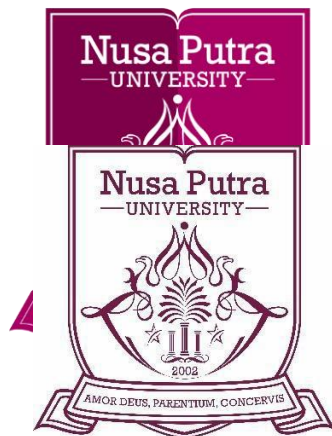


**ANALISIS PERANCANGAN KONSTRUKSI MEKANIK PADA ROBOT
SAR BERKAKI ENAM MENGGUNAKAN METODE *FINITE
ELEMENT ANALYSIS* DAN *INVERSE KINEMATICS***

SKRIPSI

**TAUFIK RAHMAN
20190110029**



**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK, KOMPUTER DAN DESAIN
SUKABUMI
APRIL 2023**

**ANALISIS PERANCANGAN KONSTRUKSI MEKANIK PADA
ROBOT SAR BERKAKI ENAM MENGGUNAKAN METODE
FINITE ELEMENT ANALYSIS DAN *INVERSE KINEMATICS***

SKRIPSI

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Dalam Menempuh
Gelar Sarjana Teknik Mesin*

TAUFIK RAHMAN



**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK, KOMPUTER DAN DESAIN
SUKABUMI
APRIL 2023**

PERNYATAAN PENULIS

JUDUL : ANALISIS PERANCANGAN KONSTRUKSI MEKANIK PADA
ROBOT SAR BERKAKI ENAM MENGGUNAKAN METODE
FINITE ELEMENT ANALYSIS DAN *INVERSE KINEMATICS*
NAMA : TAUFIK RAHMAN
NIM : 20190110029

“Saya menyatakan dan bertanggungjawab dengan sebenarnya bahwa Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali cuplikan dan ringkasan yang masing-masing telah saya jelaskan sumbernya. Jika pada waktu selanjutnya ada pihak lain yang mengklaim bahwa Skripsi ini sebagai karyanya, yang disertai dengan bukti- bukti yang cukup, maka saya bersedia untuk dibatalkan gelar Sarjana Teknik Mesin, saya beserta segala hak dan kewajiban yang melekat pada gelar tersebut”.



Penulis

PENGESAHAN SKRIPSI

JUDUL : ANALISIS PERANCANGAN KONSTRUKSI MEKANIK PADA
ROBOT SAR BERKAKI ENAM MENGGUNAKAN METODE
FINITE ELEMENT ANALYSIS DAN *INVERSE KINEMATICS*

NAMA : TAUFIK RAHMAN

NIM : 20190110029

Skripsi ini telah diujikan dan dipertahankan di depan Dewan Penguji pada Sidang Skripsi tanggal 25 Maret 2023 Menurut pandangan kami, Skripsi ini memadai dari segi kualitas untuk tujuan penganugerahan gelar Sarjana Teknik Mesin.

Sukabumi, 04 April 2023

Dosen Pembimbing 1,

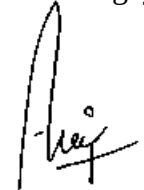
Dani Mardiyana, S.Pd., M.T.
NIDN. 0426047805



Dosen Pembimbing 2,


Dodi Iwan Sumarno, M.T.
NIDN. 0423119002

Ketua Penguji,


Heppi Familiana, M.T.
NIDN. 0422098102

Ketua Program Studi Teknik Mesin

Lazuardi Akmal Islami, M.Si.
NIDN. 0415039402

Dekan Fakultas *Engineering, Computer
and Design* (FECD)

Ir. Paikun, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.
NIDN. 0402037401

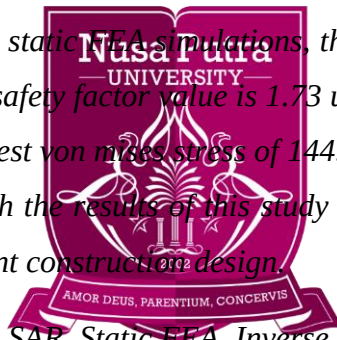
Skripsi ini kutunjukkan untuk orang tua saya, dosen saya, dan guru-guru saya.



ABSTRACT

Fires often occur in dense urban areas, seen from its geographical location, urban areas that have a dense population which is an area vulnerable to fire disasters which makes it very difficult to handle because of its location that is difficult to reach. The countermeasure that can be done is to use a hexapod robot. In this research, the stages carried out are by designing the mechanical construction of the robot and conducting FEA analysis on the mechanical construction, after that calculating Inverse kinematics and simulating Inverse kinematics. The results obtained in this study are the dimensions of the SAR hexapod robot have a total length of 145 cm, width 85 cm and height 85 cm, with a robot weight of 42.5 kg with a water tank capacity of 44.32 liters. The grip on the robot has a multifunctional type with a maximum load that can be lifted is 50 kg. The inverse kinematic angle results that can be used on the robot are coxa angle 0, femur 45 and tibia -135. In static FEA simulations, the largest von mises stress is 144.2 mpa and the largest safety factor value is 1.73 ul, while in dynamic FEA the robot leg produces the largest von mises stress of 144.2 mpa and the largest safety factor value is 1.73 ul. With the results of this study it can be concluded that the robot has a safe and efficient construction design.

Keywords: Hexapod Robot, SAR, Static FEA, Inverse kinematic, Dynamic FEA



ABSTRAK

Kebakaran sering terjadi di kawasan perkotaan yang padat, dilihat dari letak geografisnya, kawasan perkotaan yang memiliki penduduk padat yang merupakan kawasan rentan terhadap bencana kebakaran yang berakibat penanganan yang sangat sulit karena lokasi sulit dijangkau. Penanggulangan yang dapat dilakukan yaitu dengan menggunakan robot *hexapod*. Pada penelitian ini tahapan yang dilakukan yaitu dengan melakukan perancangan konstruksi mekanik robot dan melakukan analisis FEA pada konstruksi mekanik, setelah itu melakukan perhitungan *Inverse kinematic* dan simulasi *Inverse kinematic*. Adapun hasil yang didapatkan dalam penelitian ini adalah dimensi robot *hexapod* SAR memiliki panjang total 145 cm, lebar 85 cm dan tinggi 85 cm, dengan berat robot adalah 42,5 kg dengan kapasitas tangki air 44,32 liter. Grip pada robot memiliki tipe multifungsi dengan beban maksimal yang bisa diangkat adalah 50 kg. Hasil sudut *inverse kinematic* yang dapat digunakan pada robot adalah sudut *coxa* 0, *femur* 45 dan *tibia* -135. Dalam simulasi FEA Statik menghasilkan *von mises stress* terbesar adalah 144.2 mpa dan nilai *safety factor* terbesar adalah 1.73 ul, sedangkan pada FEA dinamik kaki robot menghasilkan *von mises stress* terbesar adalah 144.2 mpa dan nilai *safety factor* terbesar adalah 1.73 ul. Dengan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa robot memiliki desain konstruksi yang aman dan efisien.

Kata Kunci : Robot *Hexapod*, SAR, FEA Statik, *Inverse kinematic*, FEA Dinamik

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul : Analisis perancangan konstruksi mekanik dan sistem kontrol pada robot SAR berkaki enam menggunakan metode *finite element analysis* dan *inverse kinematics*. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai bentuk mencerdaskan kehidupan bangsa dan sebagai upaya perdamaian bangsa Indonesia.

Sehubungan dengan itu penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. H. Kurniawan, S.T., M.Si., M.M selaku Rektor Universitas Nusa Putra.
2. Bapak Anggy Pradiftha Junfithrana, S.Pd., M.T selaku Wakil Rektor I Bidang Akademik Universitas Nusa Putra
3. Bapak Lazuardi Akmal Islami, M.Si. selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Universitas Nusa Putra
4. Bapak Dani Mardiyana, S.Pd., M.T selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan, dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Dodi Iwan Sumarno, M.T selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan, dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
6. Ibu Heppi Familiana, M.T dan Bapak Fabrobi Fazrul Ridha, M.T selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan untuk penelitian yang dilakukan.
7. Seluruh Staf pengajar di Program Studi Teknik Mesin. Universitas Nusa Putra yang selalu memberikan masukan serta saran dan juga pengetahuan yang tidak ternilai harganya.
8. Kedua Orang tua yang selalu memberikan kasih sayang, doa, nasehat, serta kesabarannya yang luar biasa dalam setiap langkah hidup penulis, yang merupakan anugerah terbesar dalam hidup.



9. NIM 20190080153 *my support system* yang selalu memberikan dukungan, doa, nasehat serta selalu sabar dalam menghadapi penulis dalam kondisi apa pun. dan selalu memberikan kebahagiaan serta keceriaan.
10. Teman-teman seperjuangan yang sudah terlibat di dalam penelitian ini.
11. Rekan –rekan mahasiswa Teknik Mesin Angkatan 2019.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat kami harapkan demi perbaikan. Amin Yaa Rabbal 'Alamiin.

Sukabumi, April 2023

Penulis



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik UNIVERSITAS NUSA PUTRA , saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Taufik Rahman
NIM : 20190110029
Program Studi : Teknik Mesin
Jenis karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Nusa Putra **Hak Bebas Royalti Non eksklusif (Non-exclusive Royalty- Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Analisis Perancangan Konstruksi Mekanik Pada Robot SAR Berkaki Enam Menggunakan Metode *Finite element analysis* dan *Inverse kinematics*

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Universitas Nusa Putra berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (data Base), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Sukabumi

Pada tanggal : 04 April 2023

Yang menyatakan

(Taufik Rahman)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN PENULIS	ii
PENGESAHAN SKRIPSI	iii
ABSTRACT	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	18
1.1 Latar Belakang.....	18
1.2 Rumusan Masalah Penelitian.....	20
1.3 Batasan Masalah	20
1.4 Tujuan Penelitian	21
1.5 Manfaat Penelitian	21
1.6 Sistematika Penulisan	22
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
2.1 Robot <i>Hexapod</i>	Error! Bookmark not defined.
2.2 <i>Gripper</i> (Grip).....	Error! Bookmark not defined.
2.3 <i>Finite element analysis</i> (FEA)	Error! Bookmark not defined.
2.4 <i>Inverse kinematic</i>	Error! Bookmark not defined.
2.5 Software Autodesk Inventor	Error! Bookmark not defined.
2.6 Software RoboAnalyzer	Error! Bookmark not defined.
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	Error! Bookmark not defined.
3.1 Diagram Alir Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.2 Desain Konstruksi Mekanik Robot.....	Error! Bookmark not defined.
3.3 Perhitungan Metode <i>Inverse kinematic</i>	Error! Bookmark not defined.



3.4 Simulasi <i>Static</i> FEA pada Konstruksi Mekanik Robot	Error! Bookmark not defined.
3.5 Simulasi <i>Dynamic</i> FEA pada Konstruksi Kaki Robot.	Error! Bookmark not defined.
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	Error! Bookmark not defined.
4.1 Desain Konstruksi Mekanik Robot	Error! Bookmark not defined.
4.2 Perhitungan <i>Inverse kinematic</i>	Error! Bookmark not defined.
4.3 Simulasi FEA <i>Static</i> pada Konstruksi Mekanik Robot	Error! Bookmark not defined.
4.4 Simulasi FEA <i>Dynamic</i> pada Konstruksi Mekanik Robot	Error! Bookmark not defined.
BAB V PENUTUP	23
5.1 Kesimpulan	23
5.2 Saran	24
DAFTAR PUSTAKA	25
LAMPIRAN	Error! Bookmark not defined.



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Pergerakan Dinamik Kaki Ke Atas **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 3.2 Pergerakan Dinamik Kaki Ke Bawah **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 3.3 Waktu Pengujian Simulasi Dinamik **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.1 Daftar Bagian-Bagian Konstruksi Mekanik Robot **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.2 Daftar Bagian-Bagian Mekanisme *Water Sprayer* **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.3 Normalisasi 0 Derajat **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.4 Berat Parameter Uji **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.5 Spesifikasi Material *Steel Alloy* **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.6 Hasil Simulasi FEA Konstruksi Kaki Dengan Beban 47,1 *Lbf* **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.7 Hasil Simulasi FEA Konstruksi Kaki Dengan Beban 93,6 *Lbf* **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.8 Hasil FEA Konstruksi Kaki Robot Dengan Beban 284,1 *Lbf* **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.9 Hasil Simulasi FEA Konstruksi Rangka Dengan Beban 80,2 *Lbf*. **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.10 Hasil Simulasi FEA Konstruksi Rangka Dengan Beban 93,6 *Lbf* **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.11 Hasil Simulasi FEA Konstruksi Robot Dengan Beban 284,1 *Lbf* **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.12 Hasil Simulasi FEA Konstruksi Rangka Dengan Beban 80,2 *Lbf* **Error! Bookmark not defined.**



Tabel 4.13 Hasil Simulasi FEA Konstruksi Rangka Dengan Beban 93,6 Lbf **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.14 Hasil Simulasi FEA Konstruksi Robot Dengan Beban 284,1 Lbf **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.15 Hasil Simulasi FEA Konstruksi Grip Dengan Beban 110,2 Lbf.. **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.16 Asumsi Arah Pergerakan Dengan Waktu Pergerakan **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.17 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Coxa* XZ+ Beban 80,2 Lbf..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.18 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Coxa* XZ+ Beban 93,6 Lbf..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.19 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Coxa* XZ+ Beban 284,1 Lbf..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.20 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Femur* XZ+ Beban 80,2 Lbf **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.21 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Femur* XZ+ Beban 93,6 Lbf **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.22 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Femur* XZ+ Beban 284,1 Lbf **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.23 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Tibia* XZ+ Beban 80,2 Lbf..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.24 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Tibia* XZ+ Beban 93,6 Lbf..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.25 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Tibia* XZ+ Beban 284,1 Lbf..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.26 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Coxa* XY+ Beban 80,2 Lbf **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.27 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Coxa* XY+ Beban 93,6 Lbf **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.28 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Coxa* XY+ Beban 284,1 Lbf **Error! Bookmark not defined.**



Tabel 4.29 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Femur XY+* Beban 80,2 Lbf..... **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.30 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Femur XY+* Beban 93,6 Lbf..... **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.31 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Femur XY+* Beban 284,1 Lbf..... **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.32 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Tibia XY+* Beban 80,2 Lbf **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.33 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Tibia XY+* Beban 93,6 Lbf **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.34 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Tibia XY+* Beban 284,1 Lbf..... **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.35 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Coxa XZ-* Beban 80,2 Lbf..... **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.36 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Coxa XZ-* Beban 93,6 Lbf..... **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.37 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Coxa XZ-* Beban 284,1 Lbf..... **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.38 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Femur XZ-* Beban 80,2 Lbf **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.39 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Femur XZ-* Beban 93,6 Lbf **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.40 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Femur XZ-* Beban 284,1 Lbf..... **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.41 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Tibia XZ-* Beban 80,2 Lbf..... **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.42 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Tibia XZ-* Beban 93,6 Lbf..... **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.43 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Tibia XZ-* Beban 284,1 Lbf..... **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.44 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Coxa XY-* Beban 80,2 Lbf..... **Error!**
Bookmark not defined.



Tabel 4.45 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Coxa XY*- Beban 93,6 Lbf..... **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.46 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Coxa XY*- Beban 284,1 Lbf..... **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.47 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Femur XY*- Beban 80,2 Lbf..... **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.48 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Femur XY*- Beban 93,6 Lbf..... **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.49 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Femur XY*- Beban 284,1 Lbf..... **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.50 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Tibia XY*- Beban 80,2 Lbf..... **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.51 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Tibia XY*- Beban 93,6 Lbf..... **Error!**
Bookmark not defined.

Tabel 4.52 Hasil Simulasi FEA *Dynamic Tibia XY*- Beban 284,1 Lbf..... **Error!**
Bookmark not defined.



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konstruksi robot *hexapod***Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.2 Bagian struktur kaki robot *hexapod* pandangan atas [8] **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 2.3 Bagian Struktur Kaki Robot *Hexapod* dari Pandangan Depan .. **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 2.4 Roda Caterpillar [10].....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.5 Struktur Mekanik Grip [12].....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.6 *Gripper* Magnetik [13]**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.7 *Gripper* Ruang Hampa atau Vakum [13]**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.8 Contoh FEA pada sebuah rangka nilai *Displacement* [15] **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.9 FEA dalam Kondisi Statik.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.10 FEA dalam Kondisi Dinamik.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.11 Ilustrasi Tampilan Kaki Metode *Inverse kinematic* [19]..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.12 *Software* Autodesk Inventor 2017 [20]**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.13 Tampilan *Software* RoboAnalyzer [24]**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.2 Desain konstruksi robot *Hexapod* [8] **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.3 Desain Sebelum di Optimasi [8]..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.4 Desain sesudah di optimasi [8]..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 5 Konstruksi Mekanik *Grp Robot Multifungsi* [12]**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 6 Proses Desain Mekanik di *Software* Autodesk Inventor 2020.. **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.7 Struktur Kaki Robot Pandangan Depan**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.8 Sudut Pandang joint-joint pada bidang XZ**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.9 Struktur Kaki Robot Pandangan Atas **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.10 Sudut pandang joint-joint pada bidang XY**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.11 Menentukan D-H Parameter [26].....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.12 Nilai *End Effector* yang dihasilkan [26]**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.13 Mencari *Inverse kinematic* [26].....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.14 Distribusi Pembebanan pada konstruksi Kaki Robot..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.15 Titik Distribusi Pembebanan pada Rangka *Hexapod*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.16 Distribusi Pembebanan pada konstruksi mekanik robot *Hexapod* **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.17 Distribusi Pembebanan pada Konstruksi Mekanik Grip Robot **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.18 Garis *Trace* Kaki Robot pandangan samping**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.19 Garis *Trace* kaki pandangan *Isometric***Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.20 Garis *Trace* kaki robot pergerakan ke bawah**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.21 Garis *Trace* kaki robot pergerakan ke bawah**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.22 Posisi Beban dan tumpuan **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.1 Dimensi Konstruksi Mekanik Robot.. **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.2 Bagian-Bagian Konstruksi Mekanik Robot**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.3 Dimensi *Water Tank* Robot..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.4 *IProperties Mass* Autodesk Inventor . **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.5 Rancangan Konstruksi *Gripper* Robot multifungsi**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.6 Ukuran *Gripper* robot *hexapod* SAR . **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.7 Dimensi Maksimal Benda pada Grip . **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.8 Mekanisme *Water Sprayer* **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.9 Mekanisme *Water Sprayer* **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.10 Rancangan *Nozzle / Sprayer* **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.11 Penyebaran Air pada *Sprayer* tampak Atas**Error! Bookmark not defined.**



Gambar 4.12 Ilustrasi Pergerakan sudut pada *Nozzle/Sprayer***Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.13 Bidang Koordinat kaki robot bagian kanan**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.14 D-H Parameter RoboAnalyzer**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.15 Nilai Parameter *End Effector***Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.16 *Inverse kinematic* Parameter**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.17 Ilustrasi Solusi**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.18 Hasil FEA Statik pada Konstruksi Kaki**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.19 Hasil FEA Statik pada Rangka Robot *Hexapod***Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.20 Hasil FEA pada Konstruksi *Hexapod* Robot**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.21 Hasil FEA Statik pada Konstruksi *Gripper***Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.22 Simulasi FEA *Dynamic Coxa* Pergerakan XZ+**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.23 Simulasi FEA *Dynamic Femur* Pergerakan XZ+**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.24 Simulasi FEA *Dynamic Tibia* Pergerakan XZ+**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.25 Simulasi FEA *Dynamic Coxa* Pergerakan XY+**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.26 Simulasi FEA *Dynamic Femur* Pergerakan XY+**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.27 Simulasi FEA *Dynamic Tibia* Pergerakan XY+**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.28 Simulasi FEA *Dynamic Coxa* Pergerakan XZ-**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.29 Simulasi FEA *Dynamic Femur* Pergerakan XZ-**Error! Bookmark not defined.**



Gambar 4.30 Simulasi FEA *Dynamic Tibia* Pergerakan XZ-**Error!** **Bookmark not defined.**

Gambar 4.31 Simulasi FEA *Dynamic Coxa* Pergerakan XY-**Error!** **Bookmark not defined.**

Gambar 4.32 Simulasi FEA *Dynamic Femur* Pergerakan XY-**Error!** **Bookmark not defined.**

Gambar 4.33 Simulasi FEA *Dynamic Tibia* Pergerakan XY-**Error!** **Bookmark not defined.**

Gambar 4.34 Diagram *Von mises stress FEA Statik* Mekanik Robot..... **Error!** **Bookmark not defined.**

Gambar 4.35 Diagram *Safety factor FEA Statik* Mekanik Robot**Error!** **Bookmark not defined.**

Gambar 4.36 *Von mises stress coxa* hasil FEA Dinamik**Error!** **Bookmark not defined.**

Gambar 4.37 *Safety Factor Coxa* Hasil FEA Dinamik**Error!** **Bookmark not defined.**

Gambar 4.38 *Von mises stress femur* hasil FEA Dinamik**Error!** **Bookmark not defined.**

Gambar 4.39 *Safety Factor Femur* Hasil FEA Dinamik**Error!** **Bookmark not defined.**

Gambar 4.40 *Von mises stress tibia* hasil FEA Dinamik**Error!** **Bookmark not defined.**

Gambar 4.41 *Safety Factor Tibia* Hasil FEA Dinamik**Error!** **Bookmark not defined.**

Gambar 4. 42 Diagram *Safety factor FEA Dinamik* Robot *Hexapod SAR...* **Error!** **Bookmark not defined.**

Gambar 4. 43 Diagram *Safety factor FEA Dinamik* Robot *Hexapod SAR...* **Error!** **Bookmark not defined.**



DAFTAR LAMPIRAN



Lampiran 1. Desain Rancangan Robot SAR *Hexapod***Error! Bookmark not defined.**

Lampiran 2. Desain Rancangan Rangka Robot *Hexapod* SAR. **Error! Bookmark not defined.**

Lampiran 3. Desain Rancangan Kaki Robot *Hexapod* SAR**Error! Bookmark not defined.**

Lampiran 4. Desain Rancangann Grip Robot SAR *Hexapod* **Error! Bookmark not defined.**

Lampiran 5. Desain Rancangan *Water Sprayer***Error! Bookmark not defined.**



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era modern saat ini perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) menjadi hal yang sangat penting dalam setiap aspek kehidupan manusia dan perkembangannya sangat pesat. Kecanggihan teknologi saat ini hampir menyentuh dalam setiap aspek kehidupan manusia, seperti dalam bidang pendidikan, kesehatan, keamanan, industri, pertanian dan keselamatan. Semua perkembangan teknologi ini diciptakan untuk meringankan dan memberikan kemudahan manusia dalam melakukan pekerjaan yang lebih efisien. salah satu dari perkembangan teknologi adalah dengan lahirnya produk robotika, saat ini telah banyak teknologi robotika yang hadir dalam kehidupan manusia diantara-Nya adalah robot cerdas yang diciptakan dan dikembangkan untuk membantu pekerjaan yang memiliki risiko yang tinggi menjadi lebih efisien, seperti membantu manusia dalam proses pencarian dan penyelamatan pada bencana kebakaran.

Robot merupakan sebuah perangkat yang terdiri dari gabungan peralatan mekanik dengan elektronik dan memiliki *artificial intellegence* dalam bentuk bahasa pemrograman yang disisipkan ke dalam perintah robot sesuai keinginan pembuat robot tersebut. Salah satu robot cerdas yang dibutuhkan adalah robot yang bisa memadamkan api dan membantu meringankan pekerjaan petugas pemadam kebakaran yang memiliki risiko tinggi untuk memadamkan api dengan bertaruh nyawa karena segala risiko berbahaya yang ada di lokasi kebakaran sangat rentan terjadi. Pada saat ini proses pemadaman kebakaran masih dilakukan langsung oleh manusia, tentu hal ini akan memiliki risiko yang tinggi bagi nyawa dan kesehatan petugas. Dengan menggunakan robot akan mengurangi risiko yang terjadi pada manusia dalam proses pemadaman kebakaran [1].

Kebakaran sering terjadi di perkotaan yang padat, dilihat dari letak geografis, daerah perkotaan yang memiliki padat penduduk merupakan daerah yang rentan terhadap terjadinya bencana kebakaran dan kebakaran dengan penanganan yang sangat sulit karena lokasi yang padat dan susah dijangkau oleh mobil pemadam kebakaran. Berdasarkan data dari badan penanggulangan bencana daerah-pemadam kebakaran (BPBD-PK) provinsi DKI Jakarta, bencana kebakaran yang terjadi

mencapai angka rata-rata 800 kasus setiap tahun atau sekitar 67 kasus per bulannya [2]. Data tersebut menunjukkan bahwa masalah kebakaran di perkotaan merupakan masalah serius dan harus menjadi perhatian untuk pencegahan dan penanggulangannya.

Salah satu penanggulangan yang bisa dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dalam penanganan kebakaran yang harus melakukan pemadaman api serta pencarian dan penyelamatan korban yang terdapat pada bencana kebakaran dengan cepat dan aman serta tidak membahayakan petugas kebakaran dan bisa melewati rintangan yang terdapat di lokasi kebakaran yaitu dengan menggunakan teknologi robotika dengan menggunakan struktur robot *hexapod*. Untuk saat ini robot yang digunakan sebagai pemadam api umumnya menggunakan roda, namun seperti yang disampaikan oleh selamat pada tahun 2018 untuk penerapan di lingkungan tidak terstruktur seperti pada bencana kebakaran yang terdapat di pemukiman padat dan gedung-gedung tinggi penggunaan roda kurang cocok diterapkan, yang cocok diterapkan dan tepat digunakan untuk lingkungan tidak terstruktur adalah robot berkaki atau robot *hexapod* yaitu robot berkaki enam dan harus memiliki konstruksi yang kuat dan fleksibel untuk dapat melewati area kebakaran dengan lingkungan yang tidak terstruktur [3].

Saat ini, beberapa lembaga penelitian dunia didedikasikan untuk pengembangan robot *hexapod*, dan diyakini bahwa perkembangan dari robot *hexapod* untuk pemadam kebakaran bisa berkembang dengan cepat sesuai dengan kebutuhan. Riset yang dilakukan untuk penelitian ini tidak hanya membutuhkan pengetahuan tentang robotika tetapi kombinasi dari beberapa teknologi lain seperti mekanika, elektronika, kendali dan rekayasa, serta konstruksi mekanik. Akan tetapi jika konstruksi mekanik tidak kuat dan kurang efisien maka robot akan susah bergerak [4]. Seperti yang dilakukan oleh mildes dkk, pada penelitiannya yang berjudul ” pengembangan sistem gerak robot berkaki enam” yang di mana pada penelitian tersebut dibuat untuk kebutuhan kontes robot Indonesia (KRI) yang memiliki dimensi yang kecil atau hanya prototipe yang diharuskan untuk melakukan pengembangan kembali untuk dijadikan robot yang bisa dimanfaatkan dalam penanggulangan kebakaran sesuai dengan kebutuhan dan tugas yang dilakukan oleh robot tersebut [5].

Maka dengan itu solusi yang tepat mengenai masalah di atas adalah dengan melakukan penelitian mengenai perancangan konstruksi mekanik yang kuat dan memiliki efisiensi yang baik untuk digunakan pada robot dalam menjalankan tugas dan misinya nanti sebagai robot *hexapod* pemadam kebakaran yang diasumsikan bisa digunakan pada lokasi kebakaran yang sebenarnya, pastinya robot tersebut harus bisa melewati rintangan seperti tangga serta puing-puing yang terdapat di rumah atau gedung serta bisa melakukan evakuasi dengan konstruksi mekanik robot dengan efisiensi serta kekuatan yang baik.

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan konstruksi mekanik robot *hexapod* pemadam kebakaran yang dapat melakukan evakuasi?
2. Bagaimana hasil analisis *inverse kinematic* dalam menentukan sudut pada masing-masing kaki robot *hexapod* SAR?
3. Bagaimana hasil analisis kekuatan statik konstruksi mekanik robot *hexapod* pemadam kebakaran yang dapat melakukan evakuasi?
4. Bagaimana hasil analisis *dinamik konstruksi* kaki robot *hexapod* pemadam kebakaran yang dapat melakukan evakuasi?



1.3 Batasan Masalah

Batasan Masalah dari Penelitian ini sebagai berikut :

1. Perancangan konstruksi mekanik robot menggunakan Software 3D Modeling Autodesk Inventor Profesional;
2. Analisis *Inverse kinematic* menggunakan software *RoboAnalyzer* dalam posisi statik atau diam;
3. Analisis kekuatan statik konstruksi mekanik robot menggunakan metode *Finite Element Analysis* menggunakan Software Autodesk Inventor Stress Analysis;

4. Analisis kekuatan dinamik konstruksi kaki robot menggunakan metode *Finite Element Analysis* menggunakan Software Autodesk Inventor *Dynamic Simulation*;
5. Robot diasumsikan tidak digunakan untuk evakuasi manusia tapi hanya mengangkat benda atau barang yang bisa menghalangi proses evakuasi;
6. Sistem penyemprotan pada robot tidak dilakukan analisis.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan dari Penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang konstruksi mekanik robot *hexapod* pemadam kebakaran yang dapat melakukan evakuasi;
2. Hasil analisis *inverse kinematic* dalam menentukan sudut pada masing-masing kaki robot *hexapod* SAR;
3. Hasil analisis kekuatan statik konstruksi mekanik robot *hexapod* pemadam kebakaran yang dapat melakukan evakuasi;
4. Hasil analisis dinamik konstruksi kaki robot *hexapod* pemadam kebakaran yang dapat melakukan evakuasi.



1.5 Manfaat Penelitian

Adapun Manfaat dari Penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Terhadap Bidang Keilmuan
Memberikan kontribusi terhadap bidang Keilmuan tentang desain dan analisa mengenai rancangan konstruksi robot *hexapod* yang akan di tugaskan sebagai robot SAR.
2. Terhadap Lembaga
Menambah keilmuan teknologi di bidang robotika khususnya pada robot *hexapod* dalam upaya meningkatkan kualitas SDM serta lulusan dari perguruan tinggi dapat membantu perkembangan robotika.
3. Terhadap Bangsa
memberikan sebuah keilmuan mengenai perkembangan pada seluruh aspek perancangan robotika dan membuktikan bahwa perkembangan

robotika di Indonesia bisa bersaing dengan teknologi robotika dengan negara lain.

4. Terhadap Masyarakat

Memberikan manfaat dan kemudahan bagi masyarakat dalam memenuhi kebutuhan keilmuan mengenai robotika dan memberikan gambaran mengenai perancangan robotika yang baik sesuai dengan tugas dan misi yang dijalankan robot tersebut.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika dari penyusunan skripsi ini terdiri dari beberapa bagian yang paling utama untuk diketahui yaitu sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tahapan awal penelitian yaitu dimulai dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dipaparkan mengenai teori-teori yang berhubungan dengan permasalahan yang diteliti dan menjadi acuan konseptual.

BAB III PERANCANGAN

Pada bab ini akan dipaparkan mengenai perhitungan analitik serta perbaikan yang direkomendasikan.

BAB IV PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai proses pengujian serta hasil dan analisis hasil pengujian.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini akan dipaparkan kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan serta saran-saran yang dapat diterapkan dari hasil penelitian ini.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan desain dan analisis rancangan robot *hexapod* SAR pada bencana kebakaran dengan menggunakan metode *inverse kinematics* serta menggunakan metode *Finite element analysis* (FEA) untuk analisis kekuatan dari konstruksi mekanik robot. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dari hasil proses perancangan, pengujian sampai pembahasan yang sudah dilakukan. Terdapat beberapa hasil analisis dalam perancangan robot *hexapod* SAR Pemadam kebakaran baik dalam perancangan maupun dalam analisis yang sudah dilakukan sebagai berikut:

1. Dimensi Robot *hexapod* SAR yaitu memiliki panjang total 145 cm, lebar 85 cm dan tinggi 85 cm dengan berat robot 42,5 kg yang memungkinkan robot dapat dengan mudah masuk dan keluar dari ruangan yang ada di dalam rumah atau lokasi kebakaran. dan dalam proses evakuasi pada kebakaran menggunakan bagian mekanisme tambahan yaitu mekanisme grip mekanik sebagai pemindah beban dengan kapasitas maksimal ukuran yang bisa diangkat grip adalah 52 cm. Adapun mekanisme pemadaman api yaitu dengan menggunakan penyemprot air dengan kapasitas tangki sebesar 44,32 liter dengan penyebaran semprotan 1:1 dengan jarak semprotan.
2. Sudut yang didapatkan dalam metode *inverse kinematic* sebagai acuan dalam penggunaan sudut di masing-masing kaki adalah sudut *coxa*= 0, *femur* = 45 dan *tibia* = -135, dengan hasil perhitungan tersebut memiliki hasil yang sama dengan hasil simulasi yang dilakukan pada *software* RoboAnalyzer;
3. Hasil analisis FEA Statik robot menghasilkan nilai *von mises stress* tertinggi yaitu sebesar 131,09 Mpa dengan *safety factor* sebesar 1,95. sedangkan untuk mekanisme grip menghasilkan nilai *von mises stress* sebesar 144,2 Mpa dengan *safety factor* 1,73, di mana jika dibandingkan dengan *yield strength* pada material *Steel Alloy* yang digunakan yaitu sebesar 249,9 Mpa dengan *safety factor* yang direkomendasikan tidak kurang dari 1,5 maka konstruksi mekanik yang dirancang masih dalam kategori aman atau kuat karena hasil *von mises*

stress tidak lebih dari *yield strength* material yang digunakan dan *safety factor* tidak kurang dari yang direkomendasikan;

4. Hasil analisis FEA Dinamik pada konstruksi kaki robot memiliki nilai *von mises stress* tertinggi yaitu sebesar 125,3 Mpa dengan *safety factor* sebesar 1,9 ul. tapi jika dibandingkan dengan *yield strength* pada material yang digunakan yaitu *steel alloy* memiliki nilai sebesar 249,9 Mpa dengan *safety factor* yang direkomendasikan tidak kurang dari 1,5 maka konstruksi kaki yang dirancang masih dalam kategori aman atau kuat karena hasil *von mises stress* tidak lebih dari *yield strength* material yang digunakan dan *safety factor* tidak kurang dari yang direkomendasikan;

5.2 Saran

Untuk hasil yang lebih baik untuk penelitian selanjutnya, beberapa saran untuk memperbaiki dan mengembangkan robot *hexapod* SAR Pemadam Kebakaran sebagai berikut:

1. Diperlukan pengembangan dalam perhitungan *body kinematics*, Trayektori langkah, *Forward Kinematics*, *Inverse Dynamics*, *Body Dynamics*, dan *Forward Dynamics* robot sehingga dapat menentukan gerakan robot lebih lengkap;
2. Diperlukan Pengujian *Finite element analysis* dinamik pada grip robot dan Pengujian FEA pada bagian konstruksi mekanik robot lain dengan menggunakan material yang lain;
3. Diperlukan Pengembangan pada konstruksi grip supaya grip dapat berputar dari horizontal menjadi vertikal supaya lebih mudah dalam proses mengangkat benda yang lebih besar;
4. Diperlukan Pengembangan pada kaki robot *hexapod* SAR untuk bisa menyesuaikan dalam kondisi lantai miring atau tangga;
5. Perlu dilakukan analisis terhadap penggunaan air dan potensi penyebaran air yang keluar dari *Nozzle*;
6. Perlu dilakukan analisis penggunaan motor penggerak pada robot dan melakukan perancangan sistem kontrol yang bisa digunakan pada robot



DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Suhendar, A. Surahmat, and T. D. Fuady, "Sensor Robot Pemadam Api Dengan Beberapa Mode Operasi Berbasis Teknologi Dtmf, Bluetooth Dan Gsm," *J. Ilm. Sains dan Teknol.*, vol. 4, no. 2, pp. 135–150, 2020,
- [2] Y. Dodon, Wildian, A. Tifani "Perancangan Sistem Pendeteksi Kebakaran Rumah Penduduk Pada Daerah Perkotaan Berbasis Mikrokontroler," *Semnas Sains dan Teknologi*, 2017 : Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- [3] R. Darwis et al., "Perancangan Robot Pemadam Api *Hexapod*," vol. 5, no. 1, pp. 1–4, 2019.
- [4] P. S. Pa and C. M. Wu, "Design of a *hexapod* robot with a servo control and a man-machine interface," *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 28, no. 3, pp. 351–358, 2012.
- [5] C. E. J. Mamahit, F. R. Seke, and H. Ponto, "Pengembangan Sistem Gerak Robot Berkaki Enam," vol. 2, no. 1, pp. 53–60, 2022.
- [6] F. Tedeschi and G. Carbone, "Design issues for *hexapod* walking robotsdesign issues for *hexapod* walking robots," *Robotics*, vol. 3, no. 2, pp. 181–206, 2014.
- [7] Romansyah, "Metode Gait Robot Pemadam Api Berkaki Enam (*Hexapod*) pad Trinity Collage Fire Fighting Home Robot Contest," pp. 5–10, 2019.
- [8] E. Burkus and P. Odry, "Mechanical and walking optimization of a *hexapod* robot using PSO," *ICCC 2013 - IEEE 9th Int. Conf. Comput. Cybern. Proc.*, pp. 177–180, 2013.
- [9] N. F. Lawrence et al., "Perancangan Dan Implementasi Kendali Lingkar Tertutup Gait Robot *Hexapod* Untuk Mendeteksi , Menaiki Dan Menuruni Tangga Design And Implementation Of *Hexapod* Gait Close-Loop Control For Detecting , Ascending And Descending Stairs," vol. 8, no. 5, pp. 5843–5850, 2021.
- [10] <http://library.binus.ac.id/eColls/eThesisdgc> [diakses pada tanggal 28 Agustus 2021]
- [11] R. B. S. A. NUGROHO, "*Gripper* adaptif untuk robot," *Tek. Elektron.*, pp. 1–58, 2016.

- [12] L. Kang, J. T. Seo, S. H. Kim, W. J. Kim, and B. J. Yi, "Design and implementation of a multi-function *gripper* for grasping general objects," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 24, 2019.
- [13] Rahmawan, Andy, Munadi, "Optimasi *Gripper* Dua Lengan dengan Menggunakan Metode Genetic Algorithm pada Simulator Arm Robot 5 DOF, Thesis : Universitas Dienogoro, 2017,
- [14] S. Hoover and R. Perry, "Simulation: A Problem Solving Approach," Reading-MA, vol. 1, no. 9, pp. 200–201, 1990.
- [15] Rozik, A., "Perancangan Dan Analisis Kekuatan Rangka Mesin Pengayak Pasir Menggunakan Autodesk Inventor 2019," 2020.
- [16] T. Mulyanto and A. D. Sapto, "Analisis Tegangan Von Mises Poros Mesin Pemotong Umbi-Umbian Dengan Software Solidworks," *J. PRESISI*, vol. 18, no. 2, pp. 24–29, 2017,
- [17] S. Setiawan, Firdaus, B. Rahmadya, and Derisma, "Penerapan Invers Kinematika Untuk Pergerakan Kaki Robot Biped," no. November, pp. 1–9, 2015.
- [18] R. Ria, "Penerapan *Inverse kinematics* pada Pengendalian Gerak Robot Lego," *J. Appl. Electr. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2018.
- [19] S. H. Setyawan, "Perancangan Pergerakan Robot *Hexapod* Pemadam Api Berkaki Dengan Metode Invers Kinematik," Univ. Sanata Dharma, 2020.
- [20] D. W. Nugraha, "Perancangan Sistem Kontrol Robot Lengan," *Mektek*, no. 3, pp. 180–188, 2010.
- [21] Y. . Wahyudi, M. . Hadi, A. . Handayanu, and S. Sendari, "Implementasi Sistem Kendali PD (Propotinal Derivative) pada Navigasi Wall Follower Robot berkaki Enam (*Hexapod*)," 5th Indones. Syposium Robot. Syst. Control, pp. 34–38, 2017.
- [22] L. Wibawa, Merancang Komponen Roket 3D Dengan Autodesk Inventor 2017, vol. 148, no. January 2018. 2017.
- [23] M. A. Rozik, "Mesin Pengayak Pasir Menggunakan Autodesk Inventor 2019," 2019.

- [24]F. Sirait and B. A. Wicaksono, “Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana ISSN : 2086 - 9479,” J. Teknol. Elektro, Univ. Buana, vol. 8, no. 2, pp. 87–94, 2017.
- [25]I. A. Kurniawan, Feriyonika, and S. Pramono, “Inverse dan Body Kinematics pada Robot *Hexapod*,” Ind. Res. Work. Natl. Semin., vol. 9, pp. 115–123, 2018.
- [26]K. Saha, “RoboAnalyzer user manual,” Mechatronics Lab, Mechanical Engineering Department, IIT Delhi, 2012.

