ansys 2019 R3 Workbench. Hasil pengujian impact pada salah satu lubang atau titik penumpu dapat dilihat pada gambar (b).



(a)



(b)

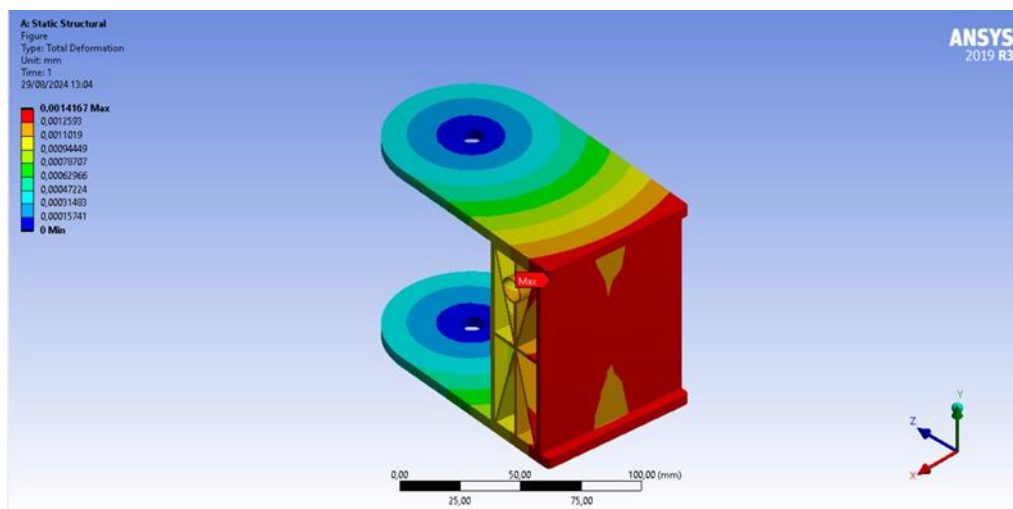
Gambar 4.12 Hasil simulasi *Von Mises stress* (a) dan (b)

#### 4.3 Hasil pengujian kekuatan Struktur Lengan Robot 3-Dof

Berikut hasil simulasi kekuatan struktur lengan Robot 3-Dof menggunakan Ansys dengan 3 output yaitu *Total Deformation*, *Equivalent Elastic Strain*, *Von Mises stress* ditunjukkan sebagai berikut.

##### 1. Uji Total *Deformation* Leg 1

Hasil uji statis yang diperoleh dari simulasi menggunakan program Ansys 2019 R3 terlihat pada Gambar 4.13. *Workbench* adalah berupa respon dari specimen dalam bentuk tegangan, regangan dan total deformasi. Kemudian Total deformasi yang dialami komponen adalah perubahan bentuk spesimen saat dikenai gaya.

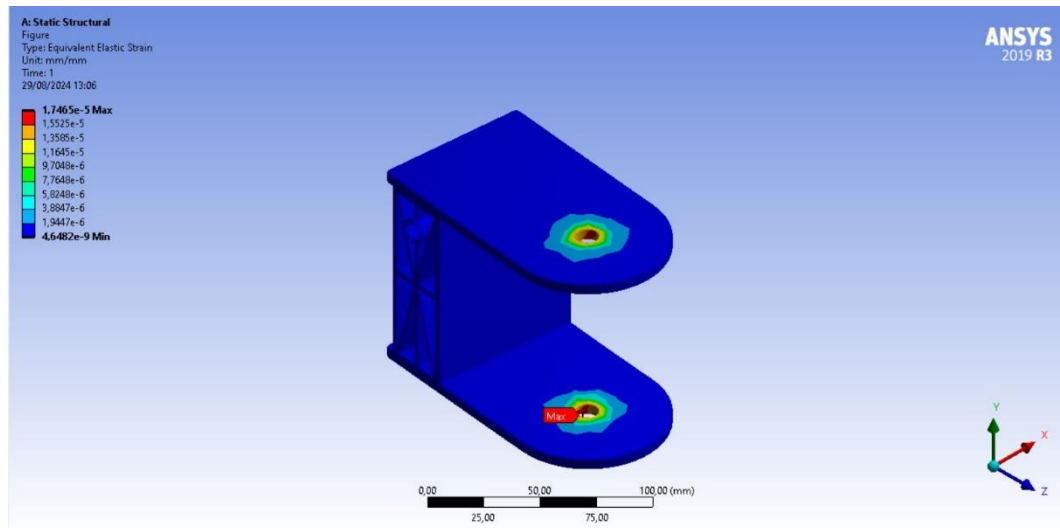


Gambar 4.13 Hasil simulasi kekuatan struktur Leg 1 *Total Deformation*

Selain Melakukan simulasi untuk mengetahui kekuatan struktur pada Leg 1 juga dilakukan terhadap komponen. Pada Komponen Leg 1 diberikan gaya torsi sebesar 35,28 N dan arah gaya yang mengarah ke sumbu X. Hasil dari simulasi tersebut dapat dilihat tegangan maksimum sebesar 0,0014167 mm, sedangkan *deformation* minimum terjadi pada kaki belakang sebesar 0 mm. Pada simulasi ini untuk mengetahui kekuatan struktur diberi tanda berwarna merah dengan menandakan titik-titik yang lebih banyak menerima beban atau tegangan, Sedangkan warna biru menunjukkan area dengan regangan terendah terlihat pada Gambar 4.13.

## 2. Uji *Equivalent Elastic Strain*

Hasil uji statis yang diperoleh dari simulasi kekuatan struktur menggunakan program Ansys 2019 R3 terlihat pada Gambar 4.13. *Workbench* adalah berupa respon dari specimen dalam bentuk tegangan, regangan dan *Equivalent Elastic Strain*. Kemudian perubahan yang dialami komponen adalah perubahan bentuk spesimen saat dikenai gaya.

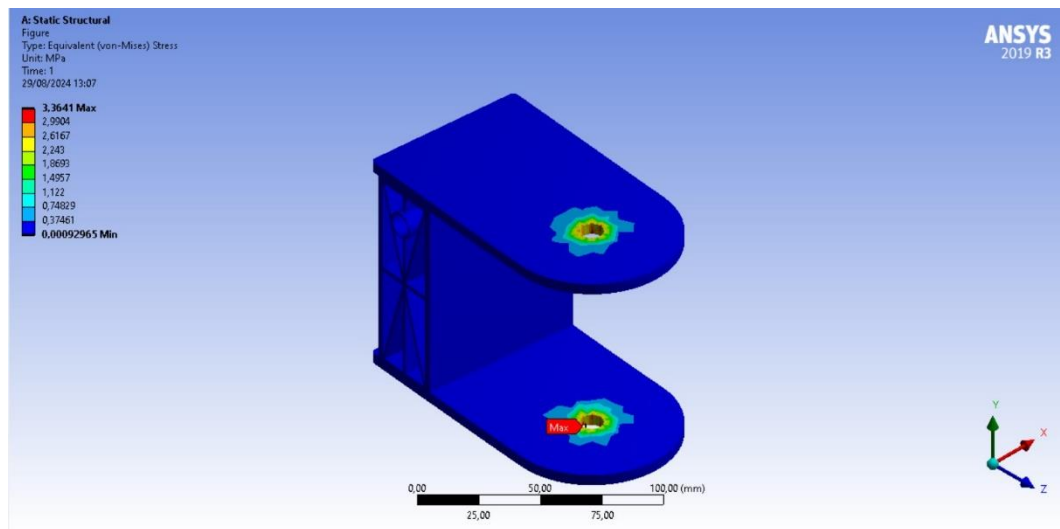


Gambar 4.14 Hasil simulasi kekuatan struktur Leg 1 *Equivalent Elastic Strain* Selanjutnya dari hasil simulasi kekuatan struktur pada model yang dibangun diketahui bahwa regangan maksimum berada pada lokasi sekitar lubang atau titik penumpu seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.14. Pada material gaya yang diberikan dengan nilai 35,28 N yang mengarah ke sumbu X. Pada simulasi kekuatan struktur ini diberi tanda berwarna merah dengan nilai 1,7465 mm dari tegangan yang dihasilkan dilihat pada Gambar (b). Sedangkan warna biru menunjukkan area dengan regangan terendah. Namun, dikarenakan Sebagian besar area komponen berada dalam menarik regangan yang rendah, yang berarti komponen tersebut tidak mengalami perubahan di area tersebut.

## 3. Uji von mises stress

Hasil uji statis yang diperoleh dari simulasi kekuatan struktur menggunakan program Ansys 2019 R3 terlihat pada Gambar 4.13. *Workbench* adalah berupa respon dari specimen dalam bentuk tegangan, regangan dan *von mises stress*.

Kemudia perubahan yang dialami komponen adalah perubahan bentuk spesimen saat dikenai gaya.

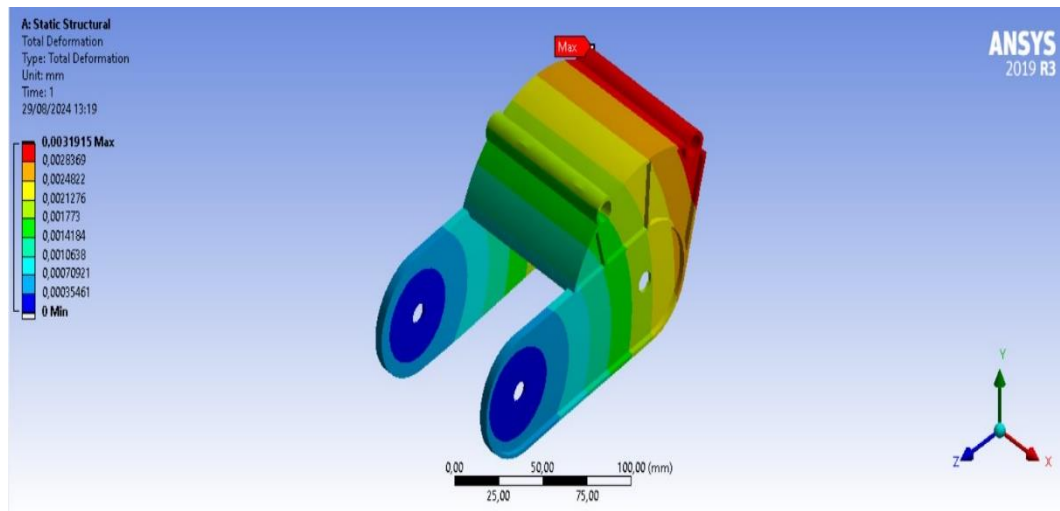


Gambar 4.15 Hasil simulasi kekuatan struktur Leg 1 *Von Mises stress*

Hasil simulasi kekuatan struktur Secara grafis, defleksi pada material dan tegangan *Von Mises stress* diperlihatkan pada gambar. Hal ini menerima beban gaya statis pada arah x sebesar 35,28 N dan juga mengalami beban shear pada area lubang penumpu. Maksimum von mises stress ditunjukkan dengan warna merah yaitu sebesar 3,3641 MPa yang lokasi dibagian lubang atau titik penumpuan. Dan dimana terjadinya maximum tegangan geser terjadi di area titik penumpuan. Jika tegangan *Von mises stress* yang terdeteksi melebihi kekuatan material, maka ada resiko kegagalan material pada titik tersebut.

#### 4. Uji Total Deformation Leg 2

Hasil uji statis yang diperoleh dari simulasi kekuatan struktur menggunakan program Ansys 2019 R3 terlihat pada Gambar 4.16. *Workbench* adalah berupa respon dari specimen dalam bentuk tegangan, regangan dan Total Deformation. Kemudia perubahan yang dialami komponen adalah perubahan bentuk spesimen saat dikenai gaya.



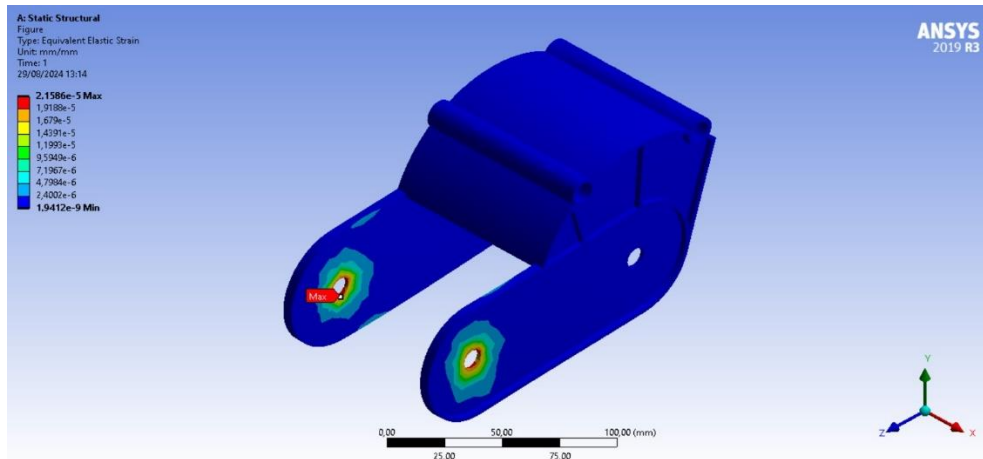
Gambar 4.16. Hasil simulasi kekuatan struktur Leg 2 Total Deformation

Hasil simulasi kekuatan struktur bahwa Leg 2 pada komponen mengalami perubahan yang sangat kecil, dengan maksimum sebesar 0,0031915 mm. Dengan beban gaya statis pada arah Y sebesar 17,9 N, hal ini beban yang di berikan pada titik penumpuan atau lubang dengan ini menunjukkan pergerakan dari meterial tersebut. Bahwa komponen tersebut relatif kaku di bawah beban atau kondisi yang diterapkan. Hasil simulasi kekuatan struktur ini pada menunjukkan bahwa perubahan total pada komponen sebagian besar berada pada batas yang aman, dengan beberapa area yang mungkin memerlukan perhatian lebih lanjut untuk perbaikan desain atau penguatan. Hasil simulasi kekuatan struktur ini dengan perbedaan Skala warna di sebelah kiri berkisar dari biru tua hingga merah dilihat pada Gambar, menunjukkan nilai minimum dan maksimum regangan elastis yang setara.

#### 4. Uji *Equivalent Elastic Strain* Leg 2

Hasil simulasi kekuatan struktur menggunakan program Ansys 2019 R3 terlihat pada Gambar 4.17. Workbench adalah berupa respon dari specimen dalam bentuk tegangan, regangan dan *Equivalent Elastic Strain* dan kondisi batas pada simulasi sudah ditetapkan maka langkah selanjutnya adalah melakukan running simulasi menggunakan *software Ansys Workbench* 2019 R3. Gambar 4.17 merupakan hasil simulasi kekuatan struktur yang didapatkan, hasil yang didapatkan sebagai berikut.

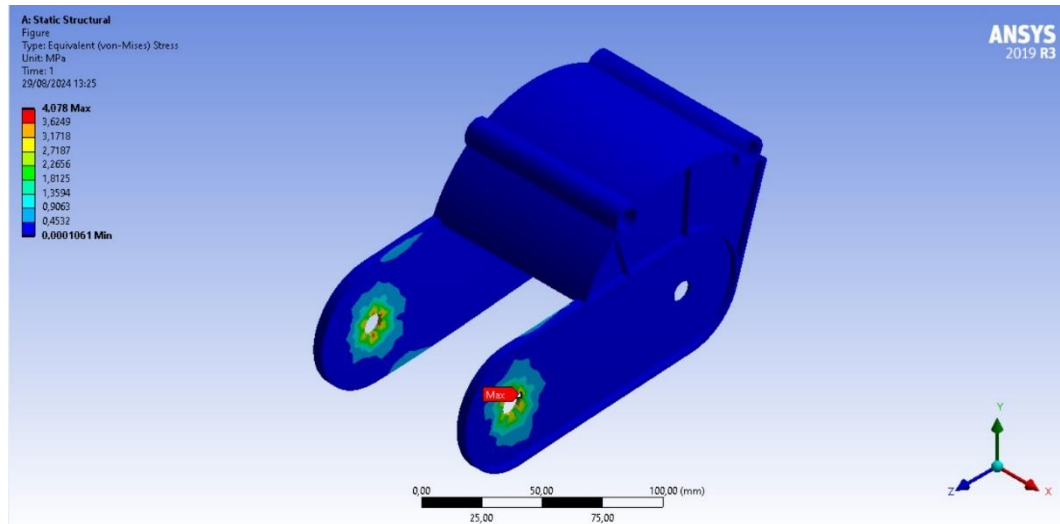




Gambar 4.17. Hasil simulasi kekuatan struktur Leg 2 *Equivalent Elastic Strain*. Hasil dari simulasi yang menunjukkan pada gambar 4.17 distribusi regangan elastis yang setara dalam komponen tersebut dengan nilai maksimum sebesar 1,7465 mm. Dari hasil simulasi terlihat ini dengan gaya yang mengarah ke sumbu Y, kemudian diberi gaya dengan pembebanan 35,28 N, sementara rendah distribusi pada hasil pengujian. Dalam hasil simulasi kekuatan struktur yang menunjukkan area di mana material berada di bawah tekanan lebih kecil. Skala perubahan yang digunakan dalam simulasi ini berkisar dari 0 mm. Hasil dari simulasi ini dengan Skala warna di sebelah kiri berkisar dari biru tua hingga merah dilihat pada Gambar, menunjukkan nilai minimum dan maksimum regangan elastis yang setara.

##### 5. Uji *Von Mises Stress* Leg 2

Hasil simulasi kekuatan struktur menggunakan program Ansys 2019 R3 terlihat pada Gambar 4.18. Workbench adalah berupa respon dari specimen dalam bentuk tegangan, regangan dan *Von Mises Stress* dan kondisi batas pada simulasi sudah ditetapkan maka langkah selanjutnya adalah melakukan running simulasi menggunakan software Ansys Workbench 2019 R3. Gambar 4.18 merupakan hasil simulasi kekuatan struktur yang didapatkan, hasil yang didapatkan sebagai berikut.

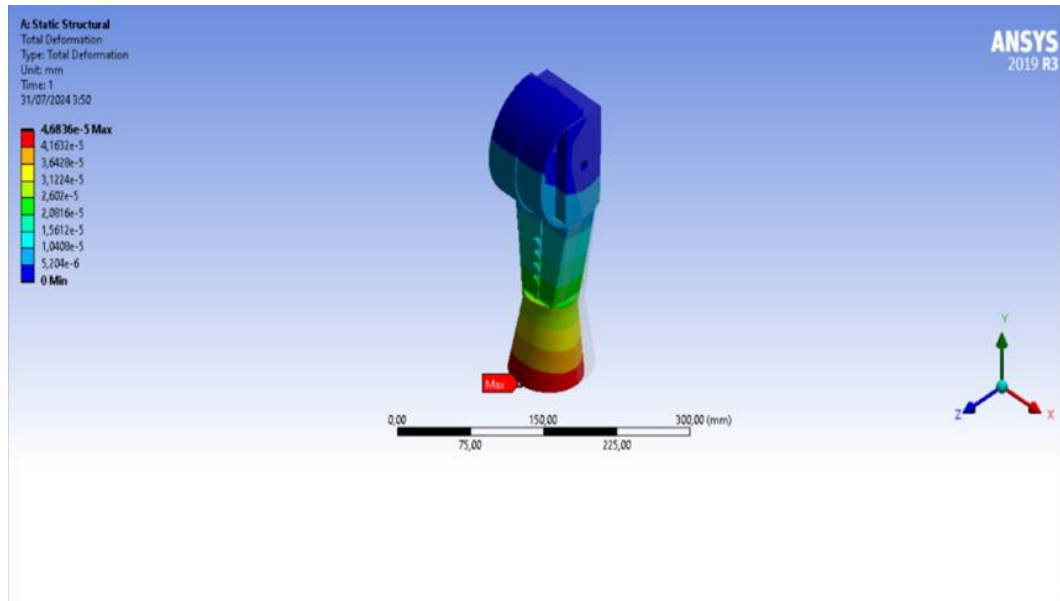


Gambar 4.18. Hasil simulasi kekuatan struktur Leg 2 *Von Mises Stress*

Hasil simulasi kekuatan struktur sesuai dengan kondisi eksperimen yang dilakukan dimana tegangan tertinggi terjadi diluar area tengah komponen dengan pembebanan 17,9 N untuk material tersebut dan arah gaya yang mengarah ke sumbu Y. pada material area yang mengalami tegangan tertinggi berada di bagian tengah model, dekat dengan titik konsentrasi beban atau tengah dalam. Kemudian menunjukkan terlihat jelas yang ditandai dengan warna yang lebih hangat (kuning hingga merah) dengan nilai 4,078 MPa, yang menunjukkan area di mana material berada di bawah tekanan lebih besar. Dapat disimpulkan bahwa kekuatan struktur desain model tersebut umumnya berada dalam batas tegangan yang aman, kecuali untuk area tertentu yang memerlukan perhatian lebih lanjut untuk memastikan tidak terjadi kegagalan mekanis.

#### 6. Uji Total *Deformation* Leg 3

Hasil simulasi kekuatan struktur menggunakan program Ansys 2019 R3 terlihat pada Gambar 4.19. Workbench adalah berupa respon dari specimen dalam bentuk tegangan, regangan dan Total *Deformation* dan kondisi batas pada simulasi sudah ditetapkan maka langkah selanjutnya adalah melakukan running simulasi menggunakan software Ansys Workbench 2019 R3. Gambar 4.19 merupakan hasil simulasi kekuatan struktur yang didapatkan, hasil yang didapatkan sebagai berikut.



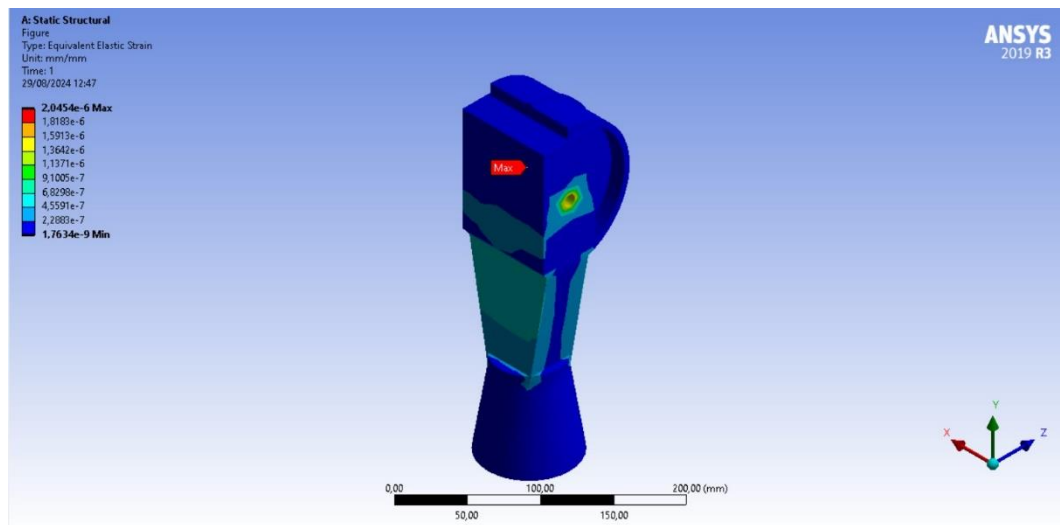
Gambar 4.19. Hasil simulasi kekuatan struktur Leg 3 Total *Deformation*

Hasil yang diperoleh dari simulasi kekuatan struktur dapat ditampilkan dalam bentuk tegangan pada leg 3 seperti terlihat pada Gambar 4.19. Kemudian Hasil simulasi Total *Deformation* maksimum ditunjukkan dengan warna merah yaitu sebesar 4,683 mm. Pada hasil kekuatan struktur terlihat memiliki warna-warna berbeda serta dibagian ujung tepi komponen dengan diberi arah gaya yang mengarah ke sumbu Z. Pada material ini diberi gaya pembebanan dengan nilai 11,97 N, dimana tegangan tertinggi terjadi pada area ujung bawah pada material tersebut, dan hasil simulasi ini yang diberi tanda “Max”. Dimana struktur kekuatan pada material ini mengalami perpindahan terbesar dan kemungkinan besar akan menjadi titik lemah di bawah beban dengan ini menunjukkan bahwa desain saat ini cukup baik jika perubahan dalam rentang yang dapat diterima untuk aplikasi spesifik.

#### 7. Uji *Equivalent Elastic Strain* Leg 3

Hasil simulasi kekuatan struktur menggunakan program Ansys 2019 R3 terlihat pada Gambar 4.20. *Workbench* adalah berupa respon dari specimen dalam bentuk tegangan, regangan dan *Equivalent Elastic Strain* dan kondisi batas pada simulasi sudah ditetapkan maka langkah selanjutnya adalah melakukan running simulasi menggunakan software Ansys Workbench 2019 R3. Gambar 4.20

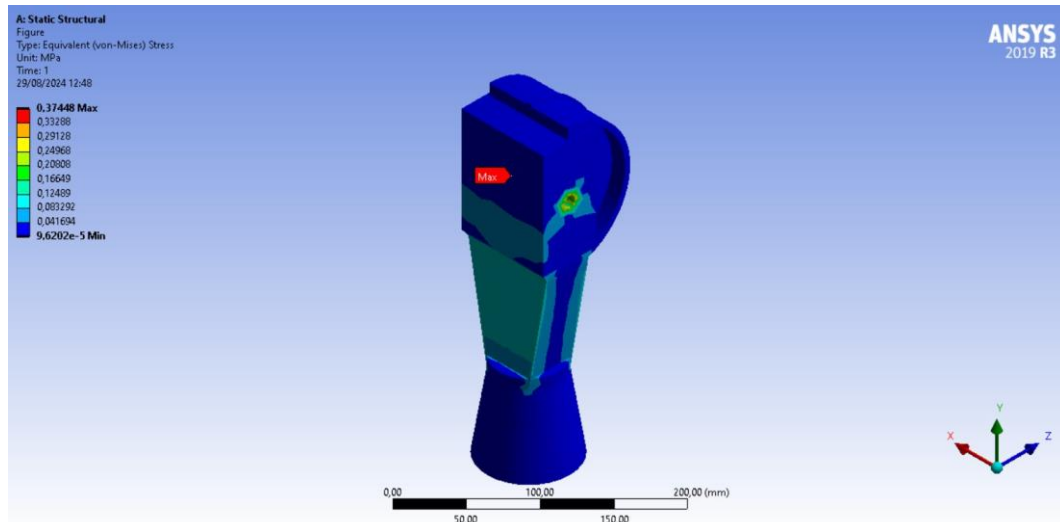
merupakan hasil simulasi kekuatan struktur yang didapatkan, hasil yang didapatkan sebagai berikut.



Gambar 4.20. Hasil simulasi kekuatan struktur *Equivalent Elastic Strain Leg 3* Selanjutnya Hasil simulasi dengan pengujian *Equivalent Elastic Strain* pada leg 3 nilai Maksimum von mises stress ditunjukkan dengan warna merah yang lokasi dibagian ujung tepi. Hasil Simulasi kekuatan struktur sudah terlihat jelas regangan terbesar terjadi diarea yang ditandai dengan warna merah. Regangan minimum terjadi diarea yang ditandai dengan warna biru tua. Pada area dengan regangan maksimum ditandai dengan label “Max” di bagian ujung tepi yang dilihat. Dengan di beri beban gaya 11,97 N yang mengarah ke sumbu Z terlihat pada Gambar. Berdasarkan hasil simulasi kekuatan struktur pada material ini, dengan regangan maksimum mungkin perlu diperkuat atau didesain ulang untuk mengurangi regangan dan meningkatkan kekakuan keseluruhan struktur. namun perbedaan yang terlihat pada warna merah memiliki nilai 2,0454 mm cendrung memiliki nilai yang konstant terlihat pada skala warna Gambar.

#### 8. Uji *von mises stress* Leg 3

Hasil simulasi kekuatan struktur menggunakan program Ansys 2019 R3 terlihat pada Gambar 4.21. Workbench adalah berupa respon dari specimen dalam bentuk tegangan, regangan dan von mises stress Leg 3, Kondisi batas pada simulasi sudah ditetapkan maka langkah selanjutnya adalah melakukan running simulasi menggunakan software Ansys Workbench 2019 R3. Gambar 4.21 merupakan hasil simulasi kekuatan struktur yang didapatkan, hasil yang didapatkan sebagai berikut.



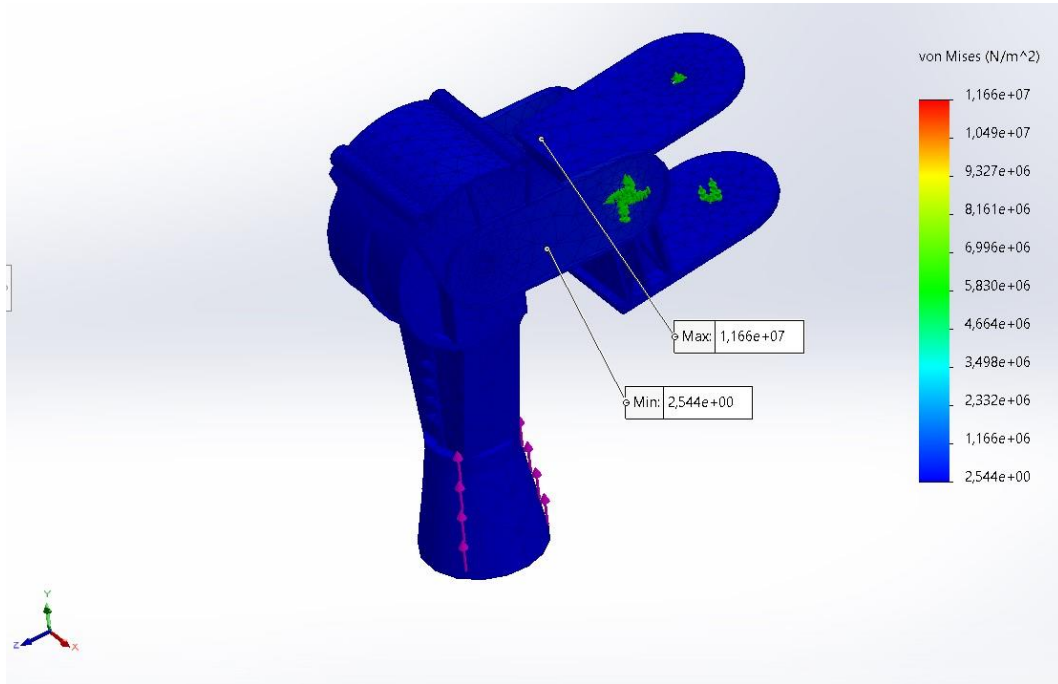
Gambar 4.21. Hasil simulasi kekuatan struktur Leg 3 *von mises stress*

Dari hasil simulasi kekuatan struktur Leg 3 di lanjutkan pada ujung tepi dengan arah sumbu yang mengarah ke Z. Dengan ini hasil simulasi terdapat skala warna yang dapat membedakan distribusi tegangan pada objek, dengan warna: Biru Tua: Area dengan tegangan minimum, Hijau hingga Kuning: Area dengan tegangan yang lebih tinggi, dan Merah: Area dengan tegangan maksimum. Hasil simulasi kekuatan struktur Material ini diberi gaya pembebanan dengan nilai 11,97 N. Pada Gambar 4.21 diberikan penanda “Max”, ini dapat dilihat jelas di ujung area ujung tepi, hal ini menunjukkan yang ditandai dengan warna merah dengan nilai 0,05159 MPa. Dengan tegangan maksimum yang dihasilkan relatif kecil, menunjukkan bahwa objek memiliki kekuatan yang cukup tinggi di bawah kondisi beban yang dianalisis. Hal ini bisa menunjukkan bahwa desain saat ini cukup baik jika tegangan dalam rentang yang dapat diterima untuk aplikasi spesifik.

#### 4.4 Hasil Simulasi Kontak Pada Lengan Robot 3-Dof

Hasil simulasi kontak lengan Robot dengan 3 output yaitu *von mises*, *Equivalent strain*, *Deformation* di tunjukkan pada gambar (a), (b), (c).

##### 1. Hasil simulasi Kontak Von Mises

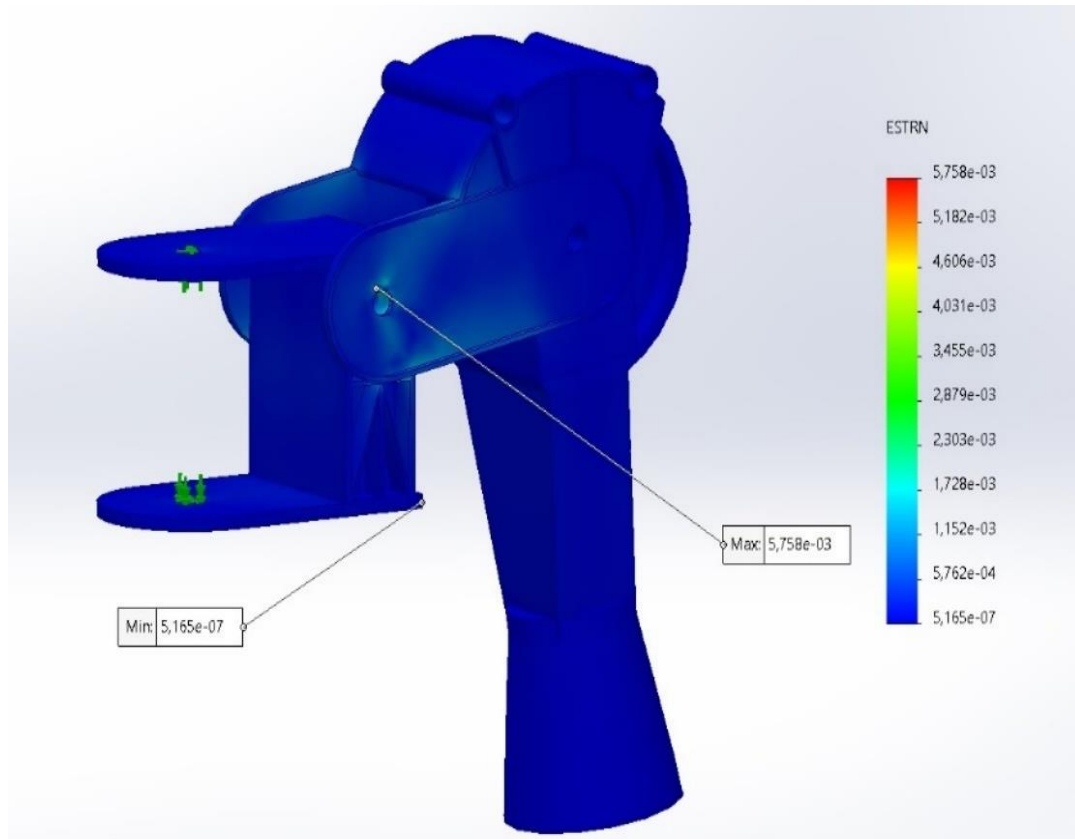


(a)

Gambar 4.22 Hasil Simulasi Von Mises

Pada hasil simulasi Von Mises dengan titik maximum terlihat dibagian sambungan dalam yang terjadi pada bagian leg 1, leg 2 dengan nilai 1,166 Mpa pada bagian ini yang berwarna merah menandakan titik paling tinggi rentan terjadinya kerusakan pada bagian tersebut. Pada leg1 pembebanan gaya 11,97 N, pada arah sumbu z.

## 2. Hasil Simulasi kontak *Equivalent Strain*

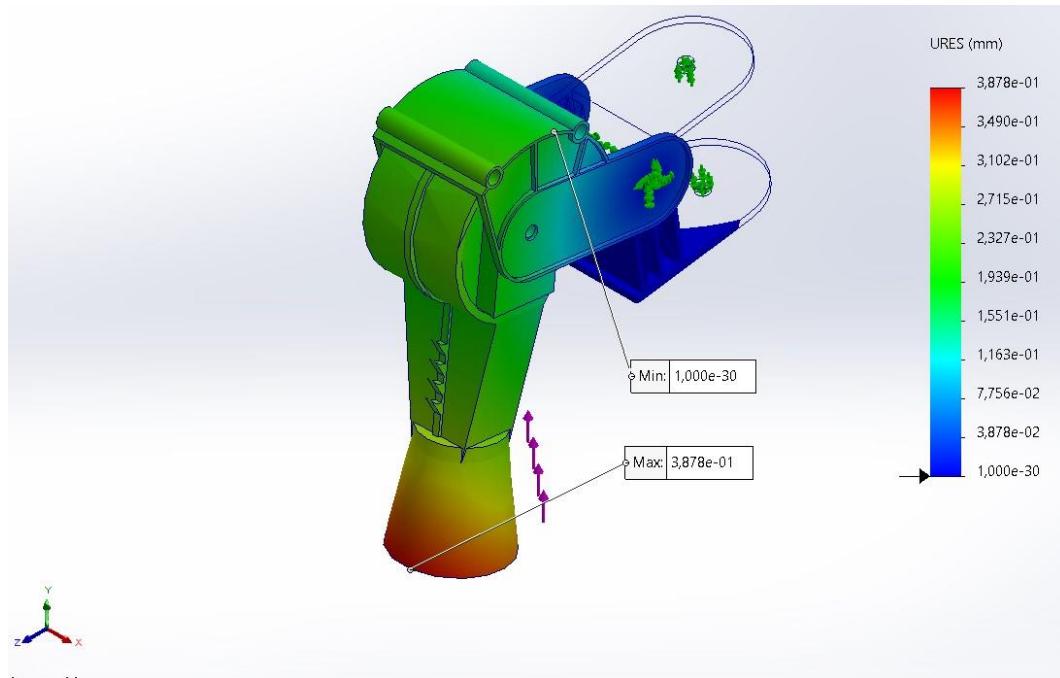


(b)

Gambar 4.23 Hasil Simulasi Kontak *Equivalent Strain*

Hasil simulasi Equivalent kontak pada kaki robot dengan titik maximum yang terlihat dibagian sambungan dalam yang terjadi pada bagian leg 1, leg 2 dengan nilai 5,758 mm, pada warna biru dengan menandai nilai minimum. Serta pada bagian ini yang berwarna merah menandakan titik paling tinggi rentan terjadinya kerusakan pada bagian tersebut. Pada bagian pembebanan diberi torsi 11,97 N, dengan memberikan gaya tetap pada leg 1. Lalu pada hasil simulasi kontak material ini dengan diberi gaya ke arah sumbu z.

### 3. Hasil Simulasi kontak *Deformation*



(c)

Gambar 4.24 Hasil simulasi Kontak *Deformation*

Hasil simulasi kontak displasman pada kaki robot dengan titik maximum pada bagian ujung bawah dalam yang terjadi pada bagian leg 3, leg 2 dengan nilai 3,878 mm, pada warna biru dengan menandai nilai minimum. Serta pada bagian ini yang berwarna merah menandakan titik paling tinggi rentan terjadinya kerusakan pada bagian tersebut. Pada leg 1 pembebanan gaya 11,97 N, dengan memberikan gaya tetap pada leg1. Lalu pada hasl simulasi kontak material ini dengan diberi gaya ke arah sumbu z.



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### 5.1 Kesimpulan

Analisis numerik lengan robot 3 DOF telah berhasil di laksanakan berdasarkan analisis berikut ini:

1. Desain dan model kaki robot sar 3 dof telah berhasil dilakukan dan dibuat
2. Hasil simulasi menunjukkan tegangan maksimum terjadi pada titik-titik tertentu. Pada Leg 1 tegangan yang terjadi sebesar 3,3641Mpa dengan deformasi sebesar 0,0014167mm. Distribusi tegangan tertinggi terjadi pada area lubang penumpu serta tengah lubang poros yang diberi tanda "MAX" atau diberi warna merah pada tiap tegangan tertinggi. Dan pada leg 1 diberi gaya ke arah sumbu X. Pada leg 2 tegangan yang terjadi sebesar 4.078 MPa dengan deformasi 0,0031915 mm. Distribusi tegangan tertinggi terjadi pada area lubang ujung penumpu yang diberi tanda "MAX" dengan diberi arah gaya pembebanan ke sumbu Y. Pada leg 3 tegangan yang terjadi sebesar 0,05159 Mpa dengan deformasi sebesar 4,683 mm. Kemudian letak tegangan tertinggi terjadi pada bagian dalam lubang poros serta arah dari gaya pembebanan mengarah ke sumbu Z. Assembly kaki robot dengan properties kontak berjenis Friction menunjukkan distribusi tertinggi terjadi pada sambungan leg 1 dan leg 2 dibagian lubang poros penumpuan dengan tegagan maximum sebesar 1,166 Mpa dan deformasi sebesar 3,878 mm dengan memberi gaya pembebana sebesar 11,97 yang mengarah pada sumbu Z.
3. berdasarkan hasil simulasi desain kaki robot dalam kategori aman karna tegangan maksimum yang terjadi pada setiap leg dan simulasi kontak memiliki nilai dibawah dari tegangan maksimum material berjenis PET dimana tegangan maksimum yang dapat diterima PET sebesar 100 MPa

## 5.2 Saran

Diperlukan investigasi lanjutan untuk melakukan optimalisasi lanjutan menggunakan metode topologi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, T., Mardiono, M., Lestari, S. W., & Yanto, N. W. (2021). Rancang Bangun Sistem Pemilah Dan Pemindah Barang Berdasarkan Ketinggian Barang Menggunakan Lengan Robot 5 Dof dengan Perekaman Data Berbasis Labview 2015 dan Arduino Mega 2560. *Jurnal Teknologi*, 8(2), 110–120. <https://doi.org/10.31479/jtek.v8i2.73>
- Amir, A., & Suwardoyo, U. (2023). *3-DOF*. 10(1).
- Andrian, A., Rahmadewi, R., & Bangsa, I. A. (2020). ARM ROBOT PEMINDAH BARANG (AtwoR) MENGGUNAKAN MOTOR SERVO MG995 SEBAGAI PENGGERAK ARM BERBASIS ARDUINO. *Electro Luceat*, 6(2), 142–155. <https://doi.org/10.32531/jelekn.v6i2.226>
- Anggi, J. M., & Iklima, Z. (2021). Robot Lengan 4 Derajat Kebebasan Menggunakan Tampilan Antarmuka Pengguna Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknologi Elektro*, 12(3), 134. <https://doi.org/10.22441/jte.2021.v12i3.006>
- Anggraini, L., & Akib, F. (2021). *Aplikasi edukasi mitigasi dan pelaporan kejadian bencana berbasis android*. 1(2), 1–10.
- Arief, U. M. (2011). Pengujian Sensor Ultrasonik PING untuk Pengukuran Level Ketinggian dan Volume Air. *Jurnal Ilmiah “Elektrikal Enjiniring” UNHAS*, 09(02), 72–77.
- Aulia, D. S., Setianingsih, C., & Kallista, M. (2021). Deteksi Tanda Kehidupan Pada Korban Bencana Alam Dengan Algoritma Yolo Dan Open Pose. *E-Proceeding of Engineering*, 8(5), 6162–6174.
- Awwaluddin, M., & Purwanta, E. (2014). Analisis Statik Support Pemegang Sumber Pada Prototip Pencitraan Peti Kemas Menggunakan Ansys. *Jurnal Perangkat Nuklir*, 8(1), 32–39.
- Balisanislam, Herry Sufyan Hadi, & Bambang Sampurno. (2021). Studi Numerik Simulasi Robot Pembersih Kaca pada Gedung Bertingkat. *J-Eltrik*, 1(1), 20. <https://doi.org/10.30649/je.v1i1.20>
- Budiman, J. S., Desvabrahma, R. L., Ayega, I. H., & Tamba, T. A. (2022). Sistem Penentuan Lokasi Objek Target Untuk Manipulator Lengan Robot Berbasis Sensor Penglihatan Biaya Rendah. *Jurnal Otomasi Kontrol Dan*

- Instrumentasi*, 14(1), 21–30. <https://doi.org/10.5614/joki.2022.14.1.3>
- Dapas, S. O. (2011). Analisis Struktur Rangka Batang. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 1(2), 156–160.
- Darianto, D., Siregar, A., Umroh, B., & Kurniadi, D. (2019). Simulasi Kekuatan Mekanis Material Komposit Tempurung Kelapa Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy*, 3(1), 39. <https://doi.org/10.31289/jmemme.v3i1.2443>
- Diatas, D. blok diagram rancangan penelitian. (2022). Sistem Kendali Lengan Robot 4-DOF untuk Pemindah Barang. *Jurnal Mosfet*, 2(2), 16–25. <https://doi.org/10.31850/jmosfet.v2i2.1981>
- Harahap, A. (2020). Simulasi Pembebanan Pada Shackle Menggunakan Perangkat Lunak Ansys APDL 15.0. *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy*, 4(1), 74–84. <https://doi.org/10.31289/jmemme.v4i1.3811>
- Indar Sugiarto. (2008). Pemodelan dan Simulasi Dinamika Lengan Robot 3-DOF Menggunakan Perangkat Lunak Open Source. *Jurnal Teknik Elektro*, 8(2), 57–63. <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/elk/article/view/17815>
- Irawan, A. H., Majanasastra, R. B. S., & Rahmanto, R. H. (2016). Analisis Kekuatan Velg Cast Wheel Sepeda Motor Dengan Perangkat Lunak Berbasis Metode Elemen Hingga. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(2), 57–66.
- Kuswadi, S., & Sigit, R. (2020). Robot Kebencanaan–Latar Belakang, Perancangan dan Realisasinya. *Seminar Nasional Humaniora Dan ...*, x. <http://www.prosiding.uim.ac.id/index.php/sehati/article/view/4%0Ahttp://www.prosiding.uim.ac.id/index.php/sehati/article/download/4/5>
- L, A. P., Tupan, H. K., Hutagalung, R., & Masahida, Z. (2020). Pengembangan Jobsheet Trainer Mikrokontroler Robot Lengan Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Simetrik*, 10(1), 285–294. <https://doi.org/10.31959/js.v10i1.413>
- Mardiyanto, R., Suhartono, A., & Siregar, R. F. (2020). Development of path planning of line follower robot with obstacles avoidance based on particle swarm optimization. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 732(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/732/1/012098>
- Munadi, Haryanto, I., & Irvan Dian Surya, M. (2022). Rancang Bangun Dan

- Manufaktur Chassis Robot Automated Guided Vehicle (Agv) Sebagai Prototipe Alat Transportasi Barang Pada Perusahaan Garmen. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 10(2), 197–206.
- NtoUchrowi, A., Lasmadi, L., & Soekarno, S. (2019). Pemodelan dan Simulasi Robot Lengan 3 DOF Menggunakan V-REP. *Avitec*, 1(1), 87–98. <https://doi.org/10.28989/avitec.v1i1.489>
- Nur Akhlis Sarihidaya Laksana, Radhi Ariawan, Unggul Satria Jati, Jenal Sodikin, & Ulikaryani. (2022). Analisis Kinematik Singularity Pada Manipulator 7 DOF Dengan Software Simulasi ROBOAnalyzer. *Infotekmesin*, 13(2), 265–271. <https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v13i2.1538>
- Passive, P. I. R., Red, I., Di, S., Negeri, S. M. P., & Semambang, S. (2017). 53-  
*Article Text-511-2-10-20190626*. 2(2), 63–70.
- Peraturan Kepala Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika tentang Organisasi dan Tata Kerja Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*. (2016). 12(1), 89–98. <https://jurnal.unived.ac.id/index.php/jmi/article/view/276/257>
- Sausan, S., Sakti, B., Leo, H., Yuliani, A., Permatasari, I., Rahman, A., & Syaryadhi, M. (2017). Robot Pointer sebagai Penunjuk Jalan Tim SAR untuk Mempermudah Pencarian Korban Bencana Gempa. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 13(2), 112. <https://doi.org/10.17529/jre.v13i2.7761>
- Solidworks, M. S. (2019). *16417-45753-1-Pb*.
- Sulistyo, B. (2016). Peranan Sistem Informasi Geografis Dalam Mitigasi Bencana Tanah Longsor. *Seminar Nasional, March*, 1–13. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16705.97128>
- Tanjung, I., & Affandi. (2022). Analisis Numerik Kekuatan Tarik Plat Baja Karbon Rendah Yang Disambung Dengan Pengelasan Menggunakan Software Solidworks. *RekayasaEnergiManufakturJurnal*, 7(1), 2528–3723. <http://doi.org/10.21070/rem.v7i1.1630>

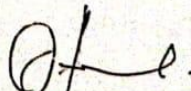
### LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Analisis Numerik Lengan Robot 3-DOF (*DEGREE OF FREEDOM*) Untuk Kebutuhan Robot SAR  
Nama : Atif Juantoro  
NPM : 2007230161  
Dosen Pembimbing : Affandi, S.T., M.T.

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	Senin/12-08-2024	Perbaiki format Laporan	Af
2	Selasa/20-08-2024	Perbaiki Tujuan	Af
3	Jumad/23-08-2024	Perbaiki Abstrak	Af
4	Senin/26-08-2024	Perbaiki Variabel Penelitian	Af
5	Jumad/30-08-2024	Perbaiki bagan alir penelitian	Af
6	Senin/02-09-2024	Penambahan teori Dimensional	Af
7	Kamis/05-09-2024	Perbaikan pada kesimpulan	Af
8	Sabtu/07-09-2024	Perbaiki Lampiran	Af
9	Senin/09-09-2024	Perbaiki hasil dan kondisinya di BAB 4	Af

Aze Sidny.

Dosen Pembimbing

  
Affandi, S.T., M.T.



**UMSU**  
Agred | Cerdas | Terpercaya  
la menyawab surai in agar disebulkan  
per dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MURAMMADIYAH  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**FAKULTAS TEKNIK**

UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 1913/SK/BAN-PT/Ak.KP/PT/03/2022  
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003  
<https://fatek.umsu.ac.id> [fatek@umsu.ac.id](mailto:fatek@umsu.ac.id) [umsumedan](#) [umsumedan](#) [umsumedan](#) [umsumedan](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN  
DOSEN PEMBIMBING**

**Nomor 1189/3AU/UMSU-07/F/2023**

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin pada Tanggal 02 Desember 2023 dengan ini Menetapkan :

Nama : ATIF JUANTORO  
NPM : 2007230167  
Program Studi : TEKNIK MESIN  
Semester : V11 ( TUJUH )  
Judul Tugas Akhir : ANALISIS NUMERIK LENGAN ROBOT 3 – DOF ( DEGREE OF FREEDOM ) UNTUK KEBUTUHAN SAR .

Dosen Pembimbing : AFFANDI ST.MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik MESIN
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal,  
Medan, 19 Jum Awal 1445 H  
04 Desember 2023 M

Dekan  
  
Murwan Adansury Siregar, ST, MT  
NIDN: 0101017202

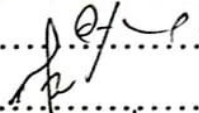

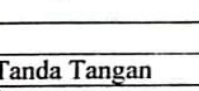

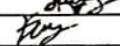
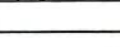
**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK – UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2023 – 2024**

Peserta seminar

Nama : Atif Juantoro

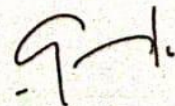
NPM : 2007230161

Judul Tugas Akhir : Analisis Numerik Lengan Robot 3-DOF (Degree Of Freedom) Untuk Kebutuhan Robot SAR

DAFTAR HADIR		TANDA TANGAN	
Pembimbing – I : Affandi, ST, MT		:..... 	
Pemanding – I : H. Muharnif, ST, M.Sc		:..... 	
Pemanding – II : Chandra A Siregar, ST, MT		:..... 	
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1907230122	RIYAN PRATAMA	
2	2007230092	VIRZA RIZKY PRATAMA	
3	2007230114	Fauzan Wahyu Putra	
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 26 Safar 1446 H  
31 Agustus 2024 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT



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

---

Nama : Atif Juantoro  
NPM : 2007230161  
Judul Tugas Akhir : Analisis Numerik Lengan Robot 3-DOF (Degree Of Freedom) Untuk  
Kebutuhan Robot SAR

Dosen Pembanding – I : H. Muharnif, ST, M.Sc  
Dosen Pembanding – II : Chandra A Siregar, ST, MT  
Dosen Pembimbing – I : Affandi, ST, MT

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :  
lihat bluch skripsi.....  
.....  
.....  
.....
3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :  
.....  
.....  
.....

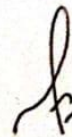
Medan, 26 Safar 1446 H  
31 Agustus 2024 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- I



H. Muharnif, ST, M.Sc

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

---

Nama : Atif Juantoro  
NPM : 2007230161  
Judul Tugas Akhir : Analisis Numerik Lengan Robot 3-DOF (Degree Of Freedom) Untuk Kebutuhan Robot SAR

Dosen Pembanding – I : H. Muharnif, ST, M.Sc  
Dosen Pembanding – II : Chandra A Siregar, ST, MT  
Dosen Pembimbing – I : Affandi, ST, MT

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
- ② Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

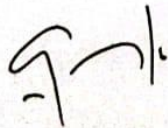
*lihat buku tugas akhir*

3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

Medan 26 Safar 1446 H  
31 Agustus 2024 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T. Mesin

Dosen Pembanding- II



Chandra A Siregar, ST, MT

Chandra A Siregar, ST, MT

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### A. DATA PRIBADI

Nama : Atif Juantoro  
Jenis Kelamin : Laki-Laki  
Tempat, Tanggal Lahir : Kabun, 28 September 2001  
Alamat : Desa Aliantan, Kec. Kabun, Kab. Rokan Hulu, Prov.  
Riau  
Agama : Islam  
E-mail : [atifjuantoro@gmail.com](mailto:atifjuantoro@gmail.com)  
No. Handphone : 082216425171

### B. RIWAYAT PENDIDIKAN

- |  |                 |
|--|-----------------|
| 1. SD Negeri 009 Kabun                     | Tahun 2008-2014 |
| 2. Smp Negeri 1 Kabun                      | Tahun 2014-2017 |
| 3. Smk Negeri 1 Bangkinang Kota            | Tahun 2017-2020 |
| 4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara | Tahun 2020-2024 |

