

# Perancangan dan Simulasi Finite Element Analysis (FEA) pada Frame Robot Sepak Bola Beroda

Muhammad Imron Shodiq<sup>1</sup> dan Anugerah Wibisana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

\*Email: m.imron@students.polibatam.ac.id, wibisana@polibatam.ac.id

**Abstrak—** Kontes Robot Sepak Bola Indonesia Beroda (KRSBI-B) termasuk dalam Kontes Robotika Indonesia yang mendorong para pelajar untuk menciptakan robot sepak bola yang otonom. Dalam kontes ini, struktur robot harus tahan terhadap guncangan dan beban operasional yang signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tiga jenis desain frame robot: frame standar, frame standar modifikasi, dan frame yang dibuat oleh tim Tech United. Setiap desain dilakukan evaluasi melalui teknik Finite Element Analysis (FEA) pada software SolidWorks untuk menilai tegangan, perpindahan, dan Factor of Safety (FOS) dengan beban sebesar 25 kgf atau setara dengan 5 kali beban base atas robot, hasil analisis menunjukkan bahwa frame standar menunjukkan tegangan maksimum sebesar 53,2 MPa, pengukuran perpindahan sebesar 2,655 mm, dan FOS terendah yaitu 1,036. Sebaliknya, frame standar modifikasi dan frame Tech United yang diubah menunjukkan kinerja yang unggul, menunjukkan penurunan tegangan masing-masing sebesar 4,9 MPa dan 5,8 MPa, perpindahan yang lebih kecil (0,077 mm dan 0,018 mm), dan nilai FOS yang meningkat secara signifikan (11,327 dan 9,471). Berdasarkan temuan ini, frame standar modifikasi dan frame Tech United disarankan sebagai alternatif yang lebih kuat dan stabil. Frame Tech United, yang memiliki kekakuan maksimum dan perpindahan minimum, merupakan pilihan terbaik untuk meningkatkan ketahanan robot dalam kompetisi.

**Kata Kunci:** finite element analysis, faktor keamanan, robot sepak bola, aluminium 6061.

## I. PENDAHULUAN

Dalam dunia robotika Indonesia, terdapat sebuah ajang lomba yang bernama Kontes Robotik Indonesia (KRI), di dalam lomba KRI terdapat beberapa kategori lomba, salah satunya adalah Kontes Robot Sepak Bola Indonesia Beroda (KRSBI-B), yang didasarkan pada kompetisi internasional *RoboCup Middle Size League* sebagai inisiatornya. Kompetisi ini menyediakan ruang bagi mahasiswa untuk mengembangkan kemampuan dalam berbagai bidang seperti mekanika, manufaktur, elektronika, dan pemrograman. Di KRSBI-B, robot sepak bola beroda dirancang agar bisa berkoordinasi, berkomunikasi, dan bermain sepak bola secara otonom layaknya permainan sepak bola manusia pada umumnya [1], [2]

Dalam pertandingan langsung di KRI Nasional, benturan antar robot atau kontak dengan objek lainnya kerap terjadi, baik kesalahan teknis maupun non-teknis, karena itulah robot yang dikembangkan harus memiliki ketahanan yang tinggi, terutama pada bagian fondasi atau *frame* dari robot, yang menjadi factor penting dalam menopang beban seluruh komponen robot, *frame* yang kuat tidak hanya mendukung beban part dan komponen, tetapi juga membantu mencegah kerusakan serta perubahan bentuk akibat benturan[3]. Oleh sebab itu, Bertujuan merancang dan mendesain sekuat mungkin frame robot yang mampu menahan beban komponen dan resiko benturan seefektif mungkin.

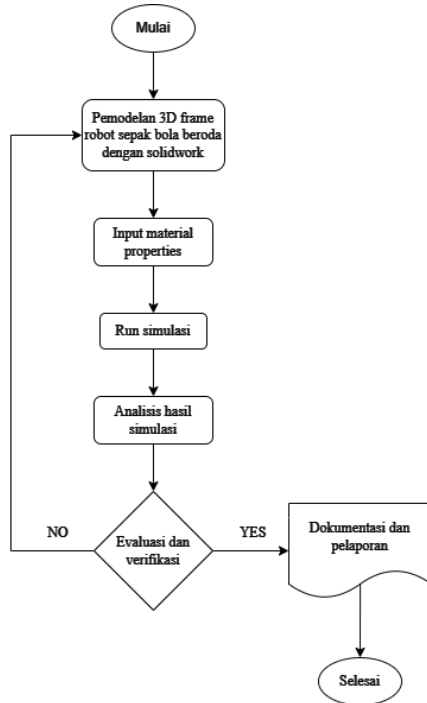
Desain frame robot dibuat menggunakan perangkat lunak Computer-Aided Design (CAD) yaitu Solidworks 2020, yang mendukung perancangan presisi dan memungkinkan analisis kekuatan struktur dengan fitur *Finite Element Analysis* (FEA) [4], FEA adalah metode analisis numerik yang membagi desain menjadi elemen-elemen kecil, disebut *node*, melalui proses *meshing*, dan di Solidworks fitur ini dikenal sebagai *static analysis*[5], [6], [7].

Tujuan dari analisis ini adalah untuk memungkinkan pengujian virtual terhadap variasi desain frame robot, sehingga kelemahan desain dapat diidentifikasi dan diperbaiki sebelum diterapkan dalam robot fisik kedepannya. Dengan optimasi ini, *frame* diharapkan dapat menghindari stress berlebih yang dapat menyebabkan deformasi dan kegagalan struktural saat pertandingan berlangsung dan memastikan bahwa frame ini mempunyai tingkat keamanan yang memadai dengan adanya *factor of safety* yang dihasilkan dari simulasi[8], [9], [10], [11]

Dalam Penelitian ini, terdapat beberapa batasan yang ditetapkan, material yang digunakan dalam simulasi terbatas pada *alloy 6061* dan terdapat tiga desain *frame* yang akan dibandingkan : frame pertama merupakan frame standar yang digunakan pada robot saat ini: frame kedua adalah modifikasi dari desain standar; dan frame ketiga adalah desain frame tim Tech United dari Eindhoven[12], Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam perancangan robot yang lebih optimal, baik dalam hal ketahanan maupun efisiensi penggunaan material.

## II. METODE

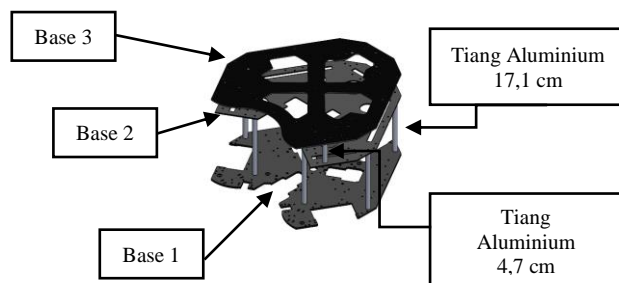
Penelitian ini dimulai dengan perancangan frame robot sepak bola beroda demi menerapkan desain frame yang optimal dan efisien saat perlombaan berlangsung, proses penelitian ini melalui beberapa tahapan yang akan dijelaskan sebagai Berikut :



Gambar 2. Alur diagram

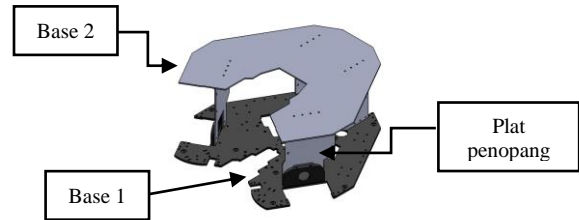
### A. Perancangan Frame Robot Sepak Bola beroda

Dalam perancangan Frame ini dimulai dengan konsep desain yang memenuhi kebutuhan kompetisi KRI, seperti ketahanan benturan dan gerakan yang efektif, Struktur frame harus memiliki kekuatan yang mencukupi untuk menopang semua komponen robot, Dalam proses desain ini, berbagai desain frame di evaluasi untuk mencari desain terbaik, desain model frame 3d dibuat dengan bantuan perangkat lunak CAD yaitu solidworks 2020, proses pembuatan model ini melibatkan penentuan ukuran dan tata letak setiap bagian struktur, termasuk sambungan, Setiap komponen direncanakan dengan mempertimbangkan kekuatan, stabilitas, dan pembagian beban untuk menahan penggunaan intens selama pertandingan berlangsung.



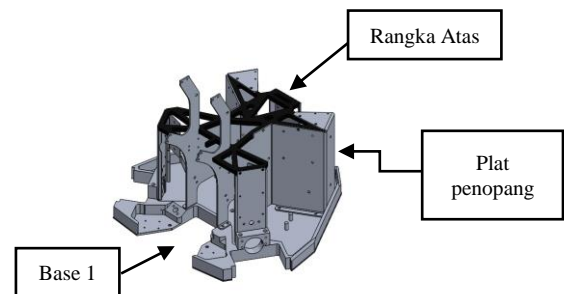
Gambar. 1.(a) Tampilan Isometric Frame Standard

Desain Frame standard robot ditunjukkan pada gambar. 1.(a) dengan tampilan isometris, dalam frame standard tersusun 3 lapis base plat aluminium dengan ditopang 9 buah tiang aluminium, lapis pertama dan kedua dihubungkan dengan 6 tiang aluminium sepanjang 17,1 cm, untuk lapisan kedua dan ketiga dihubungkan dengan tiang aluminium sepanjang 4,7 cm.



Gambar. 1.(b) Tampilan Isometric Frame Modifikasi

Gambar 1.(b) merupakan tampilan isometris desain frame modifikasi dari frame standard, desain ini menggunakan penopang berupa 4 plat aluminium yang dihubungkan ke plat base lapisan kedua menggunakan siku L aluminium,



Gambar. 1.(c) Tampilan Isometric Frame Tech United

Gambar 1.(c) adalah tampilan isometris dari frame yang dipakai Tech united, yang memakai total 5 buah penopang berupa plat aluminium untuk tumpuan rangka teratas,

### B. Pemilihan Material Frame

Memilih bahan yang tepat sangat penting untuk mencapai kombinasi sempurna antara kekuatan dan berat pada rangka robot. Penelitian ini menggunakan aluminium 6061 yang terkenal dengan sifat tariknya yang kuat, tahan lama, dan sifat ringan. Aluminium 6061 dipilih karena sifat mekaniknya yang sesuai untuk penggunaan struktural yang menuntut kekuatan dan ketahanan benturan.

Data SolidWorks untuk Aluminium 6061 menampilkan properti material utama. Dengan modulus elastisitas 69.000 N/mm<sup>2</sup>, material ini sangat kaku dan tidak mudah berubah bentuk akibat tekanan. Rasio Poisson sebesar 0,33 menunjukkan kontraksi lateral sedang di bawah tekanan aksial. Modulus geser sebesar 26.000 N/mm<sup>2</sup> menunjukkan kekuatan material terhadap beban geser. Kepadatan massa Aluminium 6061 sebesar 2.700 kg/m<sup>3</sup> menjadikannya material yang ringan namun kuat. Aluminium 6061 mempunyai

kekuatan tarik tinggi sebesar 124,084 N/mm<sup>2</sup> dan kekuatan luluh 55,1485 N/mm<sup>2</sup> sehingga mampu menahan beban berat tanpa putus. Sangat cocok untuk penggunaan struktural. Koefisien muai panas sebesar 2,4e-05/K menunjukkan bahwa ia mengembang secara moderat seiring dengan perubahan suhu. Konduktivitas termalnya sebesar 170 W/(m·K) berarti dapat menghilangkan panas secara efisien. Dengan kalor jenis 1300 J/(kg·K), memerlukan banyak energi untuk perubahan suhu, yang penting untuk stabilitas termal. Informasi tambahan menunjukkan bahwa Aluminium 6061 sangat cocok untuk berbagai penggunaan mekanis dan struktural. [13]

Tabel I  
Properti Material Aluminium 6061

Properti	Value	Units
Elastic Modulus	69000	N/mm <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.33	N/A
Shear Modulus	26000	N/mm <sup>2</sup>
Mass Density	2700	Kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	124.084	N/mm <sup>2</sup>
Yield Strength	55.1485	N/mm <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient	2.4e-05	/K

### C. Alur Penilaian Simulasi.

Simulasi dilakukan dengan Analisis Elemen Hingga (FEA) SolidWorks untuk menilai kinerja setiap desain rangka. Setiap desain harus menjalani analisis tegangan, perpindahan, dan faktor keamanan (FOS) dalam tiga kategori inspeksi.

Kategori pertama adalah Analisa tegangan, analisa ini dilakukan untuk mengetahui distribusi tegangan pada rangka akibat beban operasional, seperti benturan, saat robot digunakan. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi area bertekanan tinggi yang berpotensi menimbulkan kerusakan material. Desainnya dapat dibuat lebih kuat di area-area utama untuk memperpanjang masa pakainya dengan mengurangi tekanan-tekanan ini.

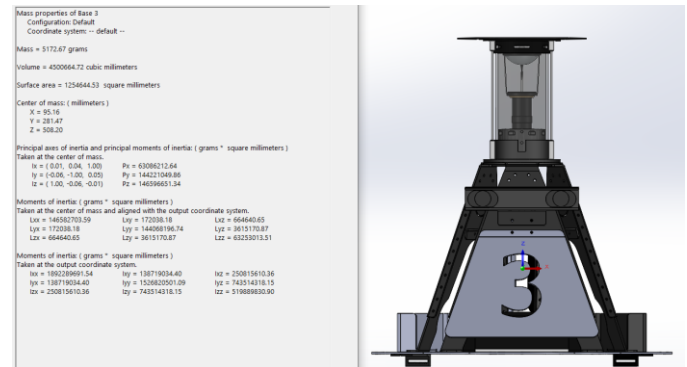
Kategori yang kedua adalah analisis perpindahan, analisa ini menilai bagaimana suatu struktur bergerak atau bergeser di bawah beban. Distorsi yang terlalu besar dapat menyebabkan robot kehilangan keseimbangan dan stabilitas saat bergerak. Dengan mempelajari gerakan-gerakan ini, desainer dapat memastikan struktur tetap kaku untuk stabilitas dan menghentikan terlalu banyak pembengkokan.

Kategori ketiga adalah analisa FOS, analisa dilakukan untuk mengetahui faktor keamanan frame, mengevaluasi seberapa baik suatu desain dapat menahan beban tanpa mengalami kegagalan. FOS adalah hubungan antara tegangan yang diterapkan selama pengujian dan kekuatan material sebelum mengalami deformasi permanen. Analisis FOS memberikan rincian mengenai wilayah dengan margin keselamatan terbatas, yang memungkinkan perancang untuk memodifikasi atau memperkuat komponen tertentu.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi pada setiap frame dilakukan dengan pemberian beban eksternal sebesar 5 kgf, yang akan dimaksimalkan dari perkalian beban base atas (bisa dilihat pada gambar 2) robot dengan nilai factor yaitu 5, menghasilkan total beban sebesar 25 kgf. Pendekatan ini digunakan untuk mengevaluasi kekuatan optimal rangka

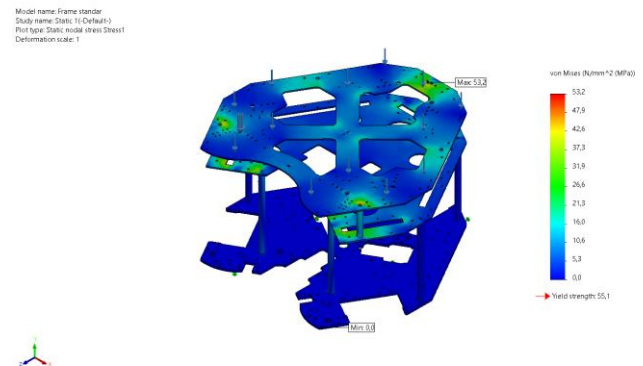
ketika menghadapi beban yang tiga kali lebih besar dari kondisi normal. Hasil simulasi divisualisasikan melalui SolidWorks dalam bentuk model 3D, grafik, diagram, dan tabel data.



Gambar. 2 Tampilan Base atas

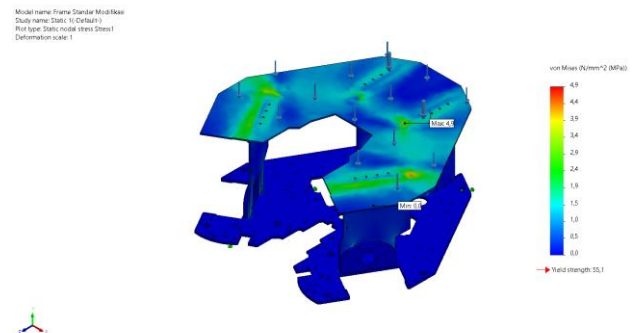
### A. Analisa tegangan (Stress)

Pengujian pertama yang disimulasikan adalah analisis tegangan (stress analysis), yaitu metode untuk menentukan respons frame terhadap pembebanan statis dengan mengukur tegangan ( $\sigma$ ) yang terjadi pada struktur. hasil analisis per frame dari simulasi adalah sebagai berikut:



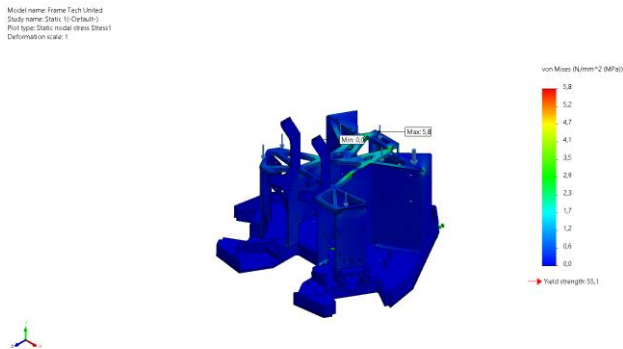
Gambar .3 Hasil analisis stress frame standar

Rangka ini menunjukkan tingkat tegangan tertinggi, yaitu 53,2 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa rangka tradisional mempunyai keterbatasan dalam kemampuannya mendistribusikan beban secara merata, sehingga menghasilkan konsentrasi tegangan yang lebih tinggi. Tekanan yang signifikan dalam desain ini menunjukkan kemungkinan terjadinya distorsi atau bahaya bila digunakan dalam situasi beban yang lebih berat.



Gambar .4 Hasil analisis stress frame standar modifikasi

Frame standar modifikasi, Pengujian menunjukkan tegangan sebesar 4,9 MPa pada rangka ini, tegangan paling kecil di antara ketiga desain. Mengurangi tingkat tegangan menghasilkan distribusi bobot yang lebih baik, meningkatkan ketahanan terhadap deformasi, dan menjaga stabilitas rangka dalam lingkungan operasional yang menantang.



Gambar .5 Hasil analisis stress frame Tech United

Tech United Frame Menampilkan tegangan 5,8 MPa, rangka ini menunjukkan kinerja memuaskan dalam kapasitas menahan beban. Meskipun tidak seefektif rangka standar yang dimodifikasi untuk mendistribusikan beban, tekanan yang lebih rendah pada rangka standar menunjukkan bahwa desain Tech United menawarkan peningkatan daya tahan dan dapat menjaga stabilitas struktur yang kokoh.

Tabel II  
Data Hasil Analisis Tegangan

Frame	Value	Units
Frame Standar	53.2	N/mm <sup>2</sup> (Mpa)
Frame Standar Modifikasi	4.9	N/mm <sup>2</sup> (Mpa)
Frame Tech United	5.8	N/mm <sup>2</sup> (Mpa)

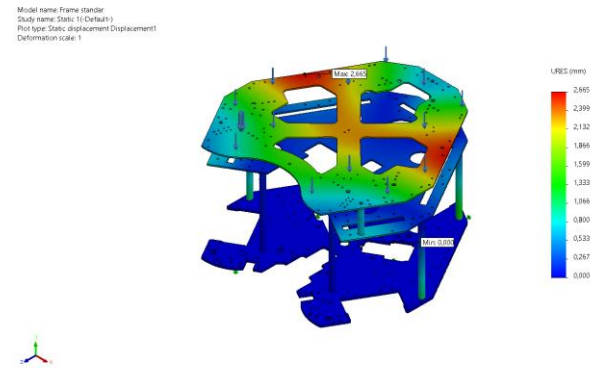
Analisis ini menunjukkan bahwa perbedaan desain pada rangka berdampak pada kapasitasnya untuk menahan beban, dengan rangka yang dimodifikasi dan rangka Tech United menunjukkan distribusi tegangan yang lebih baik dibandingkan dengan rangka standar

### B. Analisa Displacement

Dalam analisis ini, dilakukan pengukuran displacement atau perpindahan pada setiap desain frame untuk mengevaluasi kekakuan dan stabilitas rangka robot ketika menerima beban. Nilai displacement mengindikasikan sejauh mana struktur mengalami pergeseran atau deformasi saat diberikan beban eksternal. Hasil displacement sangat penting karena membantu mengidentifikasi desain yang mampu mempertahankan bentuknya dengan baik di bawah beban, serta menentukan desain yang paling stabil dan tahan lama dalam kondisi operasi nyata.

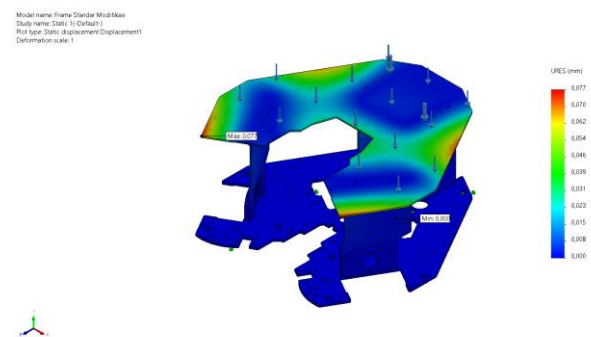
Frame standar, Saat rangka dibebani, terjadi perubahan posisi yang substansial, dengan perpindahan 2.655 mm pada rangka standar. Nilai perpindahan ini menunjukkan bahwa rangka standar mempunyai kekakuan yang lebih kecil sehingga menyebabkannya mengalami deformasi yang

signifikan bila terkena tekanan. Hal ini menunjukkan pentingnya menyempurnakan desain untuk menjaga stabilitas.



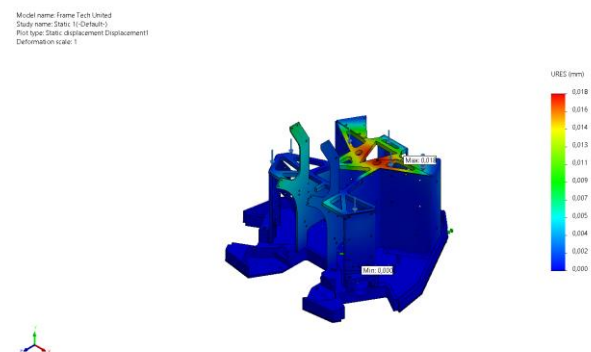
Gambar .6 Hasil analisis displacement frame standar

Frame standar modifikasi, Temuan perpindahan sebesar 0,077 mm pada rangka standar yang diubah menunjukkan peningkatan kekakuan yang signifikan dibandingkan dengan rangka standar. Nilai perpindahan yang menurun menunjukkan bahwa desain yang dimodifikasi dapat menurunkan perpindahan dan meningkatkan ketahanan terhadap deformasi, sekaligus menjaga stabilitas struktural di bawah beban.



Gambar .7 Hasil analisis displacement frame standar modifikasi

Frame Tech United, Perpindahan terkecil di antara ketiga desain ditunjukkan oleh rangka ini, hanya berukuran 0,018 mm. Hal ini menunjukkan bahwa rangka Tech United adalah yang paling kaku, dengan kapasitas luar biasa untuk mempertahankan bentuk dan stabilitasnya saat berada di bawah tekanan. Perpindahan yang kecil ini menjadikannya pilihan yang sangat baik untuk desain yang perlu menahan deformasi.



Gambar .8 Hasil analisis displacement frame Tech United



Terlihat dari hasil perpindahan bahwa rangka standar yang dimodifikasi dan rangka Tech United menunjukkan kekakuan yang lebih unggul dibandingkan rangka standar, sehingga lebih efisien dalam menjaga kestabilan rangka saat terkena beban.

Tabel II  
Data Hasil Analisis Displacement

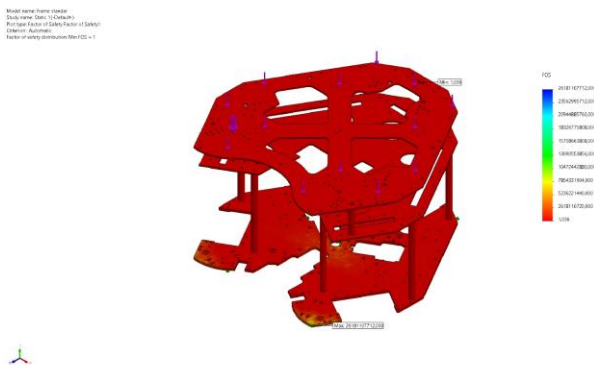
Frame	Value	Units
Frame Standar	2.655	mm
Frame Standar Modifikasi	0.077	mm
Frame Tech United	0.018	mm

### C. Analisa Factor Of Safety (FOS)

Factor of Safety (FOS) merupakan parameter penting dalam menilai ketahanan suatu desain terhadap kegagalan struktural ketika berada di bawah beban tertentu. Nilai FOS mengindikasikan tingkat kekuatan frame dalam menahan beban dibandingkan dengan kapasitas maksimum materialnya sebelum mengalami deformasi atau kerusakan. Semakin tinggi nilai FOS, semakin besar pula margin keamanan yang dimiliki frame, sehingga frame tersebut akan lebih andal dan memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap risiko kegagalan dalam berbagai kondisi operasional.

Hasil simulasi yang dilakukan pada setiap desain frame memberikan gambaran mengenai ketahanan masing-masing desain terhadap beban operasional berat. Untuk Frame Standar, hasil analisis menunjukkan bahwa nilai minimum FOS adalah 1,036. Nilai ini hanya sedikit melebihi batas aman minimum, menandakan bahwa frame standar berada pada ambang kegagalan struktural. FOS yang rendah ini mengindikasikan bahwa frame standar memiliki margin keamanan yang sangat tipis, menjadikannya rentan terhadap kerusakan ketika digunakan dalam situasi yang melibatkan beban berat atau intensitas benturan yang tinggi.

Dengan nilai FOS yang rendah, frame standar memerlukan perhatian tambahan dalam bentuk penguatan struktural atau material alternatif yang lebih kuat untuk meningkatkan daya tahannya. Jika tidak dilakukan perbaikan, risiko kegagalan pada frame ini akan tetap tinggi, khususnya dalam aplikasi yang membutuhkan performa tinggi dan daya tahan jangka panjang.

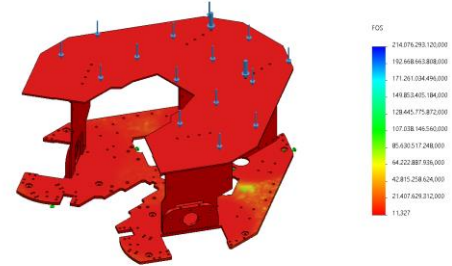


Gambar .9 Hasil analisis F.O.S frame standar

Frame Standar Modifikasi, Pada desain frame standar modifikasi, nilai minimum FOS meningkat secara signifikan

hingga mencapai 11,327. Nilai FOS yang tinggi ini menunjukkan bahwa frame modifikasi memiliki margin keamanan yang jauh lebih besar, memberikan ketahanan yang sangat baik terhadap kegagalan struktural bahkan di bawah beban yang lebih tinggi dari beban operasional normal. Hal ini menjadikan frame standar modifikasi lebih andal dan tahan lama dibandingkan frame standar.

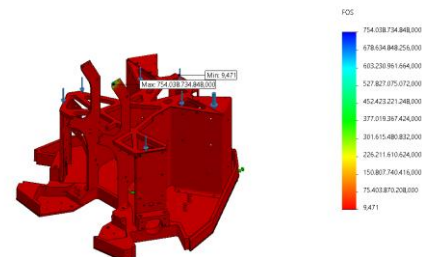
Model name: Frame Standar Modifikasi  
Study name: Static (1) Default  
Plot type: Factor of Safety Factor of Safety  
Criterion: Automatic  
Factor of safety distribution: Min FOS = 11



Gambar .10 Hasil analisis F.O.S frame standar modifikasi

Frame Tech United, Desain ini memiliki nilai minimum FOS sebesar 9,471, menunjukkan kemampuan frame untuk menahan beban dengan margin keamanan yang cukup tinggi. Walaupun sedikit di bawah frame modifikasi standar, frame Tech United tetap memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap kegagalan struktural dan mampu menjaga performa struktural di bawah berbagai kondisi beban.

Model name: Frame Tech United  
Study name: Static (1) Default  
Plot type: Factor of Safety Factor of Safety  
Criterion: Automatic  
Factor of safety distribution: Min FOS = 9.5



Gambar .11 Hasil analisis F.O.S frame Tech United

Dari analisis FOS ini, terlihat bahwa frame standar modifikasi dan Tech United memiliki margin keamanan yang lebih tinggi dibandingkan frame standar, menjadikannya pilihan yang lebih aman untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap beban berat.

Tabel III  
Data Hasil Analisis FOS

Frame	FOS
Frame Standar	1,036
Frame Standar Modifikasi	11,327
Frame Tech United	9,471

Bagian selanjutnya merangkum temuan dari pemeriksaan tiga desain rangka robot sepak bola: rangka standar, rangka standar yang disesuaikan, dan rangka yang dibuat oleh tim

Tech United. Penelitian ini menggunakan teknik Finite Element Analysis (FEA) pada software SolidWorks untuk menentukan tegangan, perpindahan, dan Factor of Safety (FOS).

Tabel berikut menampilkan perbandingan dari hasil analisis tegangan, perpindahan, dan FOS pada ketiga desain rangka, sehingga memberikan pemahaman yang lebih jelas tentang seberapa baik masing-masing desain dapat menahan beban operasional.

Tabel IV  
Data Hasil Analisa

Frame	Stress	Displacement	FoS
Frame Standar	53,2 Mpa	2,655 mm	1,036
Frame Standar Modifikasi	4,9 Mpa	0,077 mm	11,3,27
Frame Tech United	5,8 Mpa	0,018 mm	9,471

Hasil penilaian menunjukkan bahwa setiap desain menunjukkan ciri kinerja yang berbeda dalam dukungan penahan beban. Rangka konvensional menunjukkan tingkat tegangan yang lebih tinggi dan peningkatan perpindahan dibandingkan desain yang diubah. Sebagai perbandingan, rangka standar yang diubah dan rangka Tech United menunjukkan pengurangan tegangan yang signifikan, pengurangan perpindahan, dan peningkatan nilai FOS. Kedua desain menawarkan peningkatan kinerja, menunjukkan peningkatan kekakuan dan stabilitas struktural.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada tiga desain frame (frame standar, frame standar modifikasi, dan frame Tech United), beberapa kesimpulan dapat diambil sebagai berikut; Analisis Tegangan (Stress), dalam Frame standar menunjukkan tegangan tertinggi pada 53.2 MPa, sementara frame standar modifikasi dan frame Tech United menghasilkan tegangan yang jauh lebih rendah, yaitu 4.9 MPa dan 5.8 MPa. Ini menunjukkan bahwa frame standar modifikasi dan Tech United lebih unggul dalam mendistribusikan beban, sehingga mengurangi konsentrasi tegangan yang berpotensi menyebabkan kegagalan material. Dilihat dari analisis Perpindahan (Displacement) terhadap sisi perpindahan material, frame standar mengalami displacement terbesar dengan 2.655 mm, menunjukkan kekakuan yang lebih rendah dan kecenderungan deformasi yang lebih tinggi. Sebaliknya, frame standar modifikasi dan Tech United menunjukkan displacement jauh lebih kecil, masing-masing sebesar 0.077 mm dan 0.018 mm. Ini menandakan bahwa kedua frame ini memiliki kekakuan lebih baik, menjaga stabilitas struktural saat menerima beban, terutama pada frame Tech United yang memiliki displacement terendah. Dan terakhir Analisis Faktor Keamanan (FOS) Hasil FOS menunjukkan bahwa frame standar memiliki nilai minimum FOS yang paling rendah, yaitu 1.036, yang mendekati batas aman untuk kegagalan material. Frame standar modifikasi dan Tech United, dengan nilai FOS minimum masing-masing sebesar 11.327 dan 9.471, menunjukkan margin keamanan yang jauh lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa kedua

desain ini lebih andal dalam menahan beban dan memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap kerusakan struktural dibandingkan frame standar. Berdasarkan hasil analisis tegangan, perpindahan, dan FOS, frame standar modifikasi dan Tech United adalah desain yang direkomendasikan karena keduanya menunjukkan ketahanan yang lebih tinggi terhadap tegangan, displacement yang lebih rendah, serta margin keamanan yang lebih baik dibandingkan frame standar. Dari kedua pilihan ini, frame Tech United memberikan kekakuan terbaik dan stabilitas tertinggi, menjadikannya opsi yang paling ideal untuk aplikasi yang memerlukan struktur yang kuat dan andal.

#### REFERENCES

- [1] T. Balch, T. Schmitt, F. Schreiber, and B. Cunha, "Middle Size Robot League Rules and Regulations for 2009," 2009.
- [2] B. Kusumoputro *et al.*, "Pedoman Kontes Robot Indonesia (Kri) Pendidikan Tinggi Tahun 2024," *Kementeri. Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknol.*, pp. 1–164, 2024.
- [3] I. G. Wiratmaja, N. A. Wigrha, and K. Purnayasa, "Analisis Tegangan Statik Dan Deformasi Frame Electric Ganesha Scooter Portable (E-Gaspol) Menggunakan Software Solidworks," *Otopro*, vol. 19, no. 1, pp. 8–17, 2023, doi: 10.26740/otopro.v19n1.p8-17.
- [4] P. Kurowski, "Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2019," *Eng. Anal. with SolidWorks Simul.* 2019, 2019, doi: 10.4271/9781630572372.
- [5] A. Welch-Phillips, D. Gibbons, D. P. Ahern, and J. S. Butler, "What Is Finite Element Analysis?," *Clin. Spine Surg.*, vol. 33, no. 8, pp. 323–324, 2020, doi: 10.1097/BSD.0000000000001050.
- [6] M. F. Arliansyah *et al.*, "Analisa Finite Element Method (FEM) Uji Beban Pada Meja Polyethylene," *J. Jalasena*, vol. 4, no. 2, pp. 122–125, 2023.
- [7] I. Dumyati and S. Nurhaji, "Modeling dan Simulasi Finite Element Analysis pada Segitiga T Sepeda Motor Menggunakan Software Ansys 2023," *Quantum Tek. J. Tek. Mesin Terap.*, vol. 5, no. 1, pp. 26–30, 2023, doi: 10.18196/jqt.v5i1.19012.
- [8] I. Muhlisin and S. Sudiman, "Pengaruh Variasi Beban terhadap Faktor Kekuatan Rangka Sepeda dari Bahan AISI 1035 Steel (SS) dengan Simulasi Solidworks," *Briliant J. Ris. dan Konseptual*, vol. 9, no. 1, p. 236, 2024, doi: 10.28926/briliant.v9i1.1822.
- [9] M. Y. Wibowo, I. Maulana, A. A. Ghyferi, B. A. Kurniawan, and M. Nuril, "Perancangan Chassis Prototype Mobil Warak dan Simulasi Statik dengan Metode Finite Element Analysis," *J. Mek. Terap.*, vol. 3, no. 3, pp. 86–92, 2022, doi: 10.32722/jmt.v3i3.5138.
- [10] Sandy Suryady and Eko Aprianto Nugroho, "Simulasi Faktor Keamanan Pembebanan Statik Rangka Pada Turbin Angin Savonius," *J. Ilm. Multidisiplin*, vol. 1, no. 2, pp. 42–48, 2022, doi: 10.56127/jukim.v1i2.94.
- [11] F. A. Budiman, A. Septiyanto, Sudiyo, A. D. N. I. Musyono, and R. Setiadi, "Analisis Tegangan von Mises dan Safety Factor pada Chassis Kendaraan Listrik Febrian Arif Budiman dkk / Jurnal Rekayasa Mesin," *Rekayasa Mesin*, vol. 16, no. 1, pp. 100–108, 2021.
- [12] F. Schoenmakers *et al.*, "Tech United Eindhoven Team Description 2013 - Middle Size League," vol. 2011, 2013, [Online]. Available: <http://www.techunited.nl/media/files/TDP2013.pdf>
- [13] Matweb, "MatWeb, Your Source for Materials Information," *MatWeb*, pp. 1–2, 2015, [Online]. Available: <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=ff6d4e6d529e4b3d97c77d6538b29693>