

Perancangan dan Analisis Konstruksi Robot Berkaki Enam Menggunakan Metode *Finite Element Analysis*

Taufik Rahman ^{a,1,*}, Dani Mardiyana ^{a,2}, Oscar Haris ^{b,3}

^a Program Studi Teknik Mesin, Universitas Nusa Putra, Sukabumi, Jawa Barat, 43152, Indonesia

^b Departemen Teknologi Rekayasa Industri Otomotif, Politeknik Digital Boash Indonesia, Bogor, Jawa Barat, 16310, Indonesia

¹ taufik.rahman_tm19@nusaputra.ac.id; ² dani.mardiyana@nusaputra.ac.id; ³ oscar.haris@pdbi.ac.id

* Corresponding Author

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 oleh mobil pemadam kebakaran. Salah satu penanggulangan yang dapat dilakukan yaitu dengan menggunakan robot hexapod. Pada penelitian ini tahapan yang dilakukan yaitu dengan melakukan perancangan konstruksi mekanik robot dengan menggunakan *Software Autodesk Inventor* dan melakukan analisis FEA pada konstruksi mekanik dengan menggunakan *Software Autodesk Inventor Stress Analysis*. Adapun hasil yang didapatkan dalam penelitian ini adalah dimensi efisien 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. Dalam simulasi FEA menghasilkan *von misess stress* terbesar adalah 144.2 mpa dan nilai *safety factor* terbesar adalah 1.73 ul, Dengan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa robot dapat dengan mudah keluar masuk ruangan saat evakuasi dan memiliki desain konstruksi yang aman dilengkapi dengan grip yang kuat dalam mengangkat beban dan penyemprot air yang fleksibel.

KATA KUNCI

Robot Hexpod
Finite Element Analysis
Robot Kebakaran
Von misess stress
Safety factor

1. Pendahuluan

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 diantaranya adalah robot cerdas yang diciptakan dan dikembangkan untuk membantu pekerjaan yang memiliki resiko 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 intelligence* 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 resiko tinggi untuk memadamkan api dengan bertaruh nyawa karena segala resiko 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 resiko yang tinggi bagi nyawa dan kesehatan petugas. Dengan menggunakan robot akan mengurangi resiko yang terjadi pada manusia dalam proses pemadaman kebakaran [1].

Kebakaran sering terjadi di perkotaan yang padat, dilihat dari letak geografis, daerah perkotaan yang memiliki penduduk padat 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.

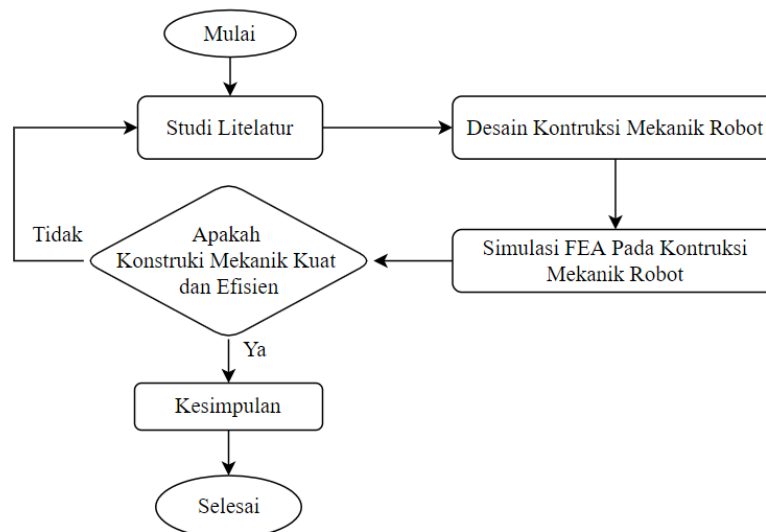
Salah satu penanggulangan yang bisa dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dalam penanganan kebakaran yang harus melakukan pemadaman api serta pencarian dan penyelamatan korban yang terdapat pada bencana kebakaran dengan cepat dan aman serta tidak membahayakan petugas kebakaran dan bisa melewati rintangan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

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. 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 [4]. Seperti yang dilakukan oleh mildes dkk, pada penelitiannya yang berjudul "pengembangan sistem gerak robot berkaki enam" 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 [5].

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, 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. Metode

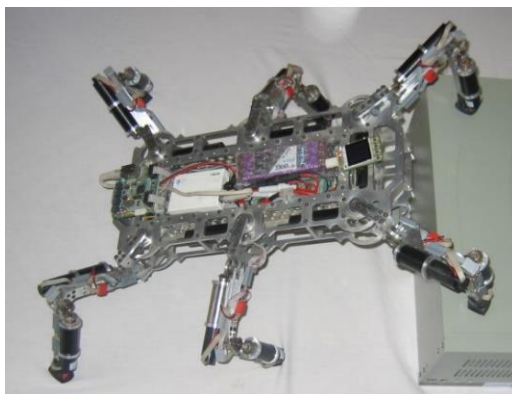
Dalam penelitian ini metode yang digunakan dalam memperoleh, mengolah dan menganalisis data adalah dengan metode deskriptif. Metode yang dilakukan dalam melaksanakan penelitian ini terangkum dalam blok diagram di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1. Desain Konstruksi Mekanik Robot

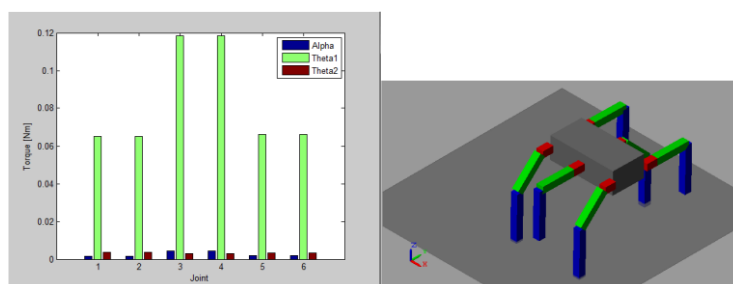
Desain konstruksi Mekanik robot mengacu pada referensi robot Hexapod atau robot berkaki enam yang dibuat oleh Ervin Burkus, dkk, pada tahun 2013 yang dimana desain konstruksi robot seperti pada gambar di bawah ini.



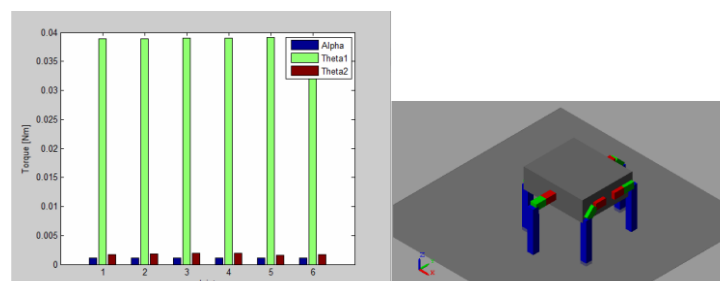
Gambar 2. Desain konstruksi robot Hexapod [6]

Pada desain konstruksi mekanik robot di atas masih berbentuk prototype atau dalam bentuk dimensi yang kecil. Oleh karena itu penulis akan membuat desain ulang (Re-Design) konstruksi Mekanik Robot di atas 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 13 sudah di analisa optimasi torsi yang terdapat dalam konstruksi mekanik yang memiliki efisiensi terbaik dibandingkan dengan desain sebelumnya [6]. Seperti pada gambar perbandingan bentuk konstruksi robot yang penelitiannya dilakukan oleh Ervin Burkus, Seperti pada gambar 14 dan 15 yang dimana dihasilkan perbandingan optimasi torsi dalam perbaikan desain dan bentuk konstruksi robot yang memiliki torsi yang lebih baik.



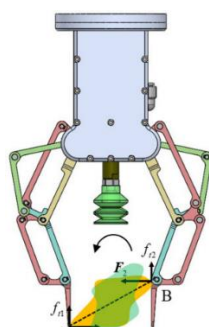
Gambar 3. Desain Sebelum di Optimasi [6]



Gambar 4. Desain Sesudah di Optimasi [6]

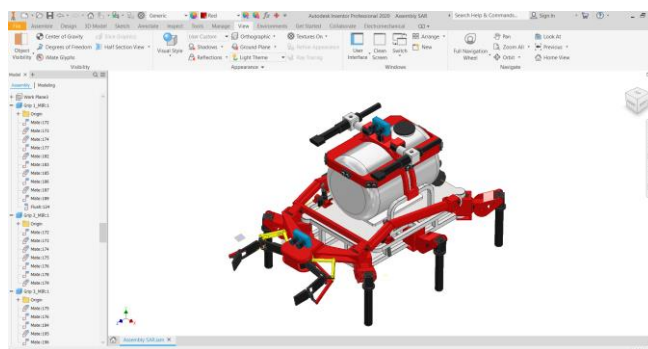
Hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Ervin Burkus dapat disimpulkan bahwa bagian panjang struktur dari kaki berpengaruh terhadap efisiensi torsi yang dihasilkan [6]. Maka dengan itu peneliti akan membuat desain robot Hexapod dengan skala nyata (*Real Design*) sesuai dengan hasil yang sudah di optimasi yang dimana bagian kaki Femur harus lebih pendek dari bagian kaki Tibia.

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 dan dikembangkan oleh Long King dkk, pada 2019 pada jurnal nya yang berjudul "Design and Implementation of a Multi-Function Gripper for Grasping General Objects". Yang dimana pada penelitian tersebut yaitu membuat sebuah grip robot yang multifungsi serta bisa mencapit semua benda baik yang teratur ataupun yang tidak teratur yang dimana mekanisme seperti itu sangat tepat digunakan oleh robot dengan tipe robot SAR karena benda yang dicapit tidak beraturan atau tidak menentu yang harus menyesuaikan dengan lokasi pada bencana kebakaran seperti manusia ataupun benda [7]. Adapun desain konstruksi grip yang sudah dianalisis seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 5. Konstruksi Mekanik Grip Robot Multifungsi [7]

Proses Desain Konstruksi Mekanik robot yaitu menggunakan Software 3D Modeling Autodesk Inventor 2020 yang dimana hasil desain dari robot dengan mengacu kepada literatur atau penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya serta beberapa penambahan komponen yang menyesuaikan dengan kebutuhan robot untuk bisa menjalankan tugas dan fungsinya adalah seperti gambar 3.6 di bawah ini.



Gambar 6. Proses Desain Konstruksi Mekanik di Software Autodesk Inventor 2020

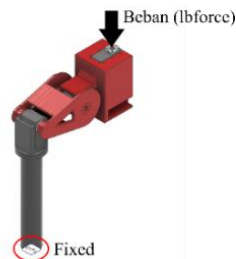
2.2. Simulasi FEA Pada Konstruksi Robot

Proses FEA menggunakan Software Autodesk Inventor Stress Analysis yang dimana Stress Analysis merupakan salah satu alat pengujian struktur pada aplikasi Autodesk Inventor yang dilakukan dengan menerapkan konsep *Finite Element Analysis* (FEA), cara kerjanya adalah dengan memecah objek struktur yang akan diuji menjadi elemen-elemen berhingga yang saling terhubung satu sama lain dan memerlukan aplikasi khusus untuk perhitungan sehingga menghasilkan hasil yang akurat. Metode FEA disini untuk melihat kekuatan konstruksi dan *Safety factor* pada mekanik robot yang sudah di desain pada tahapan sebelumnya dengan memberikan beban dan tumpuan (*Fixed*) dari beban yang diberikan pada konstruksi mekanik robot, adapun bagian konstruksi robot yang akan dianalisis adalah bagian konstruksi mekanik Hexapod dan konstruksi mekanik grip dari robot seperti pada gambar 7 sampai 10 di bawah ini.

2.2.1. Konstruksi Kaki Robot

Pada bagian Analisis Kaki mengikuti skema simulasi FEA seperti pada gambar 7 dengan memasukan beban sesuai dengan kalkulasi beban yang terdapat pada robot disaat robot berjalan seperti persamaan di bawah ini :

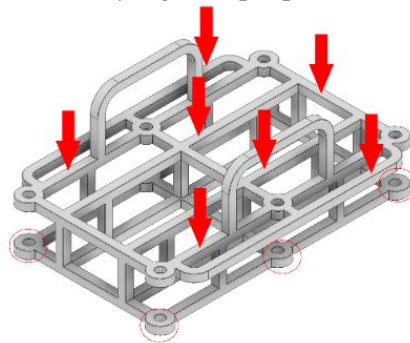
$$\text{Beban Kaki 1} = \frac{\text{Total berat robot (kg)}}{3 \text{ kaki}}$$



Gambar 7. Distribusi Pembebanan pada konstruksi Kaki Robot

2.2.2. Rangka Hexapod

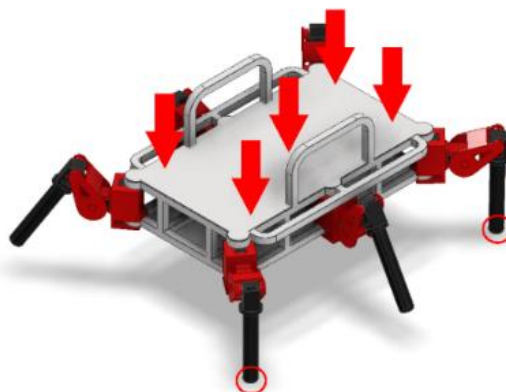
Pada analisis bagian rangka atau chasis di robot Hexapod dalam titik pembebanan seperti pada gambar 8 yaitu mengikuti berat keseluruhan yang terdapat pada robot tersebut.



Gambar 8. Titik Distribusi Pembebanan pada Rangka Hexapod

2.2.3. Kaki Robot Hexapod

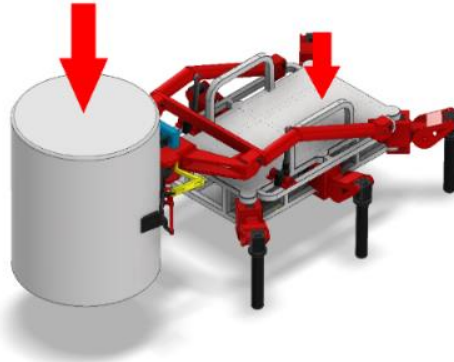
Pada analisis konstruksi mekanik Hexapod robot seperti pada gambar 9 terlihat beberapa titik pembebanan yang menyesuaikan dengan berat yang ada dalam robot. Serta untuk tumpuannya yaitu kaki dari robot yaitu 3 kaki sesuai dengan skema berjalan pada robot Hexapod.



Gambar 9. Distribusi Pembebanan pada konstruksi mekanik robot Hexapod

2.2.4. Grip Robot

Pada Analisis Simulasi FEA asumsi yang diberikan sebagai berat atau beban pada simulasi pengujian adalah berat konstruksi mekanis robot, berat robot dengan air pada tangki serta berat robot dengan mengangkat beban evakuasi.

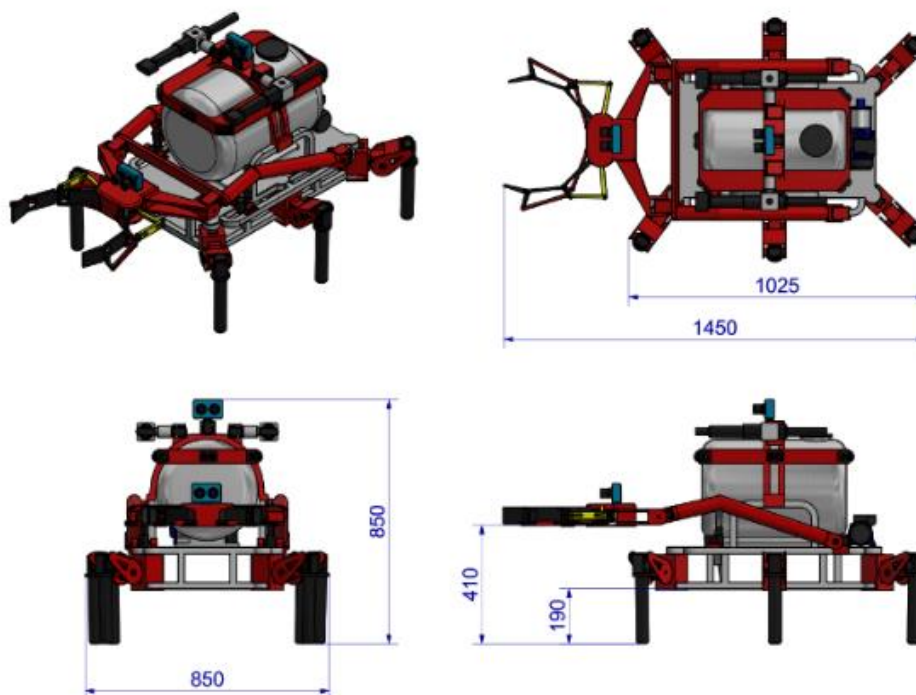


Gambar 10. Distribusi Pembebanan pada Konstruksi Mekanik Grip Robot

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Desain Konstruksi Mekanik Robot

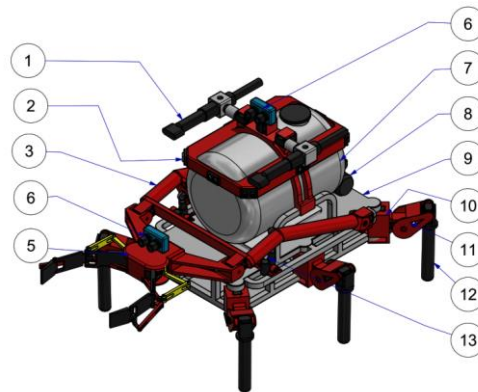
Perancangan desain dari konstruksi mekanis robot menggunakan jenis robot hexapod persegi panjang atau rectangular dengan menggabungkan konstruksi robot hexapod yang sudah dianalisis oleh erwin burkus dengan konstruksi mekanik grip yang dianalisis oleh long king yang akan digunakan nantinya sesuai kebutuhan 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 11 di bawah ini.



Gambar 11. 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.

Bagian-bagian yang terdapat dalam robot hexapod pemadam kebakaran ini untuk mendukung kinerja dari robot yang dimana harus menjalankan misi yaitu evakuasi dan pemadaman api secara otonom pada bencana kebakaran. Adapun komponen yang terdapat dalam robot secara garis besar terdapat pada gambar 12 di bawah ini dan gambar detail ukuran terdapat pada lampiran.



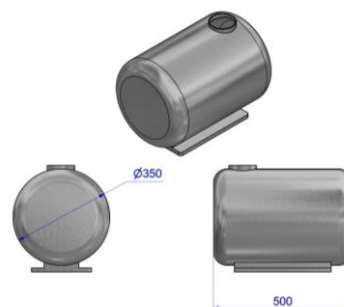
Gambar 12. Bagian-Bagian Konstruksi Mekanik Robot

Tabel 1. Daftar Bagian Robot

Nomor Bagian	Nama Bagian
1	Water Sprayer
2	Ultrasonic Sensor
3	Hand Grip
4	Camera
5	Grip
6	Camera
7	Water Tank
8	Water Pump
9	Hexapod Frame
10	Coxa
11	Femur
12	Tibia
13	Aktutor Linear

3.1.1. Tangki Air

Tangki air yang digunakan dalam robot memiliki dimensi dengan diameter 35 cm serta panjang 50 cm dan ketebalan tangki 3 mm seperti gambar 13 di bawah ini.



Gambar 13. Dimensi Water Tank Robot

Untuk mencari kapasitas dari tangki yang dirancang maka terlebih dahulu mencari volume dari tangki tersebut yaitu dengan persamaan 9 yang dimana (π) mempunyai nilai $22/7$, (r) adalah radius tangki dan (t) adalah tinggi atau panjang tangki dengan tangka memiliki tebal 3 mm dengan perhitungan persamaan 9 di bawah ini.

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot t \quad (9)$$

$$V = \frac{22}{7} \cdot (17,5 - 0,6)^2 \cdot (50 - 0,6)$$

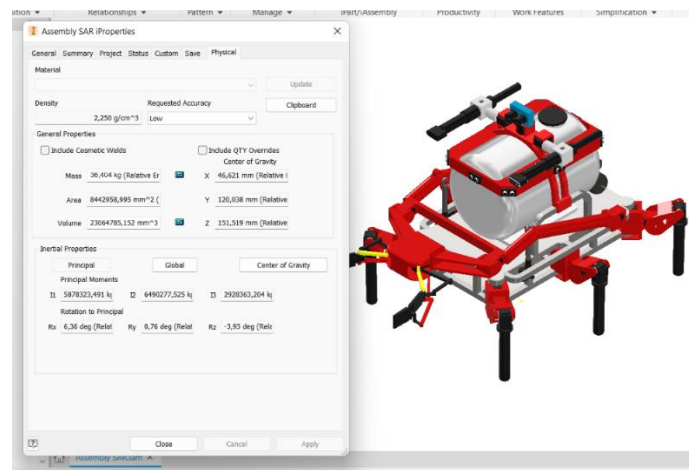
$$V = \frac{22}{7} \cdot (16,9)^2 \cdot (49,4)$$

$$V = 44342 \text{ cm}^3$$

Melihat dari persamaan di atas maka tangki memiliki volume 44342 cm^3 , karena $1 \text{ Liter} = 1000 \text{ cm}^3$ maka dengan demikian kapasitas tangki tersebut dalam kondisi penuh adalah $44,32 \text{ Liter}$.

3.1.2. Berat Robot

Berat robot pada dua kondisi yaitu dengan kondisi tanpa terisi air dalam tangki dan air terisi penuh dalam tangki dengan melakukan pengukuran berat pada desain menggunakan Software Autodesk Inventor pada *Iproperties Mass* adalah sebagai berikut.

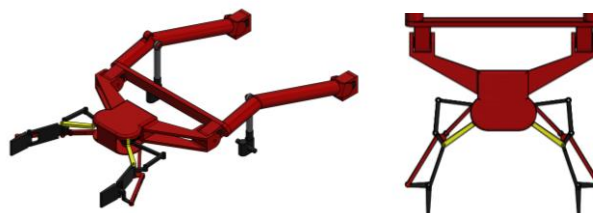


Gambar 14. *IProperties Mass* Autodesk Inventor

- a. Robot dengan tangki tanpa terisi air = 36,4 Kg
- b. Robot dengan tangki penuh terisi air = 42,5 Kg

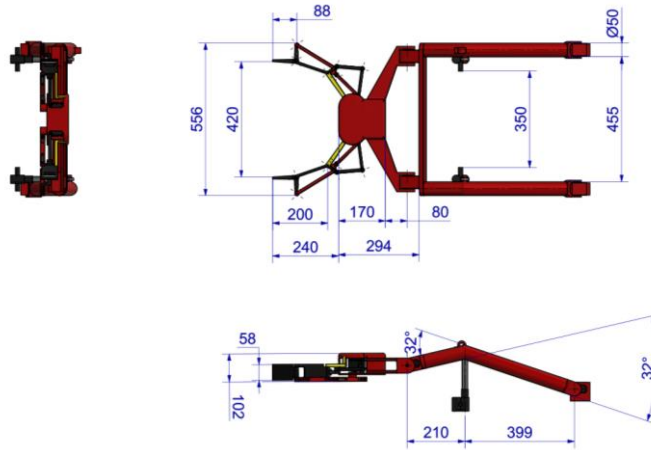
3.1.3. Gripper Robot

Robot hexapod SAR memerlukan gripper untuk menjalankan misinya, yang nantinya digunakan sebagai pengangkat benda atau barang yang dapat menghalangi proses evakuasi. Adapun acuan dalam pembuatan grip adalah grip multifungsi yang dirancang oleh long king, maka hasil penyesuaian dengan rancangan yang dibuat dalam robot hexapod seperti pada gambar di bawah ini.



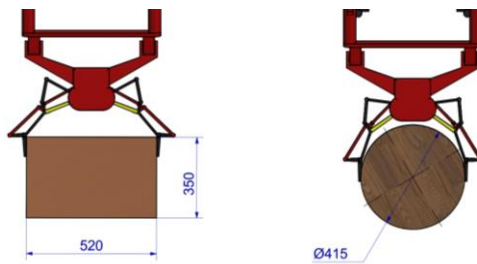
Gambar 15. Rancangan Konstruksi Gripper Robot multifungsi

Karena penggunaan grip ini digunakan untuk proses evakuasi bencana kebakaran yang tidak diketahui benda apa aja yang akan di grip dan tidak bisa diperkirakan maka harus membuat rancangan grip yang multifungsi dan bisa menjepit benda dengan kontur seperti apapun. Adapun dimensi yang terdapat dalam grip yang dirancang pada robot hexapod sar adalah sebagai berikut.



Gambar 16. Ukuran Gripper robot hexapod SAR

Setelah terdapat dimensi dan analisis pada rancangan grip robot maka terdapat batas maksimal dimensi benda yang bisa dijepit atau angkat oleh grip tersebut seperti pada gambar di bawah ini.

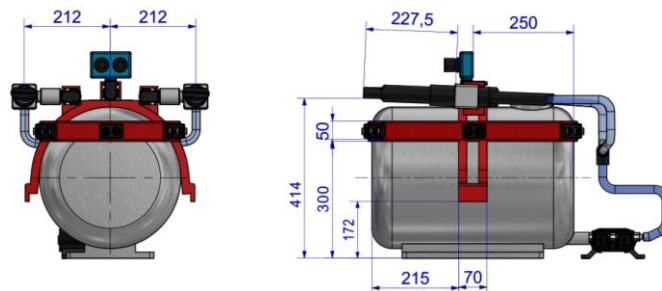


Gambar 17. Dimensi Maksimal Benda pada Grip

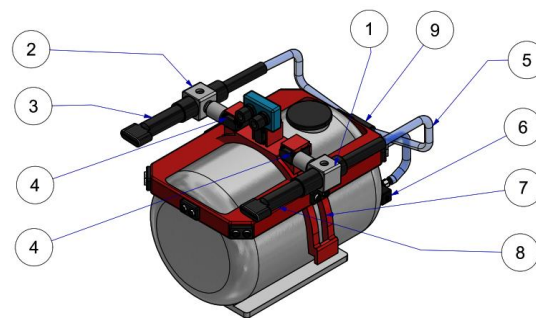
Pada rancangan grip sesuai dengan gambar 35 maka batas maksimal dimensi benda yang bisa diangkat secara maksimal pada bidang persegi adalah dengan lebar 52 cm sedangkan pada bidang silinder atau tabung maka batas maksimal yang bisa dijepit dengan maksimal adalah ukuran 41,5 cm.

3.1.4. Water Sprayer (Penyemprot Air)

Dalam sebuah robot Hexapod SAR pemadam kebakaran, salah satu komponen yang paling penting adalah *water sprayer* yang dimana komponen ini sebagai alat untuk memadamkan api jika di dalam ruangan tersebut terdeteksi ada api, Adapun mekanisme yang terdapat dalam *water sprayer* adalah sebagai berikut.



Gambar 18. Mekanisme Water Sprayer

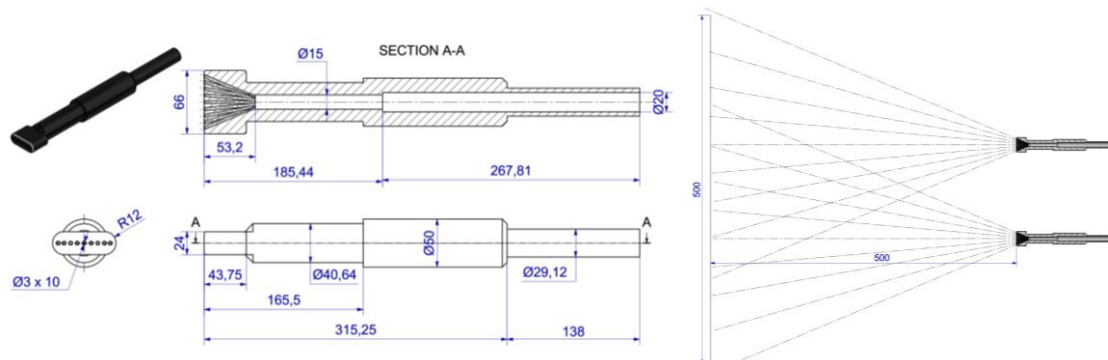


Gambar 19. Mekanisme Water Sprayer

Tabel 2. Daftar bagian-bagian Mekanisme Water Sprayer

Nomor Bagian	Nama Bagian
1	Bracket Nozzle 1
2	Bracket Nozzle 2
3	Nozzle / Sprayer 2
4	Motor Servo
5	Pipa
6	Electric Water Pump
7	Bracket Water Sprayer
8	Nozzle / Sprayer 1
9	Sambungan T pipa

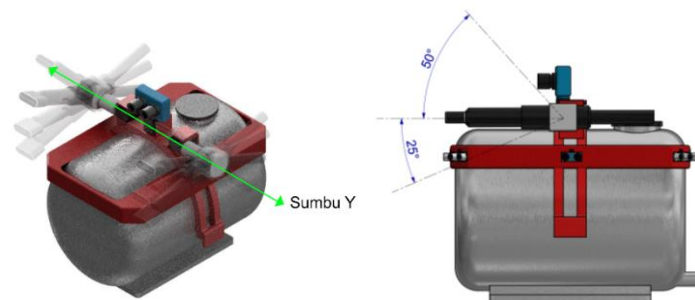
Pada Mekanisme *Water Sprayer* hal yang paling terpenting terdapat pada pompa air serta Nozzle yang digunakan. Pompa yang digunakan adalah pompa Air TSL PUMP SL-DP25 yang dimana memiliki tekanan sebesar 200 Psi atau 13.1 Bar maka akan memungkinkan untuk menyemprotkan air dengan tekanan kuat yang bersumber dari tangki air yang mempunyai kapasitas 44,32 Liter. Adapun rancangan dari Nozzle adalah sebagai berikut:



Gambar 20. Rancangan Nozzle / Sprayer

Seperti pada gambar 20 di atas bahwa nozel memiliki lubang diameter 15 mm dan diujung nozel memiliki aliran penyebar atau lubang penyebar air dengan diameter 3 mm yang berfungsi sebagai penyebar aliran air yang membuat proses pemadaman api lebih efektif dan cepat. Adapun skema penyebaran air dengan menyesuaikan lubang yang terdapat dalam Nozzle seperti gambar di bawah ini.

Pada gambar 20 terdapat luas penyebaran air oleh Nozzle/sprayer yang menghasilkan bahwa penyebaran Nozzle dalam jarak semprotan air 50 cm akan memberikan wilayah penyebaran dengan lebar 50 cm sesuai dengan lubang penyebaran pada mozzel. Dikarenakan pada rancangan mekanisme Nozzle terdapat motor servo yang akan membuat Nozzle bisa berputar pada sumbu Y seperti pada Ilustrasi pergerakan Nozzle pada gambar di bawah ini.



Gambar 21. Ilustrasi Pergerakan sudut pada Nozzle/Sprayer

Melihat dari pergerakan Nozzle yang berkoordinat pada sumbu Y mempunyai batas normal atau batas perpindahan sudut dari 0 derajat. batas normal perpindahan sudut ke atas adalah 50 derajat, sedangkan batas maksimal perpindah sudut kebawah adalah 25 derajat. Yang dimana itu menyesuaikan dengan komponen yang berada di depan Nozzle serta tujuan penyemprotan.

3.2. Simulasi FEA pada Konstruksi Mekanik Robot

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 dari *Software* Autodesk Inventor pada bagian *iproperties mass* seperti pada gambar 14 diatas. Karena pada *Software* simulasi diharuskan menggunakan satuan Pound maka harus di konversi dari kg ke lbf seperti pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Berat Parameter Uji

No.	Parameter Uji	Berat (kg)	Berat (lbf)
1	Robot dengan Tangki Tanpa Terisi Air	36,4 kg	80,2 lbf
2	Robot dengan Tangki Terisi Air	42,5 kg	93,6 lbf
3	Estimasi Beban Evakuasi	50 kg	110,2 lbf
4	Berat Total keseluruhan Robot	128,9 kg	284,1 lbf

Dengan memberikan beban seperti pada tabel 3 di atas 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 pada tabel 4 di bawah ini. Adapun hasil yang diambil dalam simulasi FEA ini adalah *Von misess stress*, *Displacement* dan *Safety factor*.

Tabel 4. Spesifikasi Material *Steel Alloy*

No.	Keterangan	Nilai
1	Mass Density	0,279264 lbmass/in ³
2	Yield Strength	36259,4 psi
3	Ultimate Tensile Strength	58015,1 psi
4	Young's Modulus	29732,7 ksi
5	Shear Modulus	11435,7 ksi

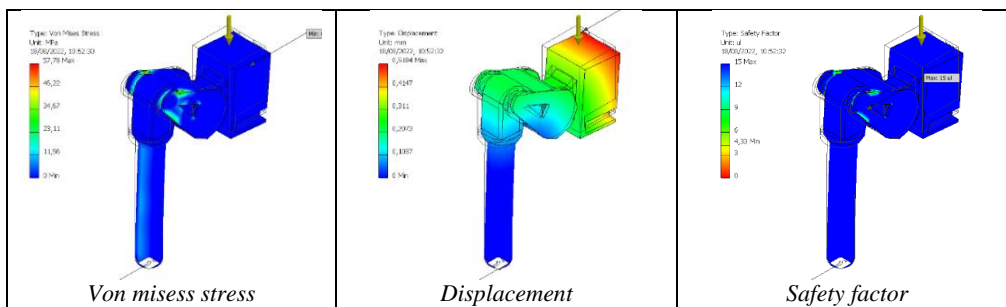
3.2.1. FEA pada Konstruksi Kaki

Pada robot hexapod memiliki 6 kaki yaitu dengan pembagian seperti pada gambar 7 maka beban yang terdapat dalam robot terbagi kedalam 6 kaki robot tersebut dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Beban Kaki} = \frac{\text{Total berat robot (kg)}}{3 \text{ kaki}} \quad (9)$$

$$\text{Beban Kaki} = \frac{128,9 \text{ Kg}}{6 \text{ kaki}} = 21,4 \text{ kg}$$

Maka distribusi beban pada kaki robot yaitu masing-masing kaki mendapatkan beban sebesar 21,4 kg atau setara dengan 47,1 Lbf jika dimasukkan ke dalam *Software* analisis yaitu dengan hasil sebagai berikut.



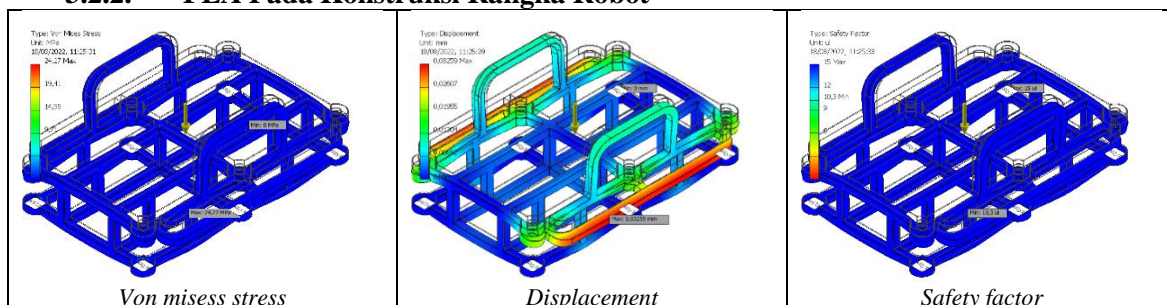
Gambar 22. Hasil Simulasi FEA Konstruksi Kaki

Nilai hasil Simulasi FEA pada konstruksi kaki seperti pada gambar 22 dari *Von misess stress*, *Displacement* dan *Safety factor* dengan menggunakan semua beban parameter uji yang terdapat pada tabel 3. Adapun nilai dari masing-masing parameter uji terdapat pada tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Hasil Simulasi FEA konstruksi kaki

Result	<i>Von misess stress</i>	Displacement	<i>Safety factor</i>
Beban 80,2 Lbf			
Maximum	57,77 Mpa	0,518 mm	15 ul
Minimum	0,0021Mpa	0 mm	4,32ul
Beban 93,6 Lbf			
Maximum	62 Mpa	0,556 mm	15 ul
Minimum	0,0023Mpa	0 mm	4,03 ul
Beban 284,1 Lbf			
Maximum	131,09 Mpa	1,176 mm	15 ul
Minimum	0,0049 Mpa	0 mm	1,9 ul

3.2.2. FEA Pada Konstruksi Rangka Robot



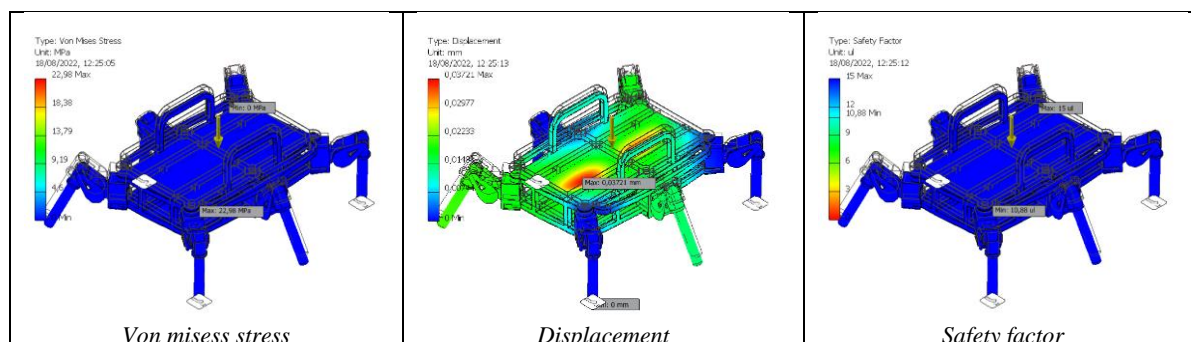
Gambar 23. Hasil Simulasi FEA konstruksi rangka

Nilai hasil Simulasi FEA pada konstruksi rangka seperti pada gambar 23 dari *Von misess stress*, *Displacement* dan *Safety factor* dengan menggunakan semua beban parameter uji yang terdapat pada tabel 3. Adapun nilai dari masing-masing parameter uji terdapat pada tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Hasil Simulasi FEA konstruksi rangka

Result	<i>Von misess stress</i>	Displacement	<i>Safety factor</i>
Beban 80,2 Lbf			
Maximum	24,26 Mpa	0,0325 mm	15 ul
Minimum	0,0004 Mpa	0 mm	10,3 ul
Beban 93,6 Lbf			
Maximum	26,04 Mpa	0,034 mm	15 ul
Minimum	0,0004 Mpa	0 mm	9,59 ul
Beban 284,1 Lbf			
Maximum	55, 05 Mpa	0,073 mm	15 ul
Minimum	0,0009 Mpa	0 mm	4,54 ul

3.2.3. FEA pada Konstruksi Mekanik Hexapod Robot



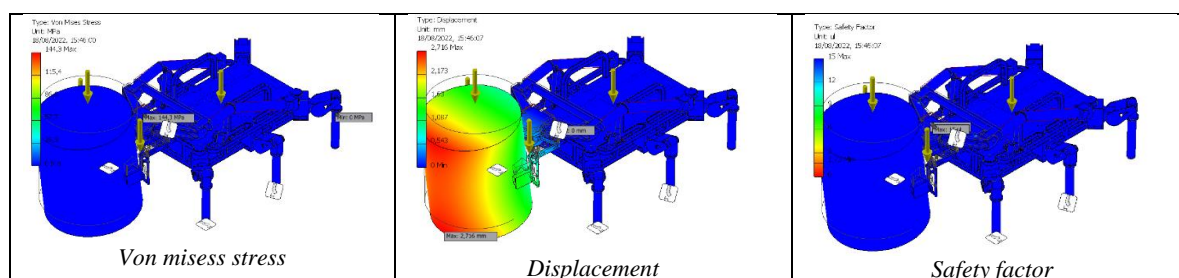
Gambar 24. Hasil simulasi FEA konstruksi mekanik hexapod robot

Nilai hasil Simulasi FEA pada konstruksi rangka seperti pada gambar 24 dari *Von missess stress*, *Displacement* dan *Safety factor* dengan menggunakan semua beban parameter uji yang terdapat pada tabel 3. Adapun nilai dari masing-masing parameter uji terdapat pada tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Hasil simulasi FEA konstruksi mekanik hexapod robot

Result	<i>Von missess stress</i>	Displacement	<i>Safety factor</i>
Beban 80,2 Lbf			
Maximum	22, 97 Mpa	0,0372 mm	15 ul
Minimum	0,00004 Mpa	0 mm	10,8 ul
Beban 93,6 Lbf			
Maximum	26,04 Mpa	0,034 mm	15 ul
Minimum	0,0004 Mpa	0 mm	9,59 ul
Beban 284,1 Lbf			
Maximum	52, 13 Mpa	0,0844 mm	15 ul
Minimum	0,00001 Mpa	0 mm	4,79 ul

3.2.3. FEA Pada Mekanisme Gripper Robot



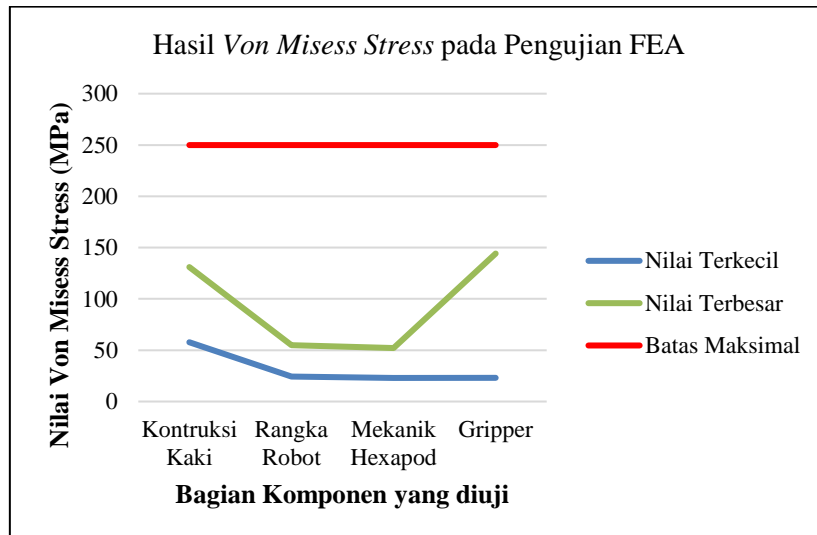
Gambar 25. Hasil Simulasi FEA gripper robot

Nilai hasil Simulasi FEA pada konstruksi grip seperti pada gambar 25 dari *Von missess stress*, *Displacement* dan *Safety factor* dengan menggunakan estimasi beban evakuasi yaitu sebesar 50 kg atau 110,2 lbf. Adapun nilai dari simulasi uji terdapat pada tabel 7 di bawah ini.

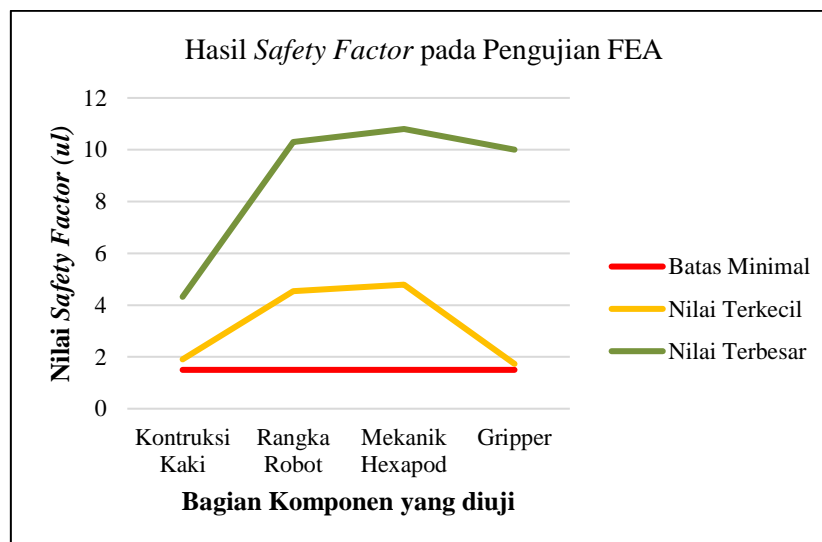
Tabel 7. Hasil Simulasi FEA gripper robot

Result	<i>Von missess stress</i>	Displacement	<i>Safety factor</i>
Beban 284,1 Lbf			
Maximum	144,2 Mpa	2,71 mm	15 ul
Minimum	0,00007 Mpa	0 mm	1,73 ul

Dari Simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) di atas didapatkan hasil keseluruhan yang menjadi acuan dan parameter tingkat kelayakan dan kekuatan dari konstruksi mekanik robot Hexapod pemadam kebakaran yaitu *Von misess stress* dan juga *Safety factor* yang dimana pada hasil analisis tersebut untuk mendapatkan kriteria kuat jika di implementasikan, maka nilai *Von misess stress* tidak boleh lebih dari nilai *yeild strength* yang terdapat pada material, karena pada pengujian ini menggunakan material Steel Alloy maka *yeild strength* nya adalah 36259,4 psi atau 249,9 Mpa. serta nilai *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 26 dan 27 di bawah ini.



Gambar 26. Diagram *Von misess stress* pada konstruksi Mekanik Robot Hexapod SAR



Gambar 27. Diagram *Safety factor* pada Konstruksi Mekanik Robot Hexapod SAR

Pada gambar 26 mengenai hasil dari pengujian bagian robot hexapod dengan FEA menghasilkan nilai *Von misess stress* dengan nilai terbesar 144,2 Mpa yang tidak melebihi nilai dari *yeild stength* 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 27 di atas 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 di rekomendasikan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan desain dan analisis rancangan robot hexapod SAR pada bencana kebakaran dengan menggunakan *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 pengujian yang sudah dilakukan sebagai berikut:

1. Dimensi Robot Hexapod SAR yaitu memiliki panjang total 145 cm, lebar 85 cm dan tinggi 85 cm yang memungkinkan robot dapat dengan mudah masuk dan keluar dari ruangan yang ada di dalam rumah atau lokasi kebakaran dengan hasil analisis FEA robot memiliki nilai *von misess 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 maka konstruksi mekanik yang dirancang masih dalam kategori aman atau kuat karena hasil *von misess stress* tidak lebih dari *yield strength* material yang digunakan dan *safety factor* tidak kurang dari yang direkomendasikan;
2. 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 itu konstruksi mekanik pada grip termasuk dalam kategori kuat karena *von misess stress* tidak melebihi batas maksimal yang disarankan, 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.

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, doi: 10.47080/saintek.v4i2.1013.
- [2] J. A. Orosz, R. A. Remillard, C. D. Bailyn, and J. E. McClintock, "An Optical Precursor to the Recent X-Ray Outburst of the Black Hole Binary GRO J1655–40," *Astrophys. J.*, vol. 478, no. 2, pp. 1–2, 1997, doi: 10.1086/310553.
- [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, doi: 10.1016/j.rcim.2011.10.005.
- [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] 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, doi: 10.1109/ICCCyb.2013.6617583.
- [7] 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, doi: 10.3390/app9245266.

