

Perancangan dan Analisis Konstruksi Mekanik pada Robot Pemadam Api *Hexapod* Menggunakan Metode *Finite Element Analysis* dan *Inverse Kinematics*

Oscar Haris^{1*}, Taufik Rahman²

¹Departemen Teknologi Rekayasa Industri Otomotif, Politeknik Digital Boash Indonesia,
Kec. Kemang, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16310

²Program Studi Teknik Mesin, Universitas Nusa Putra,
Kec. Cisaat, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat 43152

*E-mail: oscar.haris@pdbi.ac.id

Diajukan: 07-11-2022; Direvisi: 10-08-2023; Dipublikasi: 21-08-2023

Abstrak

Kebakaran sering terjadi di kawasan perkotaan padat karena lokasinya sulit dijangkau oleh mobil pemadam kebakaran, menyebabkan penanganan sulit karena merupakan kawasan rawan bencana kebakaran. Salah satu penanggulangan yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan robot *hexapod*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari tau rancangan robot yang memiliki sistem konstruksi yang kuat. Adapun langkah-langkah yang dilakukan yaitu dengan merancang konstruksi mekanik robot menggunakan Software Autodesk Inventor dan melakukan analisis *Finite Element Analysis* (FEA) menggunakan *software Autodesk Inventor Stress Analysis*, setelah itu melakukan perhitungan dan simulasi *Inverse kinematic* menggunakan *software RoboAnalyzer*. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini adalah dimensi robot *search and rescue* (SAR) *hexapod* yang dirancang memiliki panjang total 145 cm, lebar 85 cm dan tinggi 85 cm, dengan berat robot 42.5 kg dengan kapasitas tangki air 44.32 liter. *Grip* pada robot memiliki tipe multifungsi dengan beban maksimal yang dapat diangkat adalah 50 kg. Hasil *inverse kinematic angle* yang dapat digunakan pada robot adalah sudut coxa 0°, femur 45° dan tibia -135°. Pada simulasi FEA didapatkan tegangan *von mises* terbesar yaitu 144.2 MPa dan nilai *safety factor* terbesar yaitu 1.73 ul dalam kategori aman. Dengan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa robot dapat dengan mudah keluar masuk ruangan pada saat evakuasi dan memiliki desain konstruksi yang aman dilengkapi dengan daya cengkeram yang kuat dalam mengangkat beban serta penyemprot air yang fleksibel dan efisien.

Kata kunci: Robot *Hexapod*; SAR; FEA; kinematik terbalik; *von mises stress*

Abstract

Fires often occur in dense urban areas because the location is difficult to reach by fire cars, making handling difficult as it is a vulnerable area to fire disasters. One of the countermeasures that can be done is to use a hexapod robot. The purpose of this research is to find out the design of robots that have a strong construction system. The steps taken are to design the mechanical construction of the robot using the Autodesk Inventor Software and perform the FEA analysis using the AutoDesk Inventor Stress Analysis Software, then perform the calculation and simulation of the Inverse kinematic using the RoboAnalyzer Software. The results obtained in this study are the dimensions of the hexapod SAR robot designed to have a total length of 145 cm, a width of 85 cm and a height of 85cm, 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 result of the inverse kinematic angle that can be used on the robot is coxa angle 0°, femur 45° and tibia -135°. The FEA simulation obtained the largest von mises voltage of 144.2 MPa and the highest safety factor of 1.73 ul in the safe category. Based on the results of this study, it can be concluded that the robot can easily enter the room at the time of the evacuation and has a safe construction design equipped with strong grip in lifting loads as well as a flexible and efficient water sprayer.

Keywords: Hexapod Robot; SAR; FEA; Inverse kinematic; *von mises stress*

1. Pendahuluan

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 [1]. 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.

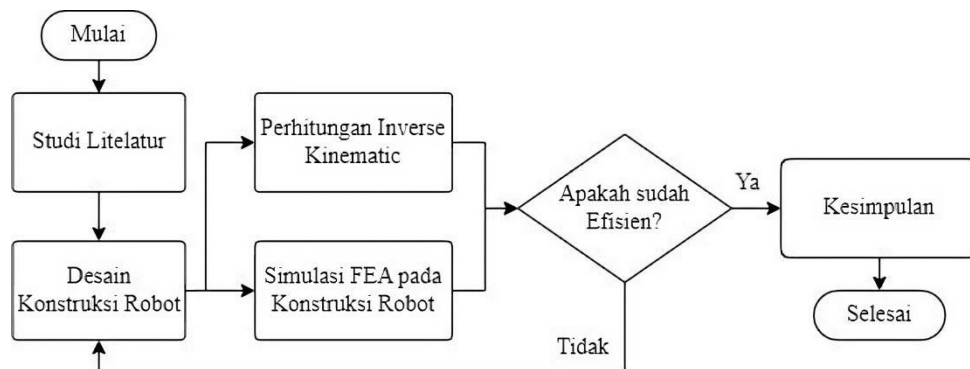
Salah satu penanggulangan yang bisa dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dalam penanganan kebakaran yang harus melakukan pemadaman api serta pencarian dan penyelamatan korban yang terdapat pada bencana kebakaran dengan cepat dan aman serta tidak membahayakan petugas kebakaran dan bisa melewati rintangan 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 [3-4], 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 [5-6].

Saat ini, beberapa lembaga penelitian dunia didedikasikan untuk pengembangan robot *hexapod*, dan diyakini bahwa perkembangan dari robot *hexapod* untuk bekerja secara autonomus atau bekerja sendiri bisa berkembang dengan cepat sesuai dengan kebutuhan [7]. Akan tetapi Penelitian yang sudah dilakukan hanya berorientasi kepada robot prototype dengan skala yang kecil dan tidak berorientasi kepada masalah sebenarnya. 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 [8]. Seperti yang dilakukan pada penelitian sebelumnya yang dimana pada penelitian tersebut dibuat untuk kebutuhan kontes robot indonesia (KRI) yang memiliki dimensi yang kecil atau hanya prototype 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 [9].

Maka dengan itu solusi yang tepat mengenai masalah di atas adalah dengan melakukan penelitian mengenai konstruksi mekanik yang 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, dengan tujuan dari Penelitian ini adalah untuk mencari tau rancangan kontruksi dari robot pemadam api yang memiliki efisiensi yang baik dan kekuatan yang baik juga. karena pastinya robot tersebut harus bisa melewati rintangan seperti tangga yang terdapat di rumah atau gedung serta bisa melakukan evakuasi dengan cara pencarian korban dan penyelamatan korban yang terdapat di lokasi kebakaran.

2. Material dan metodologi

Metode yang dilakukan dalam melaksanakan penelitian ini terangkum dalam Gambar 1 diagram alir penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 Metode desain konstruksi robot

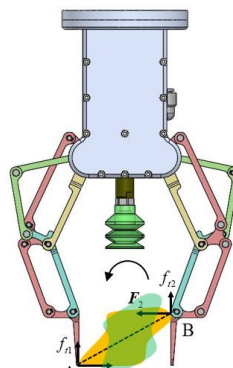
Proses desain konstruksi mekanik robot yaitu menggunakan *software 3D Modeling Autodesk Inventor 2020*. Desain konstruksi mekanik robot mengacu pada referensi robot *hexapod* yang dirancang pada penelitian sebelumnya [10], dimana desain konstruksi robot disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Robot *hexapod* [10]

Desain konstruksi mekanik robot pada Gambar 2 masih berbentuk prototipe atau dalam bentuk dimensi yang kecil. Oleh karena itu harus membuat desain ulang (*Re-design*) konstruksi mekanik robot dengan menambah dimensi dari robot dan menambah bagian-bagian yang sesuai dengan tugas dan misi yang nantinya yang akan dijalankan oleh robot tersebut di lokasi bencana kebakaran. Desain konstruksi robot *hexapod* pada Gambar 2 sudah di analisa optimasi torsi yang terdapat dalam konstruksi mekanik yang memiliki efisiensi terbaik dibandingkan dengan desain sebelumnya [11]. Hasil dari penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa bagian panjang sturuktur dari kaki berpengaruh terhadap efisiensi torsi yang dihasilkan [10].

Karena robot ini nantinya akan digunakan sebagai pemadam api serta evakuasi kebakaran, oleh karena itu robot harus ditambahkan konstruksi mekanik *grip* atau lengan penjepit yang nantinya berfungsi sebagai pengangkat benda atau barang yang dapat menghalangi proses evakuasi korban bencana kebakaran. Maka untuk itu peneliti akan menggunakan sistem konstruksi *grip* pada robot yang sudah diteliti pada penelitian sebelumnya [12]. Adapun desain konstruksi *grip* yang sudah dianalisis seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

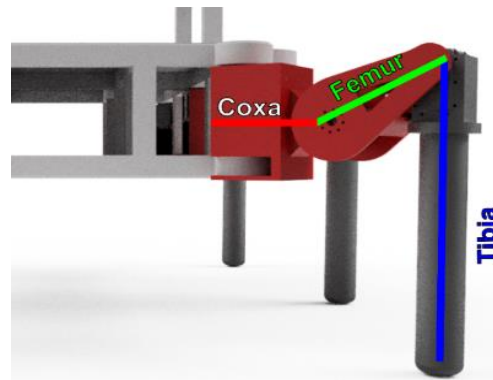


Gambar 3. Desain konstruksi *grip* [12]

2.2 Metode perhitungan *inverse kinematic*

Perhitungan *inverse kinematic* pada kaki robot *hexapod* SAR mengacu ke bentuk atau rancangan kaki yang sudah dirancang pada tahap sebelumnya. Langkah-langkah untuk mencari nilai sudut *coxa* (θ_c), *femur* (θ_f), dan *tibia* (θ_t) dengan keterangan sudut seperti pada Gambar 4. Metode penghitungan sudut kaki dengan metode *inverse kinematic*

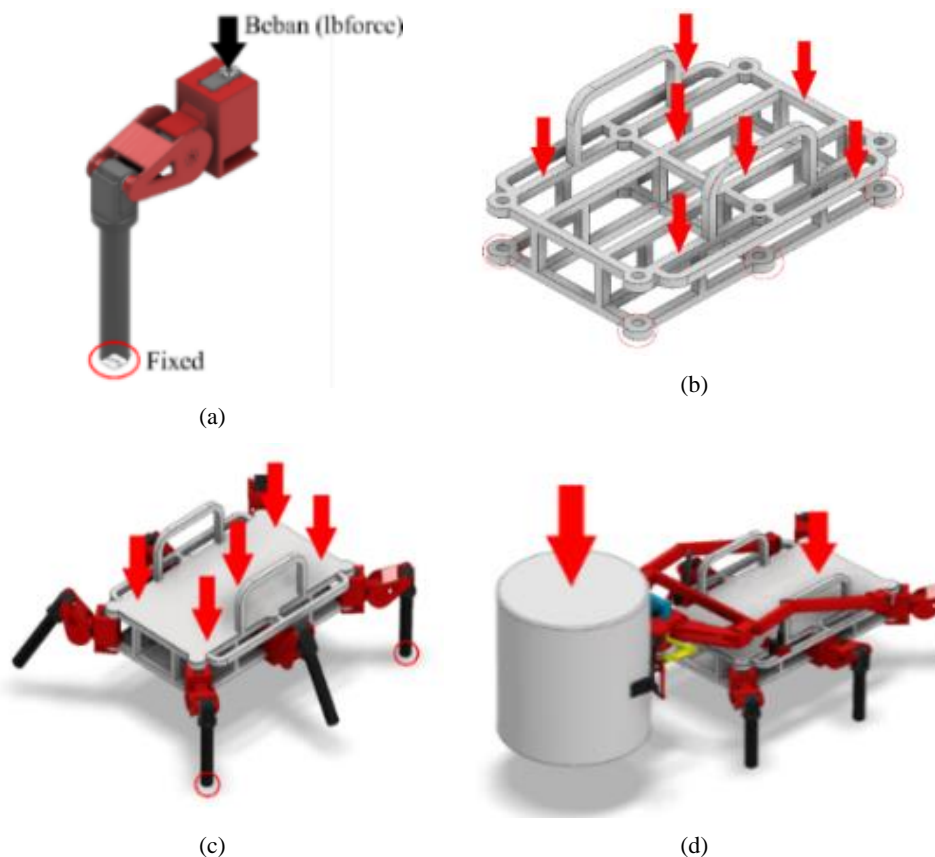
menggunakan *software RoboAnalyzer* seperti pada tahapan: (i) Menentukan *Denavit-Hartenberg (D-H) parameter* pada *software*, (ii) Mencari Nilai *end effector* dan (iii) Menentukan nilai *inverse kinematic* [13-14].



Gambar 4. Sudut pada kaki robot

2.3 Metode Simulasi FEA

Proses FEA menggunakan *software Autodesk Inventor Stress Analysis* dimana *Stress Analysis* merupakan salah satu alat pengujian struktur pada aplikasi *Autodesk Inventor* yang dilakukan dengan menerapkan konsep FEA secara statik [15]. Adapun bagian-bagian komponen robot yang akan dilakukan analisis FEA sesuai dengan rancangan pada robot dan penempatan pembebanan pada masing-masing bagian seperti pada Gambar 5 dengan keterangan panah merah merupakan posisi beban yang ditambahkan pada proses analisis.

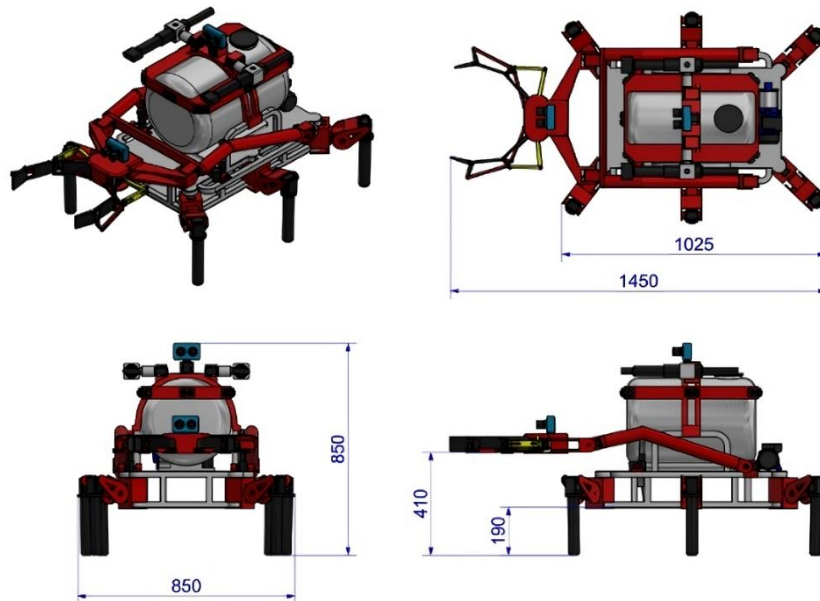


Gambar 5. Pembebanan untuk Analisis FEA: (a) Kontruksi kaki, (b) Kontruksi rangka, (c) Konstruksi *hexapod* dan (d) Konstruksi *grip*

3. Hasil dan pembahasan

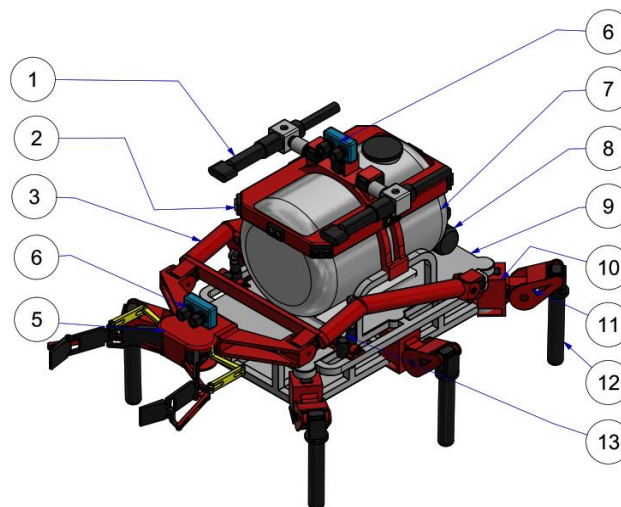
3.1 Desain Konstruksi Mekanik Robot

Perancangan desain dari kontuksi mekanik robot menggunakan jenis robot *hexapod* persegi panjang atau *rectangular* dengan menggabungkan konstruksi robot *hexapod* yang sudah dianalisis oleh ervin burkus dengan konstruksi mekanik *grip* yang dianalisis oleh penelitian sebelumnya [12] yang akan digunakan nantinya sesuai kebutuhan pada misi yang dijalankan, serta penambahan komponen lain yang berfungsi sebagai pendukung dalam robot *hexapod* SAR dalam menjalankan tugas dan misi. Adapun dimensi yang terdapat dalam konstruksi mekanik robot adalah seperti Gambar 6 dimensi konstruksi mekanik robot.



Gambar 6. Dimensi konstruksi mekanik robot

Dengan lebar dan tinggi 85 cm serta panjang keseluruhan 145 cm maka memungkinkan robot untuk masuk dan keluar dari pintu pada umumnya di sebuah rumah atau gedung untuk melakukan evakuasi dan pemadaman api. Adapun komponen yang terdapat dalam robot secara garis besar terdapat pada Gambar 7 dengan nama komponen disajikan pada Tabel 1.



Gambar 7. Komponen pada robot

Tabel 1. Bagian-Bagian Komponen Robot

Nomor Bagian	Nama Bagian
1	<i>Water sprayer</i>
2	<i>Ultrasonic sensor</i>
3	<i>Hand grip</i>
4	<i>Camera</i>
5	<i>Grip</i>
6	<i>Camera</i>
7	<i>Water tank</i>
8	<i>Water pump</i>
9	<i>Hexapod frame</i>
10	<i>Coxa</i>
11	<i>Femur</i>
12	<i>Tibia</i>
13	Aktuator linear

Spesifikasi robot hexapod dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Robot

Bagian	Spesifikasi
Dimensi robot	145 cm x 85 cm x 85 cm
Berat robot tanpa air	36.4 kg
Berat robot dengan air	42.5 kg
Kapasitas tangki	44.32 Liter
Dimensi <i>grip</i> robot	52 cm x 42 cm

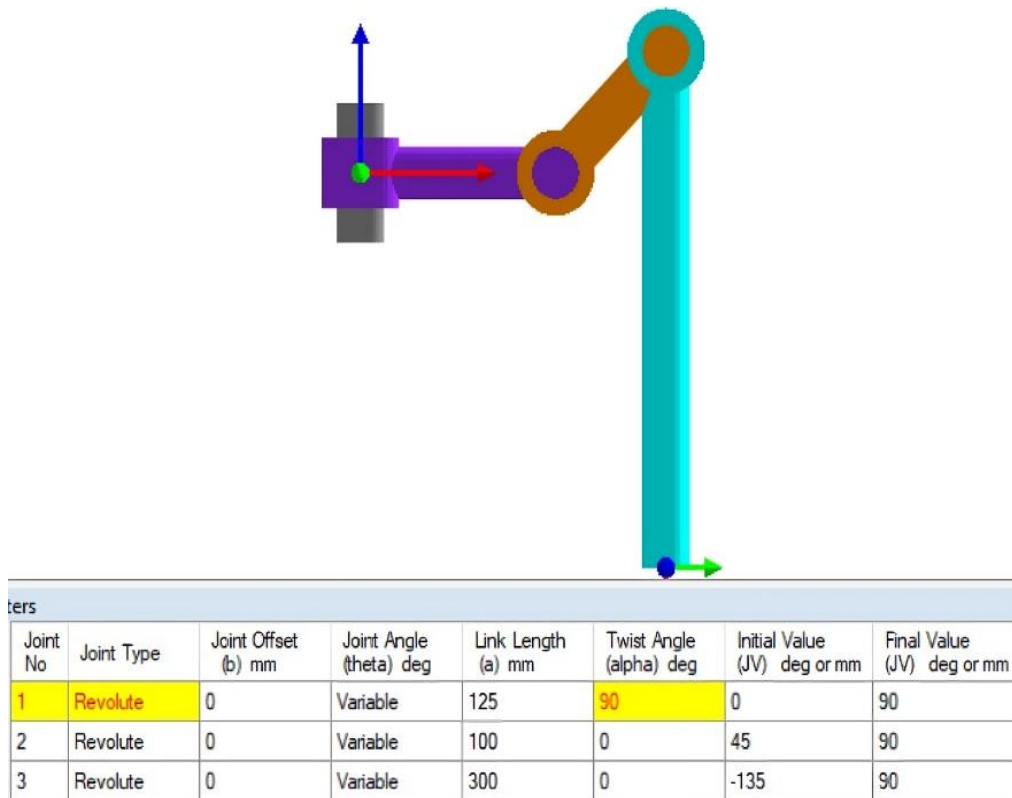
3.2. Perhitungan *Inverse kinematic*

Struktur kaki yang digunakan untuk perhitungan pada penentuan *inverse kinematic* yaitu dengan panjang sebagai berikut

:

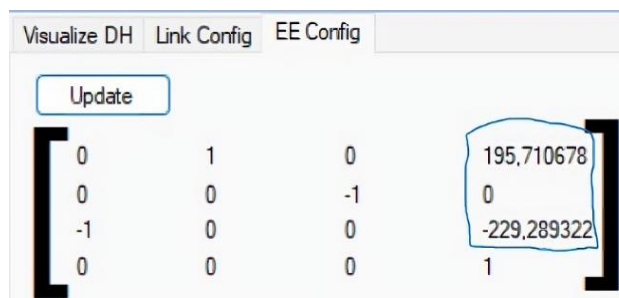
- Panjang *coxa* : 125 mm
- Panjang *femur* : 100 mm
- Panjang *tibia* : 300 mm

Sebelum mencari *Inverse kinematic* tahap yang harus dilakukan sebelumnya yaitu dengan cara menentukan *end effector* pada kaki robot yang di mana *end effector* adalah rencana pergerakan pada ujung kaki robot dengan mencari menggunakan *D-H parameter* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. D-H parameter RoboAnalyzer

Pada D-H parameter yang harus di input nilainya yaitu link length atau panjang masing-masing bagian seperti coxa, femur dan tibia, serta pada initial value diisi nilai normalisasi posisi servo atau posisi kaki, maka setelah di-generate hasilnya ditunjukkan pada Gambar 9. Nilai end effector yang dihasilkan pada Gambar 9 adalah $EE_x = 195.7$, $EE_y = 0$ dan $EE_z = -229.2$.



Gambar 9. Nilai end effector

Proses perhitungan masing-masing sudut atau inverse kinematic pada kaki robot dilakukan menggunakan software RoboAnalyzer dengan nilai end effector dari hasil generate pada software sebagai berikut $EE_x = 195.7$, $EE_y = 0$ dan $EE_z = -229.2$ menghasilkan solusi seperti tersaji pada Gambar 10.

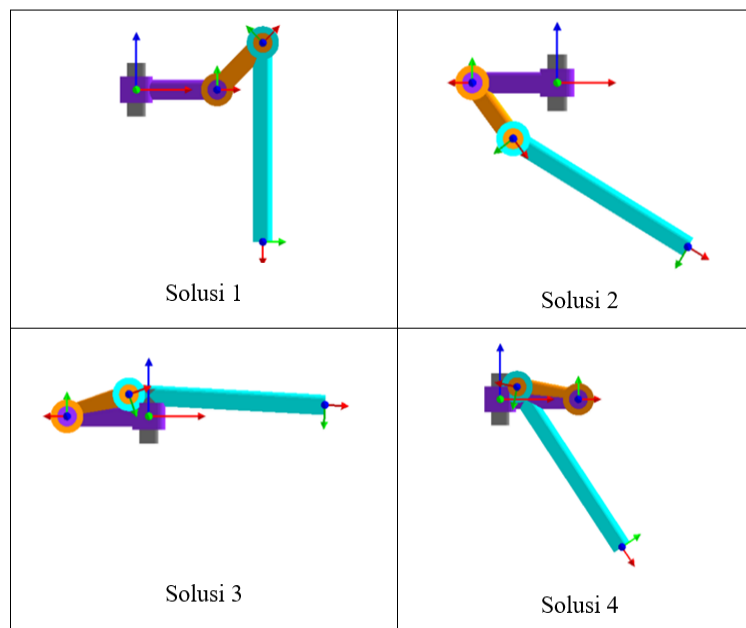
Solution1 Theta1 (deg): 0 Theta2 (deg): 45,0724 Theta3 (deg): -135,0574	Solution2 Theta1 (deg): 180 Theta2 (deg): -127,42 Theta3 (deg): -22,6285
Solution3 Theta1 (deg): 180 Theta2 (deg): -161,4742 Theta3 (deg): 22,6285	Solution4 Theta1 (deg): 0 Theta2 (deg): 169,2138 Theta3 (deg): 135,0574

Gambar 10. Inverse kinematic parameter pada software RoboAnalyzer

Dari hasil simulasi tersebut untuk mencapai posisi yang sudah ditentukan yaitu $EE_x = 195.7$, $EE_y = 0$ dan $EE_z = -229.2$. Solusi posisi tersebut adalah.

- 1) $\theta_x=0^\circ$, $\theta_y=45^\circ$ dan $\theta_z= -135^\circ$
- 2) $\theta_x=180^\circ$, $\theta_y=-127^\circ$ dan $\theta_z= -22^\circ$
- 3) $\theta_x=180^\circ$, $\theta_y=161^\circ$ dan $\theta_z= 22^\circ$
- 4) $\theta_x=0^\circ$, $\theta_y=169^\circ$ dan $\theta_z= 135^\circ$

Adapun sudut di atas jika diilustrasikan atau diimplementasikan kepada sebuah rancangan dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Ilustrasi solusi inverse kinematic pada software

Dari empat solusi *inverse kinematic* pada Gambar 11 yang memungkinkan bisa digunakan adalah solusi 1, dimana sudut yang digunakan sama seperti pada sudut normalisasi 0^0 yang dapat memungkinkan bagian fisik pada robot tidak melebihi limit yang mengakibatkan kaki bertabrakan.

3.3. Simulasi FEA pada konstruksi mekanik

Simulasi FEA terdapat beberapa parameter uji yang akan dimasukkan kedalam simulasi pegujian seperti berat robot, berat robot dengan air dan berat robot dengan beban angkatan pada grip yang didapatkan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Berat Parameter Uji

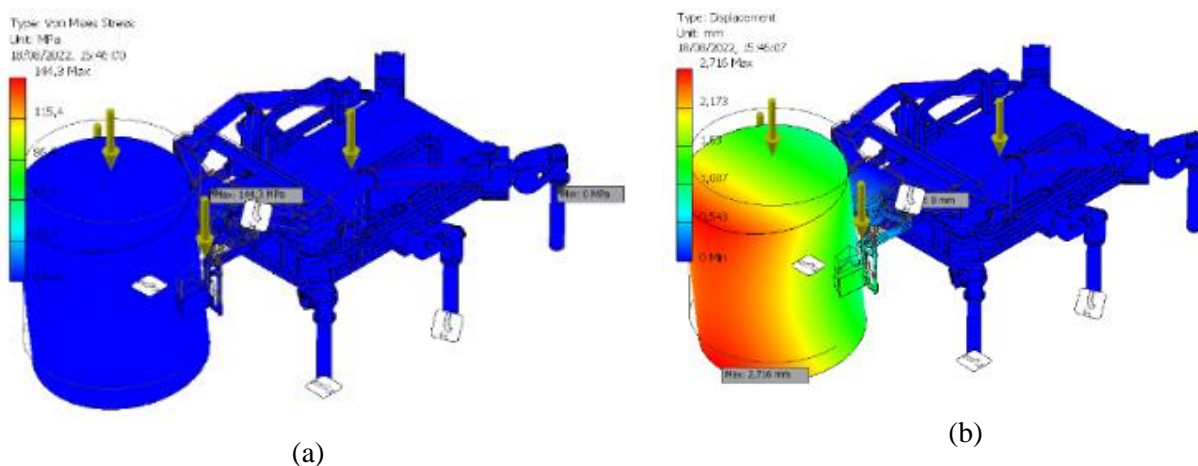
No.	Parameter Uji	Berat (kg)
1	Robot dengan tangki tanpa terisi air	36.4 kg
2	Robot dngan tangki terisi air	42.5 kg
3	Estimasi beban evakuasi	50 kg
4	Berat total keseluruhan robot	128.9 kg

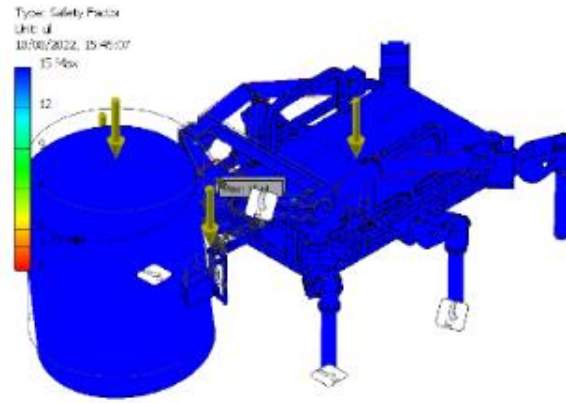
Dengan memberikan beban seperti pada Tabel 3 maka didapatkan hasil simulasi FEA dengan menggunakan *Autodesk Inventor Stress Analysis* dengan seluruh material menggunakan *steel alloy* yang memiliki spesifikasi material sesuai dengan *software* seperti ditunjukkan pada Tabel 4. Adapun hasil yang diambil dalam simulasi FEA ini adalah *von mises stress*, *displacement* dan *safety factor*.

Tabel 4: Spesifikasi Material *Steel Alloy*

No.	Keterangan	Nilai
1	<i>Mass density</i>	0.279264 kg/m ³
2	<i>Yield strength</i>	362.5 MPa
3	<i>Ultimate tensile strength</i>	580.1 MPa
4	<i>Young's modulus</i>	297.3 MPa
5	<i>Shear modulus</i>	114.3 MPa

Adapun hasil simulasi yang didapatkan secara visual salah satunya terdapat dalam Gambar 12.

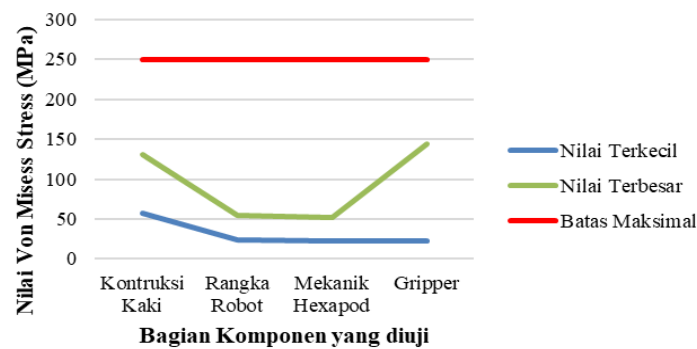




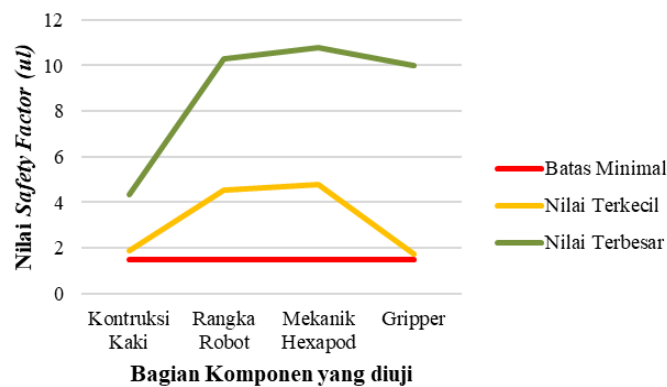
(c)

Gambar 12. Hasil simulasi FEA konstruksi mekanik

Hasil simulasi FEA pada Gambar 12 didapatkan hasil keseluruhan yang menjadi acuan dan parameter tingkat kelayakan dan kekuatan dari konstruksi mekanik robot *hexapod* pemadam kebakaran yaitu *von mises stress* dan *safety factor* yang dimana hasil analisis tersebut untuk mendapatkan kriteria kuat jika diimplementasikan, maka nilai *von mises stress* tidak boleh lebih dari nilai *yield strength* yang terdapat pada material. Pengujian ini menggunakan material *steel alloy* dengan nilai *yield strength* sebesar 36259.4 Psi atau 249.9 MPa. Parameter *safety factor* tidak boleh kurang dari 1,5 ul karena batas tersebut merupakan batas aman yang di rekomendasikan. Adapun hasil analisis pada simulasi FEA seperti pada Gambar 13.



(a)



(b)

Gambar 13. Grafik FEA pada konstruksi mekanik robot *hexapod* SAR: (a) Nilai *von mises stress* dan (b) Nilai *safety factor*

Pada Gambar 13.a mengenai hasil dari pengujian bagian robot *hexapod* dengan FEA menghasilkan nilai *von mises stress* dengan nilai terbesar 144.2 MPa yang tidak melebihi nilai dari *yield strength* material *steel alloy* yaitu sebesar 249.9 MPa, yang dimana hal tersebut bisa dikategorikan sebagai perancangan yang aman dan kuat serta tidak masuk kedalam kategori kegagalan perancangan. Begitu juga pada Gambar 13.b menyatakan bahwa konstruksi mekanik robot *hexapod* SAR yang dirancang masih layak dan memiliki nilai *safety factor* atau faktor keamanan yang masih dalam kategori aman dengan hasil nilai terkecil yang didapatkan yaitu sebesar 1,73 ul, karena nilai *safety factor* tidak kurang dari 1,5 ul sesuai dengan nilai *safety factor* yang direkomendasikan.

4. Kesimpulan

Dimensi robot *hexapod* SAR yaitu memiliki panjang total 145 cm, lebar 85 cm dan tinggi 85 cm yang berbeda dengan penelitian sebelumnya yang hanya berbentuk prototype. Pengujian dilakukan menggunakan beban aktual yang terdapat dalam bencana kebakaran dengan hasil analisis FEA memiliki nilai *von mises stress* tertinggi yaitu sebesar 131.09 MPa dengan *safety factor* sebesar 1.95 yang dimana 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 ul maka konstruksi mekanik yang dirancang masih dalam kategori aman atau kuat. Dalam proses evakuasi pada kebakaran menggunakan mekanisme grip mekanik sebagai pemindah beban dengan batas maksimal beban yang diangkat adalah 50 kg yang menghasilkan *von misess stress* sebesar 144.2 MPa dengan *safety factor* 1.73 dengan kapasitas maksimal ukuran yang bisa diangkat *grip* adalah 52 cm dan kapasitas tangki sebesar 44.32 liter. 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°. Untuk memaksimalkan penelitian kedepannya bisa melakukan penelitian tidak hanya *inverse kinematic* saja tapi 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 dan diperlukan Pengujian FEA dinamik pada *grip* robot dan Pengujian FEA pada bagian konstruksi mekanik robot lain dengan menggunakan material yang lain dan Perlu dilakukan analisis terhadap penggunaan air dan potensi penyebaran air yang keluar dari *nozzle*.

Daftar Pustaka

- [1] D. F. Saraswati dan A. B. Cahyono, Analisis daerah risiko bencana kebakaran di kota Surabaya dengan menggunakan sistem informasi geografis. *J. Tek. ITS*. 2017; 6(2): p. 1–4.
- [2] F. Tedeschi and G. Carbone, Design issues for *hexapod* walking robots. *Robotics*. 2014; 3(2): p. 181–206.
- [3] R. B. S. A. Nugroho, *Gripper* adaptif untuk robot. *Tek. Elektron*. 2016; p. 1–58.
- [4] M. Hendra Jaya, *Sistem robotika*. 2016; 300.
- [5] G. Firasanto, Pengendalian Robot *hexapod* berbasis *Internet of Things (IoT)*,” *J. Electr. Power, Instrum. Control*. 2021; 4(1): p. 1–9.
- [6] S. Sukardi dan S. G. Zain, Pengembangan algoritma gerak robot *hexapod* menggunakan logika fuzzy. *Jessi*. 2021; 02: p. 44–51.
- [7] Y. Wahyudi, M., Hadi, A., Handayanu, dan S. Sendari, Implementasi sistem kendali PD (*Propotinal Derivative*) pada navigasi *wall follower* robot berkaki enam (*hexapod*). *Prosiding 5th Indonesia Syposium Robot. Syst. Control*. 2017. pp. 34–38.
- [8] Y. Qu, P. Durdevic and Z. Yang, Smart-spider: Autonomous self-driven in-line robot for versatile pipeline inspection. *IFAC-PapersOnLine*. 2018; 51(8): p. 251–256.
- [9] C. E. J. Mamahit, F. R. Seke dan H. Ponto, Pengembangan sistem gerak robot berkaki enam. 2022; 2(1): p. 53–60.
- [10] E. Burkus and P. Odry, Mechanical and walking optimization of a *hexapod* robot using PSO. *Proceeding of ICC 2013 - IEEE 9th Int. Conf. Comput. Cybern*. 2013. p. 177–180.

- [11] S. Y. Misyurin, G. V. Kreinin, N. Y. Nosova, and A. P. Nelubin, Six-legged walking robot (hexabot), kinematics, dynamics and motion optimization. *Procedia Comput. Sci.* 2021; 190: p. 604–610.
- [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.* 2019; 9(24).
- [13] F. Sirait dan B. A. Wicaksono, *Jurnal Teknologi Elektro*, Universitas Mercu Buana ISSN : 2086 - 9479. *J. Teknol. Elektro, Univ. Buana.* 2017; 8(2): p. 87–94.
- [14] *Roboanalyzer user manual.* 2011.
- [15] M. A. Rozik, *Mesin Pengayak Pasir Menggunakan Autodesk Inventor. Tugas Akhir.* Indonesia: Universitas 17 Agustus 1945; 2019.