

Analisis Pembebanan Statis *Chassis Ladder Frame* Pada Mobil Hemat Energi Tipe Urban GARNESA

Simon Aten Pata Ledi¹, Firman Yasa Utama², Yustin Setiya Widoretno³, Diah Wulandari⁴

^{1,2,3,4}Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia 60231

E-mail: *firmanutama@unesa.ac.id

Abstrak: Pada tahun 2023, tim GARNESA *Racing Team* masih berpartisipasi dalam KMHE dan SEM kategori *Urban Concept MPD diesel*, namun mengalami penurunan performa jika dibanding tahun sebelumnya. Salah satu penyebab masalah, terindikasi dari *chassis* yang mengalami deformasi akibat belum dilakukannya analisis dan pemilihan material *chassis* yang masih kurang sesuai. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis desain dan memilih material *chassis ladder frame* pada mobil GARNESA *Racing Team* sesuai regulasi teknis KMHE dan SEM. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Finite Element Analysis* (FEA) dengan bantuan *software*. Pada penelitian ini menggunakan material *Aluminium 6061* dan jenis *chassis ladder frame*. Setelah itu *analysis* data menggunakan analisis data kuantitatif dengan hasil perhitungan yang diperoleh akan disajikan dalam bentuk gambar. Dari hasil analisis dan perhitungan, menunjukkan bahwa desain *chassis* yang aman dan mengacu pada regulasi teknis KMHE dan SEM didapatkan nilai *von mises stress* maksimal 37.1 MPa, *displacement* maksimum 2.28 mm, dan *safety factor* 7.41 ul.

Kata kunci: *Chassis ladder frame*, Kontes Mobil Hemat Energi, *Shell Eco-Marathon* Asia-Pasifik, *Stress Analysis*.

Abstract: In 2023, the GARNESA *Racing Team* team will still participate in the KMHE and SEM *Urban Concept MPD diesel* categories, but will experience a decline in performance compared to the previous year. One of the causes of the problem is indicated by the chassis experiencing deformation due to the lack of analysis and selection of inappropriate chassis materials. This research aims to analyze the design and select the ladder frame chassis material for the GARNESA *Racing Team* car according to KMHE and SEM technical regulations. The method used in this research is *Finite Element Analysis* (FEA) with the help of software. In this research, *Aluminium 6061* material and a ladder frame chassis type were used. After that, data analysis uses quantitative data analysis with the calculation results obtained being presented in the form of images and graphs. The results of the analysis and calculations, show that the chassis design is safe and refers to the KMHE and SEM technical regulations with software. The maximum *von Mises stress* value is 37.1 MPa, the maximum *displacement* is 2.28 mm, and the *safety factor* is 7.41 ul.

Keywords: *Chassis ladder frame*, *Energy Efficient Car Contest*, *Shell Eco-Marathon* Asia-Pacific, *Stress Analysis*.

© 2024, JRM (Jurnal Rekayasa Mesin) dipublikasikan oleh ejournal Teknik Mesin Fakultas Vokasi UNESA.

PENDAHULUAN

Tim Garuda Universitas Negeri Surabaya (GARNESA) *Racing Team* adalah salah satu tim kegiatan mahasiswa yang berkontribusi dalam Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) dan *Shell Eco Marathon* (SEM) Asia-Pasifik. Pertama kali GARNESA *Racing Team* berdiri pada tahun 2011, hingga saat ini GARNESA *Racing Team* sudah memiliki 2 mobil yaitu urban listrik dan urban *diesel*, di mana sudah memperoleh banyak juara. Mobil Hemat Energi (MHE) GARNESA *Racing Team* dikerjakan oleh mahasiswa-mahasiswi dari berbagai Prodi dan Fakultas Universitas Negeri Surabaya (UNESA). Ada beberapa bagian yang perlu diperhatikan dalam proses pengerjaan satu unit MHE, yaitu Mesin, *Aerodinamis*, Stabilitas Kendaraan, *Chassis*, dan Bobot Mobil. Bagian-bagian tersebut saling mendukung satu sama

lain untuk mendapatkan performa dan stabilitas kendaraan yang baik untuk mencapai hasil yang maksimal terutama pada bagian *chassis*.

Pada tahun 2023 tim GARNESA *Racing Team* masih berpartisipasi aktif dalam KMHE kategori *Urban Concept* kelas Mesin Pembakaran Dalam (MPD) *diesel*. Dalam ajang ini tim GARNESA *Racing Team* berada di urutan ke 5 dengan konsumsi bahan bakar 129 km/l. Pada KMHE tahun 2023, tim GARNESA *Racing Team* mengalami penurunan konsumsi bahan bakar, jika dibandingkan pada KMHE tahun 2022. Pada KMHE tahun 2022 tim GARNESA *Racing Team* berhasil meraih juara 2 dengan konsumsi bahan bakar 165,25 km/l Kategori Urban Kelas MPD *diesel*. Pada *Shell Eco-marathon* (SEM) tahun 2023 tim GARNESA *Racing Team* juga mengalami penurunan konsumsi bahan bakar yaitu 112 km/l namun berada di urutan ke 5, sedangkan pada

Shell Eco-marathon (SEM) tahun 2022 berada di urutan ke 6 dengan konsumsi bahan bakar sebesar 136 km/l. Penyebab hal ini terjadi disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah mobil yang kurang stabil dan terdapat gesekan antara roda dan bodi. Setelah dilakukan pengalaman praktis dan wawancara terhadap tim GARNESA *Racing Team*, menunjukkan bahwa salah satu penyebab mobil kurang stabil dan bergesekan dengan bodi terletak pada *chassis* yang mengalami deformasi, penyebab *chassis* mengalami deformasi adalah tidak dilakukannya simulasi pada *chassis* GARNESA *Racing Team* 2023 dan pemilihan material yang masih kurang sesuai.

Jenis *chassis* yang digunakan oleh tim GARNESA *Racing Team* adalah jenis *chassis ladder frame* dan dasar pembuatnya hanya *trial and error* tanpa dilakukan perhitungan analisis secara akademik. Meskipun *trial and error* dapat menjadi cara yang efektif untuk belajar dan memecahkan masalah dalam beberapa konteks, namun pendekatan ini tidak selalu efektif terutama dalam proses pembuatan *chassis* karena tidak memberikan jaminan bahwa solusi akhir yang ditemukan adalah yang terbaik. Dalam proses pembuatan *chassis* GARNESA *Racing Team*, pendekatan *trial and error* dapat mengarah pada pemborosan. Rancangan dikatakan aman jika tegangan maksimum lebih kecil dari tegangan izin maksimum material (Salimin et al., 2018). Sehingga *chassis* mampu menahan beban statis seperti *steering*, pengemudi, mesin dan baterai utama, dan *body*. Untuk mengoptimalkan desain *chassis* maka harus dilakukan perhitungan, simulasi, pemilihan bahan, serta bentuk *chassis* itu sendiri. Penelitian terhadap *chassis* harus dilakukan agar mengetahui kekuatan *chassis* yang akan dibuat tersebut aman digunakan dan tidak mengalami kerusakan ketika digunakan.

Dari permasalahan yang telah diidentifikasi, peneliti memiliki ide untuk membuat beberapa variasi desain *chassis* dengan dimensi hollow yang berbeda dan material yang sama kemudian di analisis menggunakan *software*. Hasil analisis ini akan menampilkan nilai *von mises stress*, *displacamt*, dan *safety factor*.

DASAR TEORI

Mobil GARNESA *Racing Team*

Mobil Hemat Energi GARNESA (Garuda Universitas Negeri Surabaya) *Racing Team* ini dirancang untuk kapasitas 1 penumpang yang digunakan pada KMHE (Kontes Mobil Hemat Energi) dan SEM (*Shell Eco Marathon*) Asia-Pasifik. Mobil saat ini merupakan GARUDA REVOLUTION DIESEL 3 (GARED3) atau penerus dari generasi sebelumnya yaitu GARUDA REVOLUTION DIESEL 2 (GARED2) yang dirancang sebagai mobil hemat energi dengan konsep desain mobil yang minimalis dan *aerodinamis*. Perbedaan dari kedua mobil ini

terletak pada bahan atau jenis material body yaitu fiber glass di GARED 2 dan fiber carbon di GARED 3.

Kontes Mobil Hemat Energi dan *Shell Eco Marathon*

Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) adalah kompetisi tahunan yang diselenggarakan oleh Pusat Prestasi Nasional (PUSPRESNAS) Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan (KEMDIKBUD) dan *Shell Eco Marathon* (SEM) Asia-pasifik diselenggarakan oleh PT. *Shell*, kompetisi ini bertujuan untuk solusi mobilitas yang inovatif dalam mendesain, membangun, menguji, dan mengendarai kendaraan masa depan yang memenuhi unsur keamanan serta dapat menempuh jarak terjauh dengan menggunakan sumber energi seminimal mungkin. Kategori kendaraan yang di lombakan ada 2 yaitu: *Urban Concept* dan *Prototype*. Adapun bentuk dari kendaraan yang di lombakan harus disesuaikan dengan Regulasi Teknis yang telah ditetapkan.

Chassis

Chassis atau *Frame* pada mobil memiliki peran yang krusial dalam menopang, menyatukan, dan memberikan kestabilan untuk kendaraan. *Chassis* menjadi elemen penting dalam merancang kendaraan yang aman, stabil, dan nyaman untuk pengemudi dan penumpang.

Menurut (Wahyudi & Fahrudi, 2017) ada beberapa syarat agar *chassis* dapat berfungsi sebagaimana mestinya, yaitu:

1. Kuat dan kokoh, artinya dapat menopang mesin beserta kelengkapan kendaraan lainnya, menyangga penumpang maupun beban tanpa mengalami perubahan bentuk atau kerusakan.
2. Mempunyai nilai kelenturan atau fleksibilitas agar dapat meredam getaran atau guncangan berlebihan yang diakibatkan oleh tenaga yang dihasilkan mesin maupun akibat kondisi jalan yang buruk.
3. Ringan, yakni tidak terlalu membebani mesin (meningkatkan efektivitas tenaga yang dihasilkan mesin).

Menurut Daryanto dalam (Adriana et al., 2017) Rangka merupakan struktur yang ujung-ujungnya disambung kaku. Semua batang yang disambung harus kuat dan mampu menahan gaya aksial, gaya normal, dan momen. Sehingga membutuhkan bahan yang kuat untuk memenuhi persyaratan tersebut.

Terdapat beberapa jenis *chassis* yang digunakan dalam dunia otomotif, tergantung pada desain dan fungsi kendaraan tersebut, diantaranya adalah

1. *ladder frame*

Chassis ladder frame merupakan salah satu jenis *chassis* yang memiliki konstruksi dengan dua batang utama yang menopang beban kendaraan dan mampu menahan beban yang kuat, *chassis*

biasanya digunakan pada kendaraan berbeban berat. Konstruksi *ladder frame* terdiri hanya dari dua rel simetris, atau balok, dan *cross members* yang menghubungkan *frame* (Isworo et al., 2019).

2. Monocoque

Monocoque merupakan satu kesatuan struktur *chassis* dari bentuk kendaraannya, sehingga *chassis* ini memiliki bentuk yang beragam menyesuaikan dengan *body* mobil (Shantika et al., 2017).

3. Aluminium Space Frame

Aluminium space frame adalah *chassis* yang terbuat dari panduan *aluminium* dengan kekuatan yang tinggi. Menurut (Shantika et al., 2017) *aluminium space frame* dibuat sebagai pengganti *chassis* baja *monocoque* agar menghasilkan sebuah rangka yang ringan. *Chassis* jenis *aluminium space frame* diklaim 40% lebih ringan dibanding dengan rangka baja *monocoque* namun 40% lebih kaku atau rigid.

4. Backbone

Chassis jenis *backbone* memiliki tabung persegi panjang seperti *backbone* (tulang belakang), *chassis* jenis ini biasanya terbuat dari serat kaca yang digunakan untuk menyatukan poros depan dan belakang (Ahmed et al., 2017).

5. Tubular Space Frame

Tubular space frame adalah *chassis* terbaik yang kekuatan luluhnya sangat bagus di perlindungan kekakuan torsional, ketahanan beban berat, dan beban impact (Shantika et al., 2017).

Aluminium 6061

Paduan *aluminium* 6061 adalah salah satu paduan yang paling banyak digunakan dalam seri 6000. paduan struktural standar ini, salah satu yang paling fleksibel dari paduan panas yang dapat diobati, sangat populer untuk persyaratan kekuatan sedang hingga tinggi dan memiliki karakteristik ketangguhan yang baik. aplikasi berkisar dari komponen transportasi hingga aplikasi mesin dan peralatan hingga produk rekreasi dan daya tahan pelanggan. Paduan *aluminium* 6061 memiliki ketahanan korosi yang sangat baik terhadap kondisi atmosfer dan ketahanan korosi yang baik terhadap air laut.

Finite Element Analysis

Finite Element Analysis (FEA) digunakan untuk desain yang dimodifikasi dan analisis komparatif yang dilakukan untuk memeriksa nilai tegangan dan *displacement*. *Finite Element Analysis* atau biasa dikenal juga sebagai metode elemen hingga atau analisis elemen hingga. System kerja *Finite Element Analysis* adalah dengan memecah suatu objek struktur yang akan diuji menjadi elemen-elemen hingga yang berhubung satu sama lain yang akan dikelola dengan

perhitungan khusus oleh perangkat lunak. Analisis dilakukan pada *stress analysis tools*.

Stress Analysis merupakan alat pengujian struktur pada *Software* dengan menerapkan konsep FEA. *Stress analysis* pada *chassis* kendaraan bertujuan untuk mengetahui tegangan yang terjadi ketika *chassis* menerima beban (Shantika & Kristyadi, 2020)

Hasil dari *stress analysis* berupa nilai *Von Mises Stress*, *Displacement*, dan *Safety Factor*. Menurut (Setyono & Gunawan, 2015), Secara umum langkah-langkah dalam FEA sebagai berikut :

1. Pra-proses analisis struktur adalah pembuatan desain, melakukan verifikasi material, menentukan constraints (tumpuan), constraints, dan menentukan loads.
2. Proses analisis meliputi meshing view, running simulation, dan refinement meshing (penghalusan jumlah mesh).
3. Hasil analisis struktur berupa nilai *von Mises stress*, *displacement*, dan *safety factor*.

Von Mises Stress

Von Mises Stress adalah ukuran tegangan setara atau stres yang digunakan dalam mekanika zat padat untuk memprediksi pemadatan material di bawah berbagai beban. Ini adalah konsep yang diperkenalkan oleh Hubertus *Von Mises* dan sering digunakan dalam analisis kekuatan material dan desain struktural.

(Trimulya et al., 2015), menyatakan bahwa dalam mendesain bagianbagian struktur, tegangan ijin (allowable stress) harus lebih rendah dari pada kekuatan ultimate yang diperoleh dari pengujian “statis” untuk berbagai pertimbangan. Oleh karena itu pada saat melakukan proses desain nilai *Von Mises Stress* harus berada dibawah nilai kekuatan luluh sehingga desain aman digunakan.

$$\sigma_t = \frac{M \cdot y}{I} \quad (1)$$

Keterangan:

σ_t = Tegangan *von mises* (MPa)
 M = Titik berat (N.mm)
 y = Nilai tinggi material (mm)
 I = Momen inersia penampang (mm⁴)

Displacement

Displacement adalah perubahan sumbu sebuah batang dari kedudukannya semula (melentur) apabila berada di bawah pengaruh gaya. Karena balok biasanya horizontal, maka *displacement* merupakan penyimpangan vertical.

$$\delta = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (2)$$

Keterangan:

I = Momen inersia (mm⁴)
 δ = Defleksi (mm)
 F = Beban (N)
 L = Panjang (mm)
 E = Modulus elastisitas (MPa)

Safety Factor

Safety factor adalah *factor* yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu material untuk menahan beban dari luar, seperti beban tekan maupun beban tarik. Secara teoritis nilai *safety factor* yang digunakan dalam skala industri adalah minimal 4 ul. nilai *safety factor* minimal 4 ul merupakan kebijakan yang diterapkan dalam dunia industri. Aturan ini juga diterapkan oleh Daihatsu, Toyota, PT. Astra Honda Motor, dan PT. Semesta Citra Motorindo.

(Mott et al., 2018) mengemukakan bahwa penentuan *safety factor* suatu struktur ductile materials yang akan dirancang dapat menggunakan aturan berikut:

1. $sf = 1,25$ ul hingga $2,0$ ul untuk perancangan struktur yang menerima beban statis dengan tingkat kepercayaan yang tinggi untuk semua data perancangan.
2. $sf = 2,0$ ul hingga $2,5$ ul untuk perancangan elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan tingkat kepercayaan rata-rata untuk semua data perancangan.
3. $sf = 2,5$ ul hingga $4,0$ ul untuk perancangan struktur statis atau elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beban, sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan.
4. $sf = 4,0$ ul atau lebih untuk perancangan struktur statis atau elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beberapa kombinasi beban, sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan.

$$Sf = \frac{\sigma_y}{\sigma_{actual}} \quad (3)$$

Keterangan:

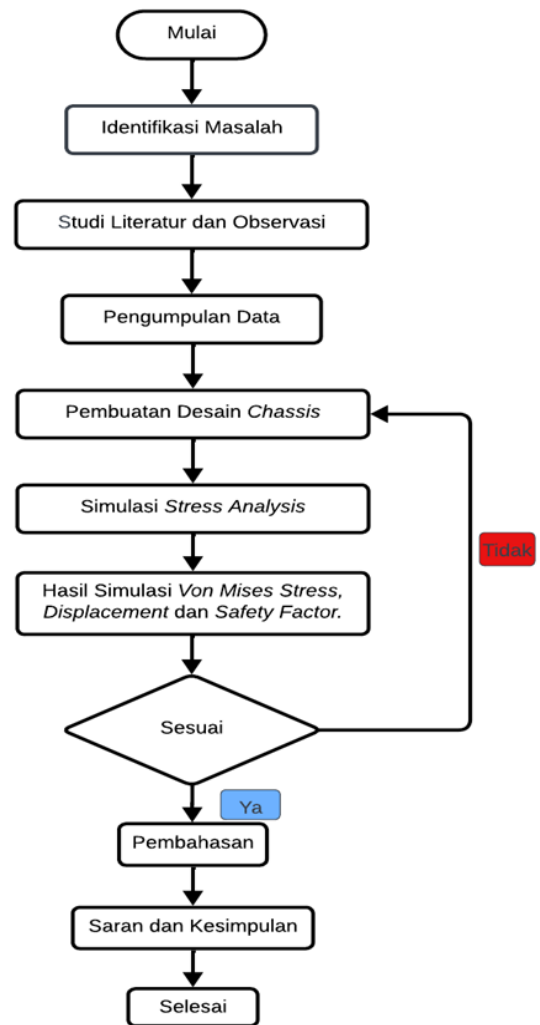
Sf = Safety factor (n)

σ_y = Nilai tegangan luluh material (MPa)

σ_{actual} = Nilai tegangan maksimal pada spesimen uji (MPa)

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Finite Element Analysis* dengan menggunakan *software*. Pada penelitian ini menggunakan material Aluminium 6061 dan jenis *chassis ladder frame*. Analisis *chassis ladder frame* menggunakan *software* dengan metode *Finite Element Analysis* untuk menentukan kekuatan *chassis* mobil GARNESA Racing Team, dengan menggunakan teknik analisis data kuantitatif yaitu teknik yang menghasilkan data yang lebih objektif dan logis karena hasil yang didapatkan berasal dari perhitungan dan gambar. Penelitian ini diharapkan, mendapatkan hasil struktur *chassis* yang memiliki *von mises stress* kurang dari 275 MPa, *displacement* kurang dari 5 mm, dan *safety factor* lebih dari 3,0 ul untuk diterapkan dikemudian hari. Rancangan penelitian ini dibuat dalam bentuk Diagram Alir, seperti pada Gambar 1.

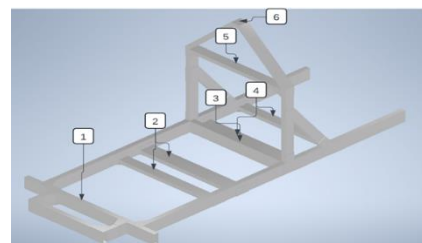


Gambar 1. Diagram Alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penempatan Gaya

Sebelum melakukan *analysis* menggunakan *software*, perlu mengetahui penempatan gaya yang terjadi akibat beban statis. Semua gaya yang terjadi memiliki posisi yang berbeda-beda tergantung pembebanan. Adapun penempatan gaya ditampilkan pada gambar berikut:



Gamabar 2. Penempatan Gaya

Adapun keterangan yang lebih jelas posisi penempatan gaya dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1
Keteranagan Gaya

No	Keterangan
1	Steering
2	Pengemudi
3	Komponen keselamatan dan pengereman
4	Mesin dan transmisi
5	Komponen elektrik
6	Bodi

Hasil Analisis Kekuatan Chassis

Hasil Analisis pembebanan statis *chassis ladder frame* pada mobil hemat energi GARNESA Racing Team dilakukan dengan pemberian pembebanan total sebesar 1578.81 N. *Stress analysis* dilakukan dengan memberikan pembebanan pada *chassis* yang akan menerima beban tersebut. Pemberian pembebanan dilakukan dengan memberikan asumsi pada setiap dudukan *chassis* sesuai dengan besaran beban yang diterima. Detail asumsi pembebanan ditunjukkan pada Tabel 2.

TABEL 2
Berat Komponen

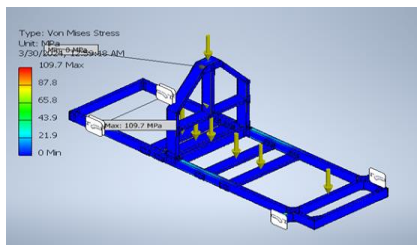
No	Komponen	Berat(N)
1	Steering	98.100
2	pengemudi	686.100
3	Komponen Keselamatan dan Pengereman	294.300
4	Mesin dan Transmisi	343.350
5	Elektrikal	9.810
6	Bodi	147.150

Hasil analisis kekuatan *chassis ladder frame* pada mobil hemat energi berupa nilai *von Mises stress*, *displacement*, dan *safety factor*. Material yang digunakan dalam simulasi yaitu hollow aluminium.

Hasil simulasi masing-masing material diuraikan sebagai berikut:

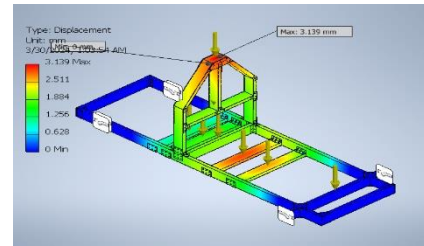
1. Desain Chassis Lama

Berikut merupakan hasil analisis desain *chassis* lama dengan hollow $1 \times 3 \times 0.037$ inchi.



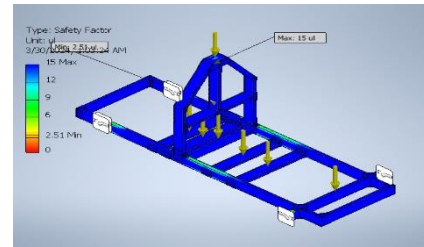
Gambar 3. Von Mises Stress

Pada analisis yang dilakukan menurut gambar 3. Nilai *von mises stress* maksimal adalah 109.7 MPa dan minimal adalah 0 MPa.



Gambar 4. Displacement

Pada analisis yang dilakukan menurut gambar 4. Nilai *displacement* maksimal adalah 3,139 mm dan minimal adalah 0 mm.

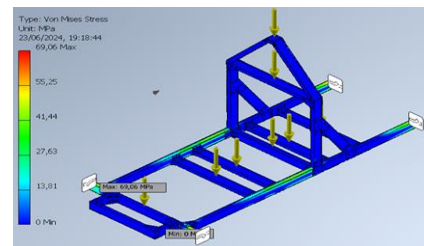


Gambar 5. Safety Factor

Gambar diatas menunjukkan bahwa rangka kendaraan memiliki *safety factor* yang rendah dengan 2,51 ul.

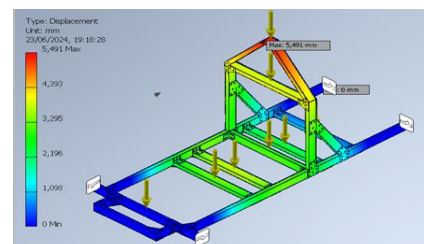
2. Desain Chassis Variasi 1

Analisis pada struktur dilakukan untuk mendapatkan nilai hasil maksimum dan minimum yang terjadi pada struktur *chassis*. Berikut merupakan hasil analisis desain *chassis* variasi 1 dengan hollow $1 \times 2 \times 0.047$ inchi dan $1 \times 2 \times 0.047$ inchi.



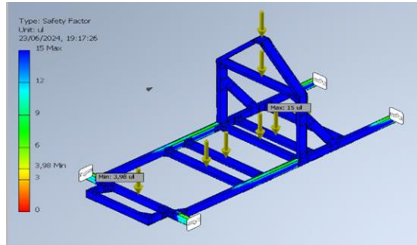
Gambar 6. Von Mises Stress

Dari analisis yang dilakukan dapat diketahui desain *chassis* variasi 1 tersebut mengalami tegangan maksimal sebesar 69.06 MPa. Sedangkan tegangan minimalnya sebesar 0 MPa.



Gambar 7. Displacement

Dari analisis yang dilakukan diketahui desain *Chassis* variasi 1 didapatkan nilai *displacement* maksimal sebesar 5.491 mm dan minimal sebesar 0 mm

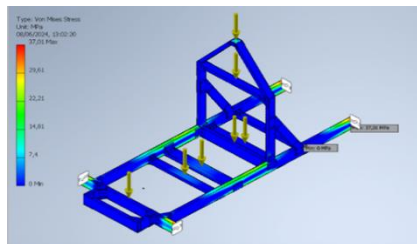


Gambar 8. *Safety Factor*

Dari analisis yang dilakukan diketahui desain *Chassis* variasi 1 didapatkan nilai *safety factor* minimum sebesar 3.98 ul dan maksimum sebesar 15 ul.

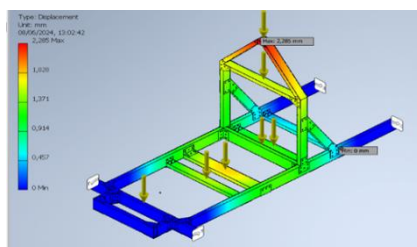
3. Desain *Chassis* Variasi 2

Berikut merupakan hasil analisis desain *chassis* variasi 2 dengan hollow $1 \times 3 \times 0.047$ inci dan $1 \times 2 \times 0.047$ inci.



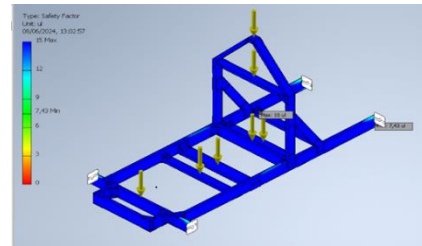
Gambar 9. *Von Mises Stress*

Dari analisis yang dilakukan dapat diketahui desain *chassis* variasi 2 tersebut mengalami tegangan maksimal sebesar 37,10 MPa. Sedangkan tegangan minimalnya sebesar 0 MPa.



Gambar 10. *Displacement*

Dari analisis yang dilakukan diketahui desain *chassis* variasi 2 didapatkan nilai *displacement* maksimal sebesar 2.28 mm dan minimal sebesar 0 mm.

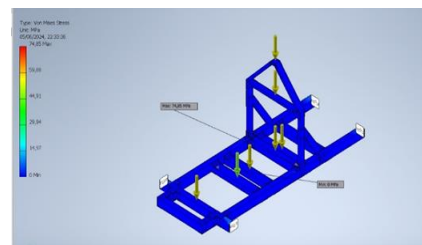


Gambar 11. *Safety Factor*

Dari analisis yang dilakukan diketahui desain sasis variasi 2 didapatkan nilai *safety factor* minimum sebesar 7.41 ul dan maksimum sebesar 15 ul.

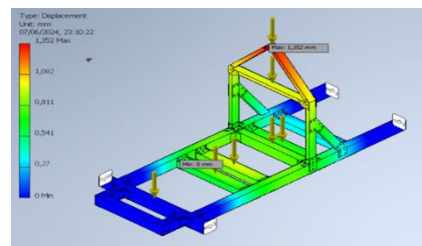
4. Desain *Chassis* Variasi 3

Berikut merupakan hasil analisis desain *chassis* variasi 3 dengan hollow $2 \times 3 \times 0.047$ inci dan $1 \times 2 \times 0.047$ inci.



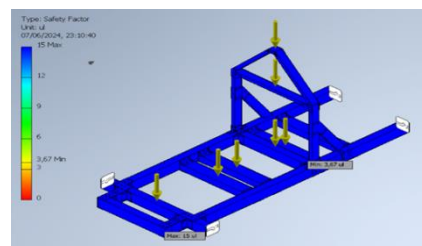
Gambar 12. *Von Mises Stress*

Dari analisis yang dilakukan dapat diketahui desain *Chassis* variasi 3 tersebut mengalami tegangan maksimal sebesar 74.85 MPa. Sedangkan tegangan minimalnya sebesar 0 MPa.



Gambar 13. *Displacement*

Dari analisis yang dilakukan diketahui desain *chassis* variasi 3 didapatkan nilai *displacement* maksimal sebesar 1.35 mm dan minimal sebesar 0 mm



Gambar 14. *Safety Factor*

Dari analisis yang dilakukan diketahui desain *chassis* variasi 3 didapatkan nilai *safety factor* minimum sebesar 3.67 ul dan maksimum sebesar 15 ul.

Berdasarkan analisis kekuatan *chassis ladder frame* pada Mobil Hemat Energi GARNESA Racing Team dengan *software* di peroleh nilai *Von Mises Stress*, *Displacement*, dan *Safety Factor*. Hasil analisis secara rinci ditunjukkan pada Tabel 3.

TABEL 3
Hasil Analisis Setiap Variasi

Hasil Analisis	<i>Chassis</i> Lama	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
Massa	6.12 kg	6.17 kg	6.90 kg	8.82 kg
<i>Von Mises Stress</i>	109 MPa	69.02 MPa	37.10 MPa	74.85 MPa
<i>Displacement</i>	3.31 mm	5.49 mm	2.28 mm	1.35 mm
<i>Safety Factor</i>	2.50 ul	3.98 ul	7.41 ul	3.67 ul

Dari table 3 diatas, dengan perbandingan nilai massa, *von mises stress*, *displacement*, dan *safety factor* yang terjadi pada desain *chassis*, maka didapatkan kesimpulan bahwa rangka dengan hollow 1 x 3 x 0.047 inchi dan 1 x 2 x 0.047 inchi adalah rangka yang paling aman, karena memiliki nilai *safety factor* terbesar dan nilai *von mises stress* terkecil dari variasi lainnya.

SIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari ketiga variasi, desain *chassis* yang paling aman dan mengacu pada regulasi teknis KMHE dan SEM adalah desain variasi 2 dengan hollow 1 x 3 x 0.047 inchi dan 1 x 2 x 0.047 inchi karena memiliki nilai *von mises* 37.10 MPa, *displacement* 2.28 mm, dan *safety factor* 7.41 ul.
2. Desain *chassis* variasi 2 dinyatakan lebih kuat dan aman dibandingkan desain *chassis* lama, karena berdasarkan data analisis menggunakan *software* pada desain variasi 2 memiliki nilai *von mises*: 37.10 MPa, *displacement*: 2.28 mm, dan *safety factor*: 7.41 ul. dinyatakan aman dan kuat menahan beban karena nilai tegangan maks 37.10 MPa lebih kecil dari nilai tegangan luluh material aluminium 6061 yang nilainya 275 MPa. Hal ini akan berpengaruh pada nilai regangan dan deformasi yang semakin kecil sehingga dapat dipastikan kuat, selain itu nilai *safety factor* diatas 5 ul menandakan bahwa desain variasi 2 dinyatakan aman. Sedangkan desain *chassis* lama memiliki nilai *von mises* maks: 109.71 MPa, *displacement*: 3.319 mm, dan *safety factor*: 2.506 ul sehingga dapat

disimpulkan bahwa desain *chassis* lama kurang aman dan kuat menahan beban dikarenakan nilai *von mises* maks: 109.71 MPa lebih besar dari pada nilai *von mises* desain *chassis* variasi 2.

REFERENSI

1. Adriana, M., B.P, A. A., & Masrianor, M. (2017). Rancang Bangun Rangka (Chasis) Mobil Listrik Roda Tiga Kapasitas Satu Orang. Jurnal Elemen, 4(2), 129. <https://doi.org/10.34128/je.v4i2.64>
2. Ahmed, M. K., Ahmed, M. Y., Krishna, V. S., & Siddhartha, N. A. (2017). Pro E-Model of Structural Analysis of Heavy Vehicle Chassis Using Composite Materials. International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology, 3(2), 429–437.
3. Isworo, H., Ghofur, A., Cahyono, G. R., & Riadi, J. (2019). Analisis Displacement Pada Chassis Mobil Listrik Wasaka. Elemen : Jurnal Teknik Mesin, 6(2), 94. <http://je.politala.ac.id/index.php/JE/article/view/103>
4. Mott, R. L., Vavrek, E. M., & Wang, J. (2018). Machine Elements in Mechanical Design 6th Edition. In Pearson Education, Inc.
5. Salimin, Samhudin, & Adha Ismail. (2018). Perancangan dan Analisa Simulasi Pembebanan Chassis Sepeda Wisata Untuk Dua Penumpang Menggunakan Software Autodesk Inventor. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin, 3(3), 1–12.
6. Setyono, B., & Gunawan, S. (2015). Perancangan Dan Analisis Chassis Mobil Listrik“Semut Abang ” Menggunakan Software Autodesk Inventor Pro 2013. Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan III, 69–78.
7. Shantika, T., E, T, F., & I, N. (2017). Chassis-type tubular space frame. PERANCANGAN CHASSIS TYPE TUBULAR SPACE FRAME UNTUK KENDARAAN LISTRIK, 23, 9–17.
8. Shantika, T., & Kristyadi, T. (2020). 2417-9903-1-Pb. 5(1), 15–21.
9. Trimulya, M. R., Mulyatno, I. P., & Trimulyono, A. (2015). Analisa Fatigue Kontruksi Car Deck Kapal Motor Zaisan Star 411 Dwt Dengan Metode Elemen Hingga. Jurnal Teknik Perkapalan, 3(2), 319–328.
10. Wahyudi, N., & Fahrudi, Y. A. (2017). Studi Eksperimen Rancang Bangun Rangka Jenis Ladder Frame pada Kendaraan Sport. JEECAE (Journal of Electrical, Electronics, Control, and Automotive Engineering), 1(1), 71–75. <https://doi.org/10.32486/jeecae.v1i1.15>

