

ANALISIS PEMBEBANAN STATIS *ROLL BAR CHASSIS* MOBIL HEMAT ENERGI

Kholiq D. Radyantho^{1a}, Shafera M. Rahman¹, MH Fadhilah¹, DA Arrizal¹, Sajri Ramadhani¹, KJ Malau¹, RM Hakiky¹, Eka Y. Wiratmoko¹, H. Aprillia², DS Sa'adiyah¹, A. Djafar¹, HD Haryono¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknologi Proses dan Industri, Institut Teknologi Kalimantan, Indonesia

²Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Teknologi Proses dan Industri, Institut Teknologi Kalimantan, Indonesia

Korespondensi:

^aProgram Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknologi Proses dan Industri, Institut Teknologi Kalimantan, Indonesia

kholiq.radyantho@lecturer.itk.ac.id

ABSTRAK

Regulasi pembatasan emisi gas buang dari kendaraan bermotor mulai banyak diterapkan di banyak negara. Hal ini akan mendorong industri otomotif untuk beralih menggunakan teknologi yang ramah lingkungan, seperti mobil listrik. Penggunaan kendaraan bermotor menjadi salah satu penyebab meningkatnya pencemaran lingkungan, karena hal tersebut penelitian ini dilakukan untuk menciptakan mobil listrik yang ramah lingkungan dan hemat energi. Salah satu faktor penunjang dalam perancangan kendaraan adalah desain sasis. Sasis berguna sebagai tulang utama penopang struktur seperti *body*, mesin, suspensi, *steering*, serta *auxiliary* lain sehingga penting untuk dapat menciptakan sasis yang kuat menopang beban kendaraan. Pada penelitian ini analisis pembebanan dilakukan berdasarkan peraturan teknis Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) 2024 yaitu pembebanan pada bagian *rollhoop/rollbar* untuk mengetahui nilai tegangan, *safety factor*, dan defleksi pada *chassis* berbahan *galvanized steel* dan aluminium 6061 dengan pembebanan sebesar 700 N. Simulasi menggunakan *software* CAD dengan metode *finite element analysis* (FEA). Pada *chassis* berbahan *galvanized steel* nilai tegangan maksimum 52,420 MPa dari batas *yield strength* 203,94 MPa, defleksi maksimumnya 0,461 mm, dan *safety factor* 3,6. Kemudian pada *chassis* berbahan aluminium 6061 nilai tegangan maksimum 54,410 MPa dari batas *yield strength* 227,52 MPa, defleksi maksimumnya 1,34 mm, dan nilai *safety factor* sebesar 4,2.

Kata kunci: FEA; *chassis*; tegangan; defleksi; *safety factor*.

ABSTRACT

Regulations limiting exhaust emissions from motorized vehicles are starting to be implemented in many countries. This will encourage the automotive industry to switch to using environmentally friendly technology, such as electric cars. The use of motorized vehicles is one of the causes of increasing environmental pollution, because this research was carried out to create electric cars that are environmentally friendly and energy efficient. In this research, a load analysis was carried out based on the technical regulations for the 2024

Energy Saving Car Contest (KMHE) to determine the stress, safety factor and deflection values on a chassis made of galvanized steel and 6061 aluminum with a load of 700 N on the roll hoop/roll bar. The simulation uses CAD software with the finite element analysis (FEA) method. On a chassis made from galvanized steel, the maximum stress value is 52.420 MPa from the yield strength limit of 203.94 MPa, the maximum deflection is 0.461 mm, and the safety factor is 3.6. Then in the 6061 aluminum chassis the maximum stress value is 54,410 MPa from the yield strength limit of 227.52 MPa, the maximum deflection is 1.34 mm, and the safety factor value is 4.2.

Keywords: FEA; chassis; stress; deflection; safety factor.

1. PENDAHULUAN

Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) merupakan perlombaan kendaraan berskala nasional yang berfokus pada penghematan bahan bakar yang dilaksanakan oleh Balai Pengembangan Talenta Indonesia (BPTI) Pusat Prestasi Nasional, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi (Kemdikbud Ristek) Republik Indonesia. Perlombaan KMHE mewajibkan peserta mempunyai kemampuan untuk merancang dan membangun kendaraan yang irit, aman, serta ramah lingkungan. Desain *chassis* kendaraan yang berpartisipasi dalam perlombaan dipilih karena memiliki potensi tinggi implementasi yang cepat dan efisien untuk mobil *prototype* elektrik. Oleh karena itu, cukup relevan untuk mengambil *frame* ini sebagai subjek penelitian dimana hasil data dapat diproyeksikan untuk digunakan sebagai pertimbangan produksi *chassis prototype* kendaraan elektrik di masa depan.

Ladder Frame merupakan jenis *chassis* sederhana dan tertua yang banyak digunakan pada kendaraan produksi saat ini. *Chassis* terbuat dari material baja simetris atau model balok. Untuk beberapa desain *ladder frame* diberi perkuatan besi menyilang agar tetap menjaga kekakuan strukturnya. Kapasitas beban yang tinggi membutuhkan ukuran balok yang lebih besar. Ini terdiri dari dua balok yang disusun pada *chassis* (4). *chassis* menjadi komponen yang sangat penting dan mendasar dalam perancangan sebuah semua kendaraan. Semua beban yang ada pada kendaraan bertumpu pada *chassis*, Maka dari itu, hal tersebut diperlukan material yang kuat untuk memenuhi spesifikasi (11).

Acuan desain kendaraan diatur dalam pedoman teknis KMHE yang menjelaskan bahwa kendaraan memenuhi syarat dalam segi performa, efisiensi, sistem kemudi, pengereman serta keutamaan dan keselamatan pengemudi. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis pembebanan secara statis terhadap desain *chassis* sebagai penopang dari pengemudi dan komponen lainnya agar mendapatkan hasil untuk dianalisis kembali. *Software* untuk pemodelan *chassis* digunakan untuk analisis *chassis* kemudian di simulasikan dan dianalisis dengan *Finite Element Analysis* (FEA). Penggunaan *software* dapat memberikan hasil yang lebih akurat dalam waktu singkat. FEA adalah suatu cara untuk menyimulasikan fenomena fisik menggunakan *numerical mathematic technique* yang disebut dengan *Finite Element Method*. Keunggulan proses analisis menggunakan FEA yaitu memerlukan biaya yang lebih sedikit daripada metode analisis eksperimental. Melalui analisis matematika, FEA memungkinkan pengumpulan informasi dari titik-titik yang disebut *node*. Semakin banyak *node* yang digunakan, semakin tinggi akurasi modelnya (10).

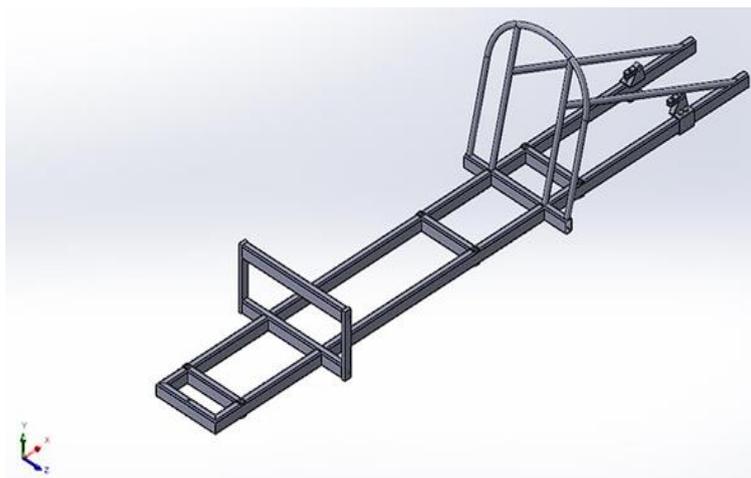
2. METODOLOGI PENELITIAN

Identifikasi masalah dan studi literatur tentang *chassis* mobil dilakukan sebelum simulasi pembebanan pada *chassis* dengan menggunakan *software* CAD seperti yang terlihat diagram alir pada Gambar 1. Desain rangka yang akan dianalisis ditunjukkan pada Gambar 2. Pada rangka *chassis* mobil hemat energi akan digunakan material dengan 2 variasi yaitu *Galvanized Steel* dan AA 6061 T4. *Galvanized Steel* mempunyai *mass density* 7870 kg/m³ dan *Tensile Strength* 356,901 N/mm² seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Aluminium A6061 mempunyai *mass density* 2700 kg/m³ dan *Tensile Strength* 239,997 N/mm² seperti ditunjukkan pada Tabel 1



Gambar 1. Diagram Alir Perencanaan

Pada penelitian ini langkah awal adalah mengidentifikasi masalah kemudian pengumpulan studi literatur tentang *chassis* mobil lalu melakukan simulasi pembebanan pada *chassis* dengan menggunakan *software* CAD seperti yang terlihat pada Gambar 1. Desain rangka yang akan dianalisis ditunjukkan pada gambar 2. Pada rangka *chassis* mobil hemat energi akan digunakan material dengan 2 variasi yaitu *Galvanized Steel* dan AA 6061 T4. *Galvanized Steel* mempunyai *mass density* 7870 kg/m³ dan *Tensile Strength* 356,901 N/mm² seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Aluminium A6061 mempunyai *mass density* 2700 kg/m³ dan *Tensile Strength* 239,997 N/mm² seperti ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 2. Desain Chassis

Tabel 1. Spesifikasi Material Galvanized Steel dan AA 6061-T4 Pada Software CAD

<i>Property</i>	<i>Galvanized Steel</i>	<i>AA 6061-T4</i>	<i>Units</i>
<i>Elastic Modulus</i>	200000	69000	Mpa
<i>Poisson's Ratio</i>	0,29	0,33	N/A
<i>Mass Density</i>	7870	2700	Kg/m ³
<i>Tensile Strength</i>	356,901	239,997	N/mm2
<i>Yield Strength</i>	203,943	227,527	N/mm2

Gaya adalah besaran vektor karena memiliki besar, arah, dan arah yang pasti serta bertambah sesuai dengan hukum jajar genjang. Dua masalah umum dalam statika adalah menemukan gaya yang dihasilkan, mengetahui komponennya, atau menguraikan gaya yang diketahui menjadi dua komponennya. Ketika sebuah gaya diterapkan pada suatu benda, benda itu cenderung berputar pada titik-titik yang tidak berada pada garis aksi gaya tersebut. Kecenderungan puntir ini kadang disebut torsi, tetapi paling sering disebut momen gaya atau momen sederhana (5). Massa yang dimiliki oleh benda-benda tersebut menghasilkan gaya gravitasi sebagai akibat dari gaya gravitasi bumi yang dapat dihitung menggunakan rumus berikut (5):

$$W = m \times g \quad (1)$$

Gaya merupakan akibat dari bobot yang berada di suatu struktur material yang didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$F = m \times a \quad (2)$$

Tegangan merupakan reaksi yang timbul pada suatu struktur mengalami pembebanan, dimana beban diberikan akan diteruskan ke semua struktur. Menurut pembebanan yang diberikan, tegangan pada suatu struktur terbagi menjadi dua yaitu tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan normal merupakan besar gaya tarik maupun tekan per satuan luas penampang. Sedangkan tegangan geser diartikan sebagai tegangan penampang melintang pada suatu struktur dengan persamaan berikut (3):

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

dimana: σ = Tegangan (N/mm²)

F= Gaya atau beban yang bekerja pada suatu benda (Newton)

A= Luas penampang benda (mm²)

Defleksi merupakan perubahan bentuk suatu struktur akibat adanya pembebanan atau gaya pada struktur tersebut dan menjadi salah satu bagian dari desain struktur dan analisis. Besarnya defleksi dapat diukur dari titik awal sebelum pembebanan hingga ke posisi perubahan akibat pembebanan. Defleksi juga berguna untuk analisis dinamis, misalnya saat menyelidiki getaran kendaraan atau respon suatu bangunan terhadap getaran gempa bumi. Defleksi sering dihitung untuk memverifikasi bahwa hal seperti itu masih dalam batas yang dapat ditoleransi (1). Dari persamaan (4) dapat dijabarkan dan didapatkan persamaan defleksi yaitu:

$$\delta = \frac{Fl}{AE} \quad (4)$$

Dimana: δ = defleksi

F= gaya

l= length

A= luas area

E= modulus elastisitas

Faktor keamanan (*Safety Factor*) adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi agar elemen mesin terjamin aman dengan dimensi yang minimum atau kecil. Pemberian *safety factor* dengan menganggap faktor-faktor lain berjalan secara normal:

1. Beban statis: $sf = 1,25 - 2$
2. Beban dinamis: $sf = 2,1 - 3$
3. Beban kejut: $sf = 3,1 - 5$

Faktor keamanan (*Safety Factor*) adalah perbandingan dari kekuatan sebenarnya terhadap kekuatan yang dibutuhkan:

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_{act}} \quad (5)$$

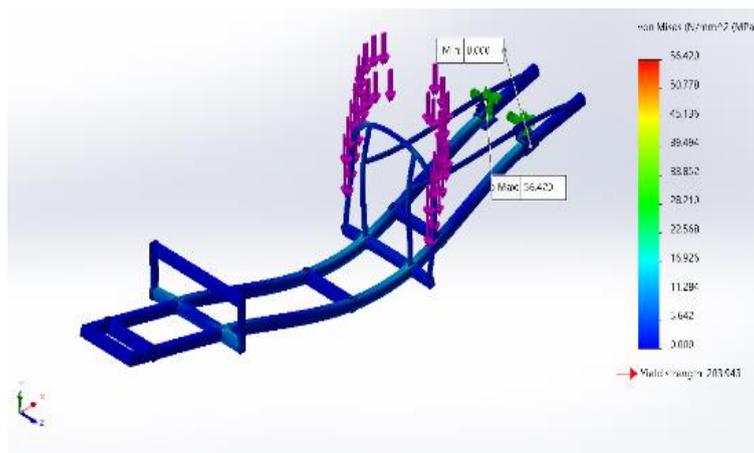
Dimana: $n =$ factor of safety
 $\sigma_y =$ Tegangan yield strength
 $\sigma_{act} =$ Tegangan yang terjadi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

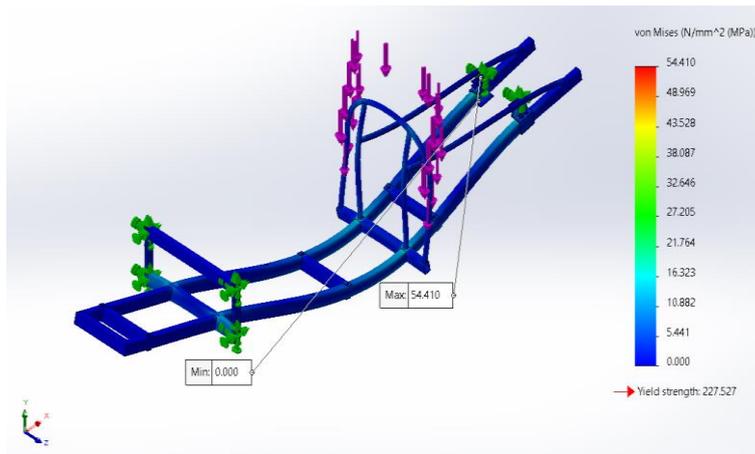
Adapun analisis pembebanan statis sebesar 700 Newton diberikan pada bagian *roll hoop/rollbar chassis* dengan menggunakan dua variasi material, yaitu *galvanized steel* dan aluminium 6061. Tumpuan diberikan pada bagian mounting steering depan serta roda belakang. Menggunakan perangkat *software CAD*, didapatkan hasil berupa tegangan, deformasi dan faktor keamanan yang terjadi pada *chassis* mobil.

3.1 Tegangan (*Stress*)

Gambar 3 menunjukkan hasil simulasi tegangan von mises yang terjadi pada rangka setelah dilakukan pembebanan statis dengan beban 700 N pada bagian *roolbar*. Titik konsentrasi tegangan tertinggi berada di *mounting* roda belakang baik untuk material *galvanized steel* (gambar 3 (a)) dan aluminium 6061 (gambar 3(b)). Pada titik yang ditunjukkan nilai tegangan maksimum yaitu 56,42 MPa dan 54,41 MPa untuk *galvanized steel* dan aluminium 6061. Tegangan tersebut masih jauh berada di bawah batas *yield strength* masing-masing material yaitu 203,9 MPa untuk *galvanized steel* dan 227,5 MPa untuk aluminium 6061. Tegangan maksimum yang diterima relatif sama antara material baja galvanis dan aluminium dikarenakan tidak ada perbedaan beban serta desain sasis yang tidak berubah. Sasis aman terhadap pembebanan 700 Newton pada bagian *roll hoop/rollbar*.



(a)



(b)

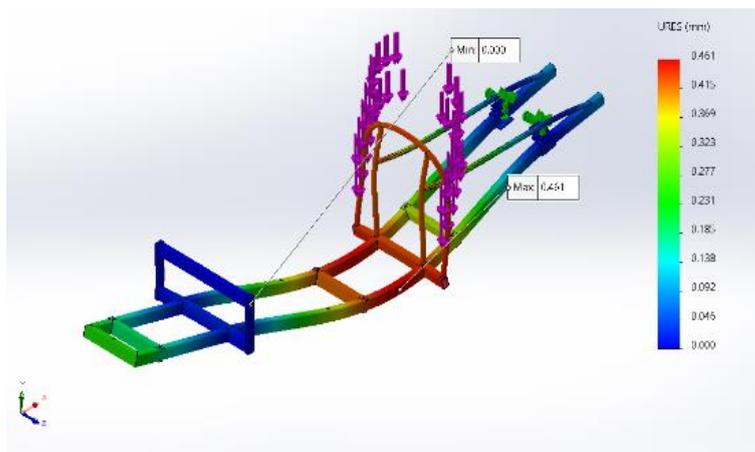
Gambar 3. Tegangan Chassis: (a) Galvanized Steel; (b) Aluminium 6061

Tabel 2. Hasil Simulasi Tegangan Sasis

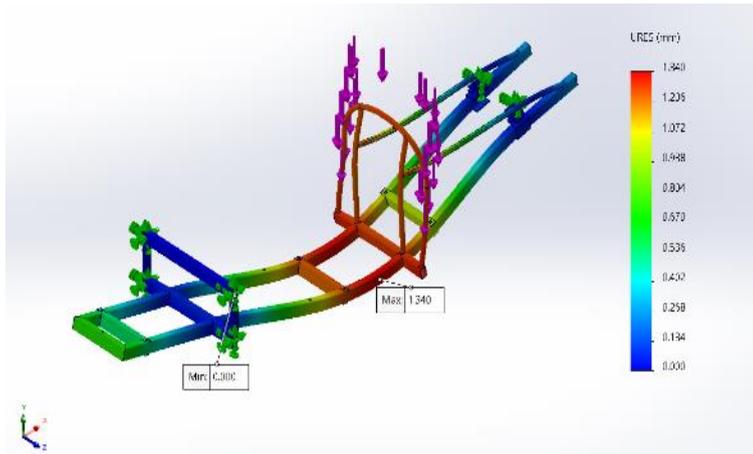
Deskripsi	Galvanized Steel	Aluminium 6061
Yield Strength	203,94 MPa	227,52 MPa
Max Stress (Von Mises)	56,42 MPa	54,41 MPa
Load	700 N	700 N
Satisfactory	Aman (Safe)	Aman (Safe)

3.2 Displacement/Deflection

Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi *displacement* yang terjadi pada rangka setelah dilakukan pembebanan. Daerah dengan defleksi/*displacement* maksimum berada di area bawah *roll hoop/rollbar* baik untuk material *galvanized steel* (gambar 4 (a)) maupun aluminium 6061 (gambar 4 (b)). Defleksi/*displacement* terendah berada pada daerah tumpuan depan dan belakang. Pada daerah yang ditunjukkan warna merah nilai defleksi maksimum 0,461 mm dan 1,34 mm untuk *galvanized steel* dan aluminium 6061. Perbedaan nilai defleksi baja lebih kecil dari aluminium dikarenakan nilai kekakuan/*modulus elasticity* yang berbeda antara kedua material tersebut (6).



(a)



(b)

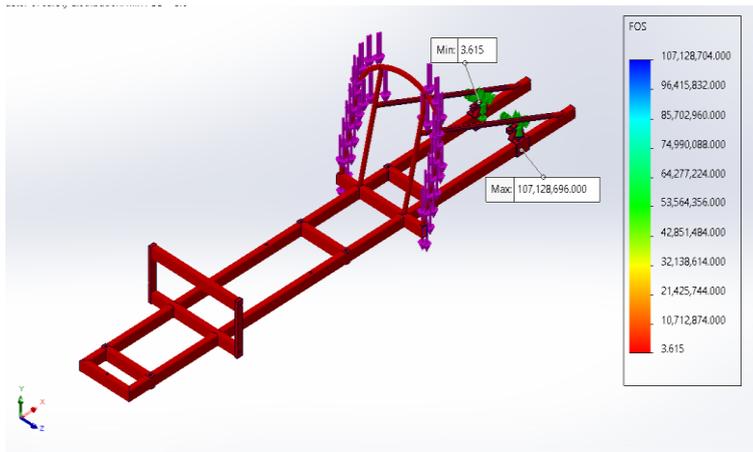
Gambar 4. Displacement Chassis: (a) Galvanized Steel; (b) Aluminium 6061

Tabel 3. Hasil Simulasi Displacement/Defleksi

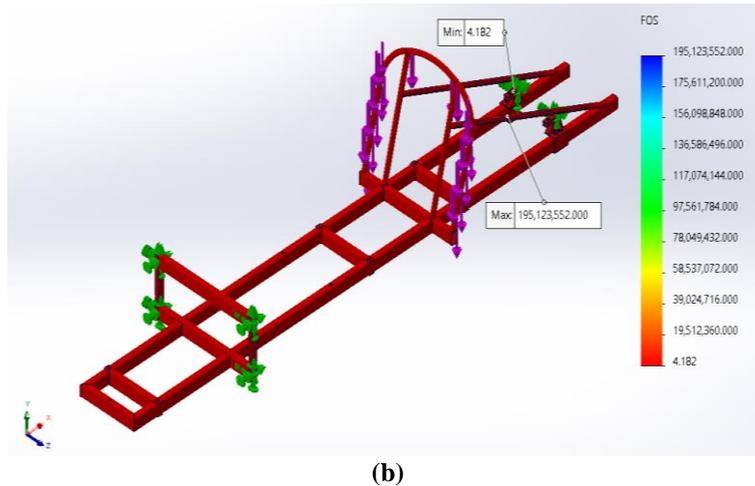
Deskripsi	Galvanized Steel	Aluminium 6061
Max Displacement	0,461 mm	1,34 mm
Load	700 N	700 N
Satisfactory	Aman (Safe)	Acceptable

3.3 Safety Factor/Factor of Safety (FOS)

Gambar 5 menunjukkan hasil simulasi FOS yang terjadi pada rangka setelah dilakukan pembebanan. Daerah berwarna merah tidak menunjukkan perbedaan perilaku maupun sifat ketika diberikan pembebanan dengan variasi material sasis manapun. Nilai FOS minimum dari simulasi adalah sebesar 3,61 dan 4,18 untuk galvanized steel dan aluminium 6061. Perbedaan nilai dikarenakan yield strength yang berbeda antara galvanized steel dan aluminium 6061. Secara efisiensi desain sasis galvanized steel lebih efisien daripada aluminium 6061 karena nilai yang lebih dekat dengan FOS=1, serta mampu menahan beban yang sama yaitu 700 N.



(a)



Gambar 5. Factor of Safety Chassis: (a) Galvanized Steel; (b) Aluminium 6061

Tabel 4. Hasil Simulasi FOS

Deskripsi	Galvanized Steel	Aluminium 6061
Minimum FOS	3,61	4,18
Load	700 N	700 N
Satisfactory	Aman (Safe)	Aman (Safe)

Simulasi pembebanan pada *chassis* dengan memberikan beban pada *roll bar* atas sebesar 700 Newton untuk menguji kekuatan *chassis* kendaraan. Hasil yang ditunjukkan pada tabel 5 menunjukkan hasil simulasi perbandingan material *galvanized steel* dan AA 6061-T4 yang dimana nilai tegangan pada *galvanized steel* sebesar 56,420 ini masih di bawah dari batas *yield* material *galvanized steel* yang digunakan yaitu sebesar 203,943 MPa. Kemudian nilai tegangan pada AA 6061-T4 sebesar 54,410 ini masih di bawah dari batas *yield* material AA 6061-T4 yang digunakan yaitu sebesar 227,527 MPa. Pada kedua material tersebut nilai tegangan maksimum aktual hasil simulasi dapat dinyatakan aman terhadap kemampuan *chassis* dalam menerima beban (7). Hasil deformasi yang terjadi pada material *galvanized steel* menunjukkan deformasi terbesar pada bagian yang sama dengan tegangan maksimum yaitu bagian tengah *chassis* sebesar 0,461 mm dan pada material AA 6061-T4 sebesar 1,340 mm. Nilai tersebut masih dalam batas aman regulasi *Shell Eco Marathon* dan *Formula Student* FSAE yaitu 25 mm (9). Nilai faktor keamanan minimum yang didapat pada kedua material tersebut dari simulasi ditunjukkan pada tabel 2 yaitu sebesar 3,6 dan 4,2 yang membuktikan *chassis* sudah cukup kuat dalam menerima beban dan sesuai dengan target yang diinginkan yaitu 3. Pada material *galvanized steel* mempunyai keunggulan pada biaya yang murah dari material AA 6061-T4 (2), namun material *galvanized steel* memiliki kekurangan yaitu pada bobot yang lebih berat dari material AA 6061-T4 (12). Selain dari material yang digunakan, bentuk desain *chassis* juga mempengaruhi tegangan dan defleksi yang dihasilkan, seperti contohnya pada penambahan besi menyilang yang akan meningkatkan kekakuan strukturnya (11). Bentuk desain *chassis* sangat berpengaruh dalam berbagai aspek performa dan efisiensi kendaraan terutama dalam menentukan distribusi beban dan tegangan, yang berpengaruh pada kekuatan dan kekakuan struktural, serta mengurangi risiko deformasi atau kerusakan saat menghadapi beban ekstrem atau kecelakaan. Selain itu, desain *chassis* juga mempengaruhi stabilitas dan handling kendaraan dengan menentukan pusat gravitasi, yang dapat meningkatkan stabilitas dan handling, terutama saat berbelok atau menghindari rintangan. Oleh karena itu pembuatan *chassis* pada penelitian ini menggunakan material *galvanized steel* karena biaya pembuatan *chassis* yang lebih murah dan nilai faktor keamanan yang telah sesuai target yang diinginkan.

Tabel 5. Hasil Simulasi Perbandingan Material Galvanized Steel dan AA 6061-TA

Hasil Simulasi	Galvanized Steel	AA 6061-T4
Tegangan Von Mises Maksimum (Mpa)	56,42	54,41
Defleksi Maksimum (mm)	0,461	1,34
Faktor Keamanan	3,6	4,2

4. KESIMPULAN

Meninjau nilai tegangan, defleksi dan faktor keamanan, desain dengan menggunakan material *galvanized steel* didapatkan nilai tegangan yang sedikit lebih besar dibandingkan material AA 6061-T4, Defleksi pada material AA 6061-T4 lebih tinggi dibandingkan *galvanized steel*, dan pada faktor keamanan pada kedua material tersebut lebih dari 1 dengan nilai FOS *galvanized steel* lebih kecil serta efisien dibandingkan AA 6061. Baik aluminium 6061 maupun *galvanized steel* dapat digunakan sebagai sasis dengan kemampuan menerima beban *roll hoop/roll bar* yang baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian (LPPM) Institut Teknologi Kalimantan, Jurusan Teknologi Industri dan Proses, Program Studi Teknik Mesin atas kerjasama dan dukungan pendanaan.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Anggry, Adhe. 2021. *Kekuatan bahan tegangan dan regangan pada batang*. Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat. ISBN 978-623-97870-0
- 2 Fakhri, M.I. and Tono S. 2023. "Analisis chassis mobil hemat energi untuk kontes KMHE tipe prototype team HMM usakti". *Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah Universitas Trisakti*. Jakarta
- 3 Gere, James M., & Barry J. Goodno. 2013. *Mechanics of materials 8th edition*. Global Engineering, 730-732.
- 4 Haryono, H. D., et al. 2023. "Rancang Bangun Kendaraan Listrik Prototipe Roda 3 Enggang EV ITK". *Majamecha*, 5(2). 135–148.
- 5 Hibbeler, R.C. 2014. *Statics and mechanics of materials*. Singapore: Pearson Education South Asia.
- 6 Isworo, Hajar. 2017. "Permodelan Analisis Pengaruh Tinggi Main Roll Hoop terhadap Tegangan dan Displacement Pada Mobil Formula Student Automotive Engineering" *sjme KINEMATIKA VOL.2 NO.1*, 1 Juni 2017, 37-51.
- 7 Oymak, Y. A., and Feyzullahoglu, E. 2021. "Formula student race car chassis design and analysis", *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 7(2), 201–218. <https://doi.org/10.28979/jarnas.957134>
- 8 (8) P. A. M. Lugas, "Desain Dan Analisis Chasis Tipe Backbone Dengan Model Baru Pada Mobil Hemat Energi," *Jur. Tek. Mesin, Progr. Stud. Tek. Mesin, Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Jember*, vol. 12, no. 2, p. 6, 2020,
- 9 Puspitasari, NA and Marsono, MP. 2021. "Simulasi Stress Analysis Pembebanan Statis Dengan Bantuan Software SolidWorks Pada Hasil Perancangan Ladder Frame Chassis Mobil Listrik Menggunakan Material AISI 4340". *Seminar Nasional-XX ITENAS*. Bandung.
- 10 Radyantho, K.D., Londen, B.I. and Febritasari, R. 2021. "Experimental study of Mandrel's effect on rotary draw bending process of aluminium 6061 pipe", *The 4th International Conference On Materials And Metallurgical Engineering And Technology (ICOMET) 2020*. doi:10.1063/5.0072509.
- 11 Shiddieqy, R, H, A. 2015 *Analisa Kekuatan Chassis Mobil Listrik "Braja Wahana" Profil Hollow Dengan Variasi Ketebalan*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- 12 Wibowo, Muhammad Yusuf, dkk. 2022. "Perancangan Chassis Prototype Mobil Warak dan Simulasi Statik dengan Metode Finite Element Analysis". Jakarta: Jurnal Politeknik Negeri Jakarta.