



STRESS ANALYSIS ROLL BAR PADA CHASSIS KENDARAAN PROTOTYPE UNRAM DI KOMPETISI SHELL ECO-MARATHON ASIA PASIFIC AND MIDDLE EAST 2023

Stress Analysis Roll Bar on Unram Prototype Vehicle Chassis At Shell Eco-Marathon Asia Pacific And Middle East 2023 Competition

M.Y. Sastrawan, I.G.N.K. Yudhyadi, I.G.A.K. Chatur Adhi Wirya Aryadi

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia. HP. 082111738971

*E-mail: madeyogi1501@gmail.com

ARTICLE INFO

Article History:

Received

Accepted

Available online

Keywords:

Chassis

Rollbar

Frame

simulation



ABSTRACT

The research aims to enhance safety in vehicles, particularly in the roll bar section, through appropriate material selection. Three materials—aluminum, stainless steel, and galvanized steel—are considered for the roll bar. The goal is to improve roll bar durability, reduce vehicle damage, and enhance safety levels. The research methodology employs Autodesk Inventor Professional 2024 software with stress analysis simulation. A prototype chassis serves as the research material, with variations in materials (aluminum, stainless steel, and galvanized steel) and frame thicknesses (1.6 mm and 1.8 mm). Research steps include designing 2D and 3D chassis and roll bar structures, creating, organizing, and validating meshes, inputting simulation parameters or boundary conditions for the roll bar section of the chassis, setting simulation iterations, running simulations, and reporting simulation results. Simulation results indicate that the highest Von Mises value is found in aluminum material, reaching 6085.68 MPa for a frame thickness of 1.6 mm and 6776.75 MPa for a frame thickness of 1.8 mm. The lowest mass value is obtained in aluminum material, with frame thicknesses of 1.6 mm and 1.8 mm having the lightest mass among other materials, at 8.76 kg for 1.6 mm and 9.74 kg for 1.8 mm. Stainless steel material, with frame thicknesses of 1.6 mm and 1.8 mm, has the highest mass among the materials, measuring 25.903 kg for 1.6 mm and 28.952 kg for 1.8 mm.

Dinamika Teknik Mesin, Vol. 6, No. 2 Desember 2016, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki angka kecelakaan yang cukup tinggi berdasarkan data dari Korlantas Polri yang dipublikasikan Kementerian Perhubungan, angka kecelakaan lalu lintas di Indonesia mencapai 103.645 Kasus pada tahun 2021. Jumlah tersebut lebih tinggi dibandingkan data tahun 2020 yang sebanyak 100.028

kasus. Adapun, kasus kecelakaan lalu lintas pada tahun 2021 telah menewaskan 25.266 korban jiwa dengan kerugian materi mencapai Rp246 miliar. Sementara jumlah korban luka berat akibat kecelakaan lalu lintas sepanjang tahun lalu sebanyak 10.553 orang, dan korban luka ringan 117.913 orang. Berdasarkan jenis kendaraan, keterlibatan kasus kecelakaan lalu lintas yang paling tinggi adalah sepeda motor dengan persentase 73%. Urutan kedua adalah angkutan barang dengan persentase 12%. Oleh karena itu keselamatan sangat penting bagi pengguna jalan (Vika Azkiya Dihni, 2022).

Roll bar merupakan sebuah komponen yang sering digunakan dalam kendaraan, terutama dalam mobil balap, kendaraan *off-road*, dan beberapa kendaraan konsumen yang digunakan dalam kecepatan tinggi atau situasi berisiko tinggi. Fungsi utama dari *roll bar* adalah untuk meningkatkan keamanan pengemudi dan penumpang kendaraan dalam situasi kecelakaan atau terbalik. *Roll bar* merupakan salah satu inovasi dalam dunia otomotif yang telah menyelamatkan banyak nyawa dan mengurangi cedera dalam kecelakaan. Mereka terus berkembang dengan teknologi baru dan peningkatan desain untuk meningkatkan keamanan pengemudi dan penumpang (Bharane, P. dkk., 2014).

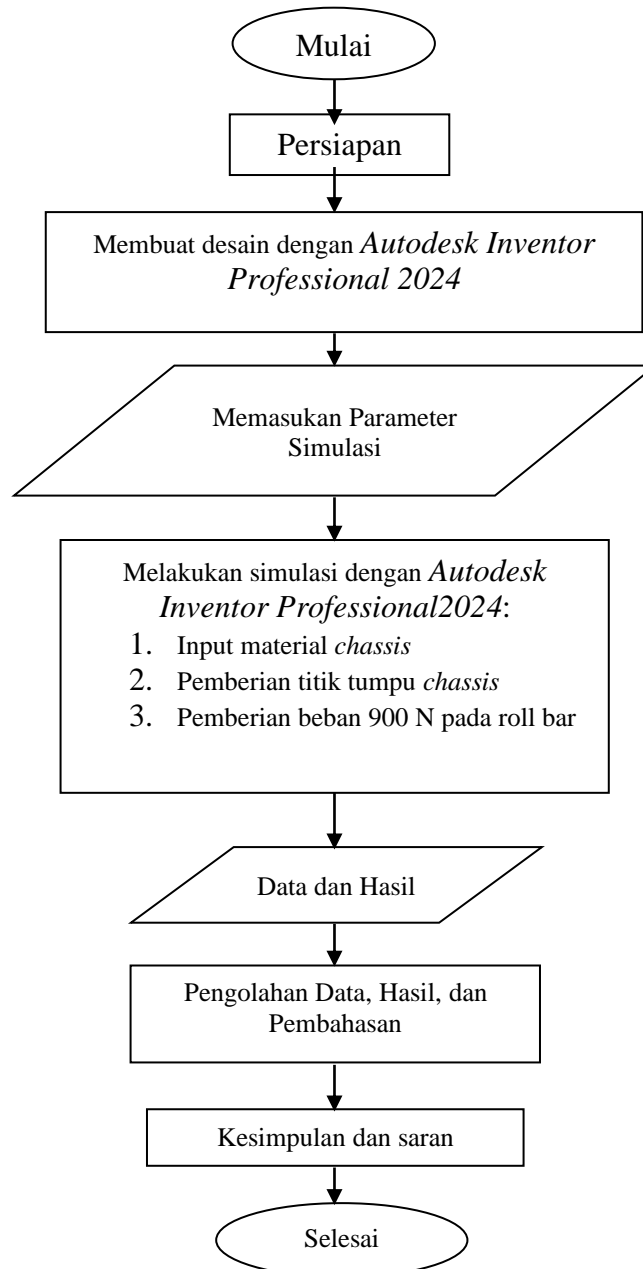
Kekuatan *roll bar* dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk material, desain, konstruksi, dan metode pengujian. Jenis bahan yang digunakan untuk membuat *roll bar* sangat penting. Biasanya, *roll bar* terbuat dari baja karbon tinggi atau bahan komposit yang kuat. Kualitas dan kekuatan material tersebut akan berdampak langsung pada kemampuan *roll bar* untuk menahan tekanan dalam situasi kecelakaan. Kekuatan tarik dan ketangguhan material adalah faktor utama yang mempengaruhi sejauh mana *roll bar* dapat menahan beban dan memberikan perlindungan yang efektif. Material harus mampu menahan beban dampak yang mungkin terjadi dalam kecelakaan, terutama jika kendaraan terguling (Ashby, M. F., 2015). Material *roll bar* juga harus memiliki sifat elastisitas yang memadai untuk dapat mengalami deformasi tanpa mengalami kegagalan struktural yang signifikan dan mempunyai ketahanan tegangan atau nilai *Von Mises stress* yang tinggi. Kemampuan material untuk mengalami deformasi yang terkontrol dapat membantu menyerap energi kinetik selama kecelakaan.

Von Mises stress memberikan nilai tunggal yang merepresentasikan tingkat tegangan ekuivalen di mana kegagalan material yang disebabkan oleh kombinasi tegangan dapat diantisipasi. Ini membantu insinyur dan desainer untuk mengevaluasi keamanan struktural dan mencegah kegagalan material yang tidak diinginkan. *Von Mises stress* adalah parameter tekanan yang digunakan untuk mengevaluasi kombinasi tegangan dalam material, yang memberikan gambaran tentang kecenderungan material untuk mengalami deformasi plastis. *Von Mises stress* sering digunakan dalam analisis elemen hingga dan perancangan struktur untuk memperkirakan kegagalan material di bawah kondisi kompleks. (Huber, M. T., & Huber, R., 2018). Ada beberapa cara untuk pengujian *Von Mises stress* yaitu pengujian eksperimental dan simulasi.

Pengujian *roll bar* menggunakan eksperimen aktual, seperti uji kecelakaan dalam situasi nyata atau uji fisik di laboratorium. Eksperimen aktual adalah metode penting untuk memvalidasi dan memastikan keamanan kendaraan, termasuk *roll bar*. Namun, biaya, waktu, dan risiko keselamatan menjadi faktor penting yang perlu dipertimbangkan saat menggunakan metode ini. Kombinasi antara eksperimen aktual dan analisis komputer dapat memberikan hasil yang paling komprehensif dalam memahami kinerja *roll bar*. (Sintanu, D. E., 2022). Metode elemen hingga (*finite element analysis*) adalah pendekatan permodelan komputasi yang sering digunakan dalam pengujian *roll bar* dan struktur kendaraan. Penggunaan metode elemen hingga dalam pengujian *roll bar* dapat sangat efektif untuk mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan desain, namun perlu dilakukan dengan hati-hati dan dengan memperhitungkan keterbatasannya. (Zeng, W., & Liu, G. 2018).

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian kualitatif dengan pendekatan studi kasus adalah sebagai prosedur penelitian yang menghasilkan data deskriptif berupa angka-angka tertulis yang dapat diamati sebagaimana adanya. Peneliti memilih teknik dan metode ini dengan alasan akan mendapatkan angka *Von Mises stress*, *safety factor*, dan *displacement* sehingga dapat diinterpretasikan sebagai tingkat *stress Analisa*-nya. Dalam proses analisis *stress* dan desain *chassis prototype* menggunakan laptop LENOVO IDEAPAD Slim 3 dengan *software* Autodesk Inventor 2024.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

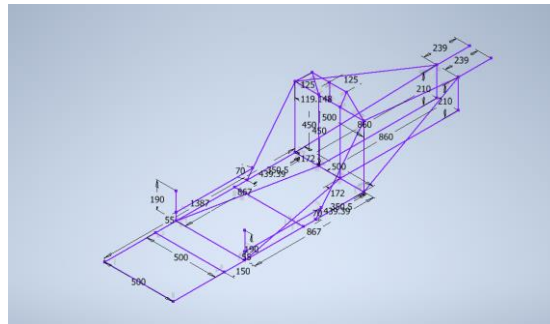
Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Laptop AMD Ryzen 5 5625U with Radeon Graphics 2.30 GHz RAM 8 GB
2. software Inventor Profesional 2024.
3. Microsoft Excel 2021

Adapun tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi persiapan alat dan bahan, pembuatan desain menggunakan aplikasi *Autodesk Inventor Professional 2024*, memasukkan parameter simulasi, melakukan simulasi, pengambilan data dan hasil dari simulasi, pengolahan data, hasil, dan pembahasan, serta pengambilan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

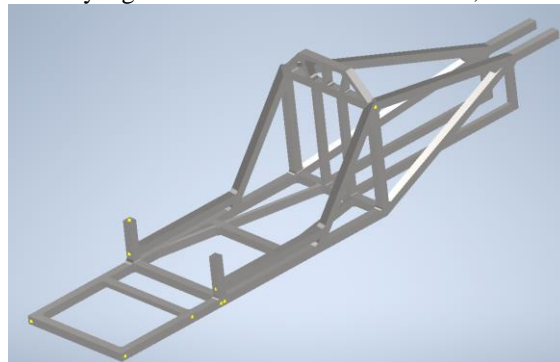
peneliti melakukan desain pada aplikasi Autodesk Inventor. Adapun proses-proses mendesain sebagai berikut:

1. Pemasukan dimensi dan desain 3D



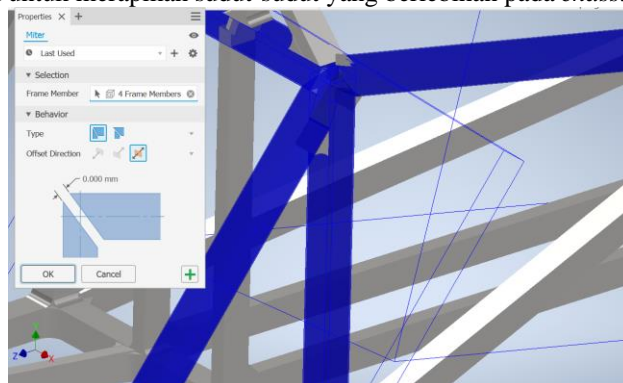
Gambar 2. Sketsa *chassis prototype*

2. Proses pemasukan frame hollow yang berukuran 35 mm x 35 mm x 1,6 mm



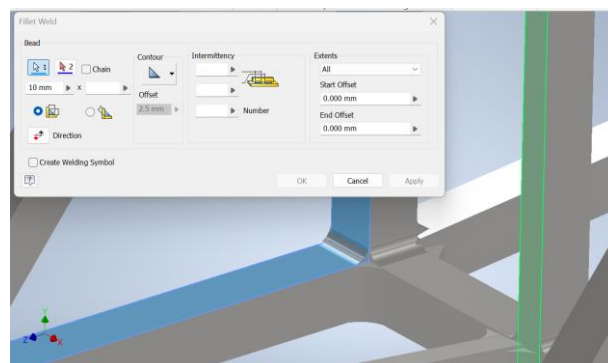
Gambar 3. Pemasukan *frame* ke dalam sketsa

3. Proses miter berfungsi untuk merapikan sudut-sudut yang berlebihan pada *chassis*



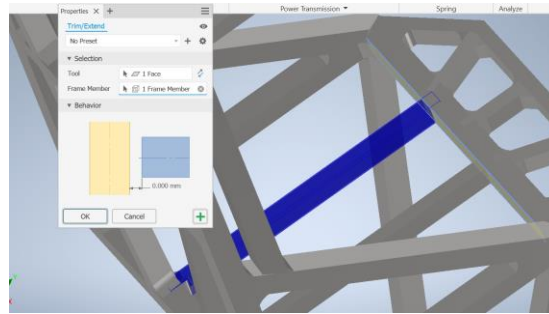
Gambar 4. Proses *miter* pada *chasis*

4. proses welding



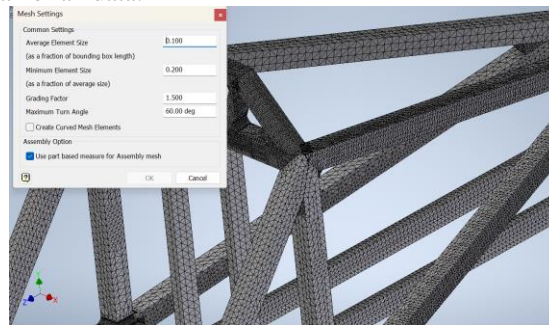
Gambar 5. Proses pengelasan

5. Proses *trim/extend*

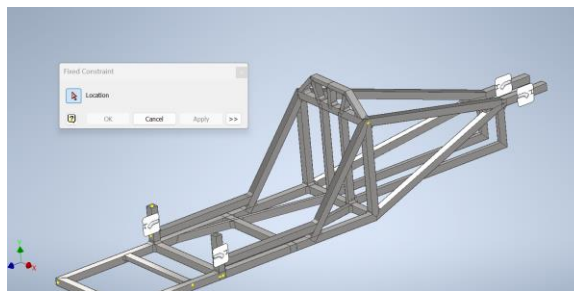


Gambar 6. Proses Trim/Extend pada chassis prototype

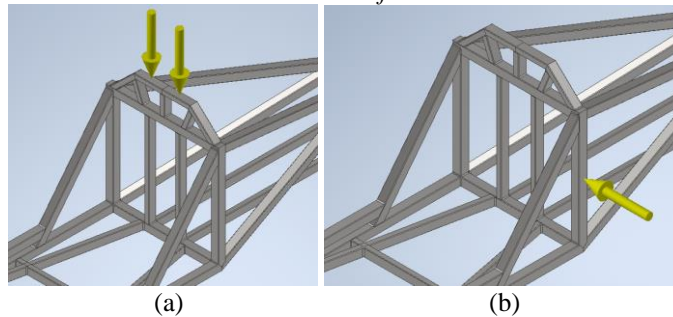
Pada tahapan selanjutnya penelitian ini melakukan pemasangan parameter simulasi antara lain pemasangan *mesh* dan melakukan validasi *mesh* yang berfungsi sebagai acuan awal ukuran *meshing* yang akan digunakan, lalu menentukan lokasi untuk *fixed constrain* yaitu pada penempatan roda depan dan belakang dari *chassis*, serta pemasangan beban pada atas bagian *roll bar* dan pembebanan di bagian sisi samping *roll bar*, lalu tahap terakhir yaitu melakukan simulasi dan pengambilan data.



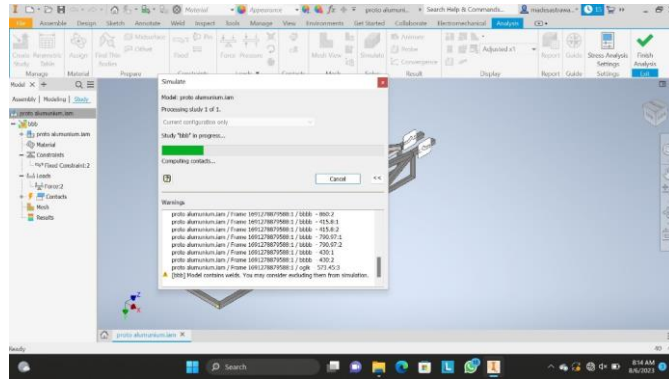
Gambar 7. Validasi *mesh*



Gambar 8. Penentuan *fixed constrain*



Gambar 9. Pemasukan beban 900 N bagian atas (a) dan sisi samping (b) *roll bar*



Gambar 10. Simulasi

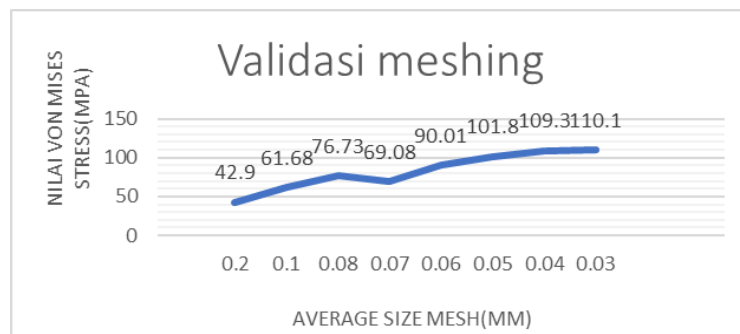
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini terdapat data hasil yang berbentuk angka, grafik maupun gambar dan tabel yang didapat dengan menggunakan Autodesk Inventor Professional 2024 yang meliputi nilai *Von Mises stress*, *displacement*, *safety factor*, *1st principal stress*, *3rd principal stress*, dan massa dengan menggunakan bentuk *chassis* kendaraan prototype Unram, kemudian di variasikan material yang digunakan yaitu, aluminium, *stainless steel*, dan baja galvanis serta memvariasikan tebal dari *frame chassis* yaitu 1,6 mm dan 1,8 mm. Dari hasil penelitian dengan menggunakan Autodesk Inventor Professional 2024 di dapatkan hasil *Von Mises stress*, *displacement*, *safety factor*, *1st principal stress*, *3rd principal stress*, dan massa.

Dalam penelitian ini dilakukan proses meshing yang dimana bertujuan untuk mendapatkan simulasi yang akurat, proses *meshing* yang digunakan pada penelitian ini yaitu *face sizing* atau penentuan *average size element mesh*. Sebelum proses setup dilakukan proses meshing sebanyak 8 kali percobaan dengan *average size element mesh* yang berbeda mulai dari 0,200 mm, 0,100 mm, 0,080 mm, 0,070 mm, 0,060 mm, 0,050 mm, 0,040 mm, dan 0,030 mm. Hal tersebut bertujuan untuk mendapatkan ukuran rata-rata *element mesh* yang hasilnya sama atau mendekati, sebagai sampel pada penelitian ini diambil hubungan antara *average size element mesh* dengan nilai *Von Mises stress* seperti pada Tabel 4.1 dan pada Gambar 4.1.

Tabel 1. Pengaruh ukuran rata-rata *meshing* terhadap *Von Mises stress*

No	Average Size(mm)	Von Mises stress (MPa)
1	0.2	42.9
2	0.1	61.68
3	0.08	76.73
4	0.07	69.08
5	0.06	90.01
6	0.05	101.8
7	0.04	109.3
8	0.03	110.1



Gambar 11. Grafik perbandingan *average size mesh* dengan *Von Mises stress*

Dari gambar di atas (gambar 11) hubungan antara rata-rata size element mesh dengan *Von Mises stress* dari 8 kali percobaan terlihat bahwa nilai *Von Mises stress* dengan ukuran 0,05 mm yaitu 101,8 MPa, 0,04 mm yaitu 109,3 MPa, dan dengan ukuran 0,03 yaitu 110,1 mm. Hal ini menunjukkan bahwa dengan *element mesh* 0,05 mm, 0,04 mm dan 0,03 mm menunjukkan nilai *Von Mises stress* yang mendekati dari ketiga elemen mesh yaitu 110.1 MPa, sehingga dalam melakukan simulasi ini peneliti menggunakan ukuran element mesh 0,03 mm karena data yang didapatkan yaitu mendekati dengan nilai *Von Mises stress* 110,1 MPa.

Nilai yang diperoleh dari hasil simulasi stress analysis pada *chassis* dengan variasi material aluminium, baja galvanis, dan baja *stainless* serta memvariasikan tebal dari *frame* 1,6 mm dan 1,8 mm yang di berikan beban dari bagian atas *roll bar* dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

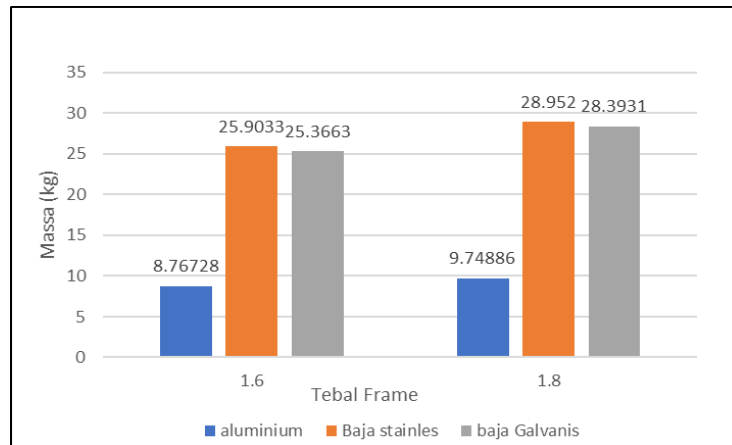
Tabel 2 Hasil stress analysis lokasi beban di bagian atas *roll bar*

Hasil		Material					
		aluminum		baja staines		baja galvanis	
Tebal Frame(mm)		1.6	1.8	1.6	1.8	1.6	1.8
massa (kg)		8.76728	9.74886	25.9033	28.952	25.3663	28.3931
Von Mises stress (MPa)	min	0.000264	0.000301	6.75461E-05	0.000105	0.000167	0.000103
	max	1110.14	1919.5	309.446	335.331	917.374	363.799
Displacement (mm)	min	0	0	0	0	0	0
	max	0.636599	0.531255	0.214329	0.186	0.20767	0.180725
Safety factor	min	0.02	0.0495	0.807	0.296058	0.225644	0.56899
	max	15	15	15	15	15	15
1st Principal stress (MPa)	min	-75.3535	-51.4181	-137.412	-15.5888	-21.5461	-12.2214
	max	3684.35	1278.91	257.145	335.331	318.274	324.66
3rd Principal stress (MPa)	min	-886.347	-808.184	-411.658	-638.907	-740.844	-187.622
	max	1740.61	102.907	37.0051	16.0458	30.6029	14.9028

Tabel 1. Hasil stress analysis lokasi beban di bagian sisi *roll bar*

Hasil		Material					
		aluminum		baja staines		baja galvanis	
Tebal Frame(mm)		1.6	1.8	1.6	1.8	1.6	1.8
massa (kg)		8.76728	9.74886	25.9033	28.952	25.3663	28.3931
Von Mises stress (MPa)	min	0.000175	0.000436	0.000297	0.000297	0.000281	0.00044
	max	5000.13	5134.2	1457.98	2278.47	1354.82	3030.63
Displacement (mm)	min	0	0	0	0	0	0
	max	2.47045	1.98384	0.821545	0.706022	0.799563	0.680523
Safety factor	min	0.010713	0.011	0.109723	0.17147	0.068303	0.152787
	max	15	15	15	15	15	15
1st Principal stress (MPa)	min	-1139.48	-706.89	-515.404	-265.088	-533.848	-273.816
	max	2314.37	293.737	2071.04	241.733	3879.21	281.523
3rd Principal stress (MPa)	min	-4195.67	-3623.22	-2965.9	-1809.84	-3061.38	-1743.52
	max	952.762	126.191	97.6152	60.3857	64.5716	40.7895

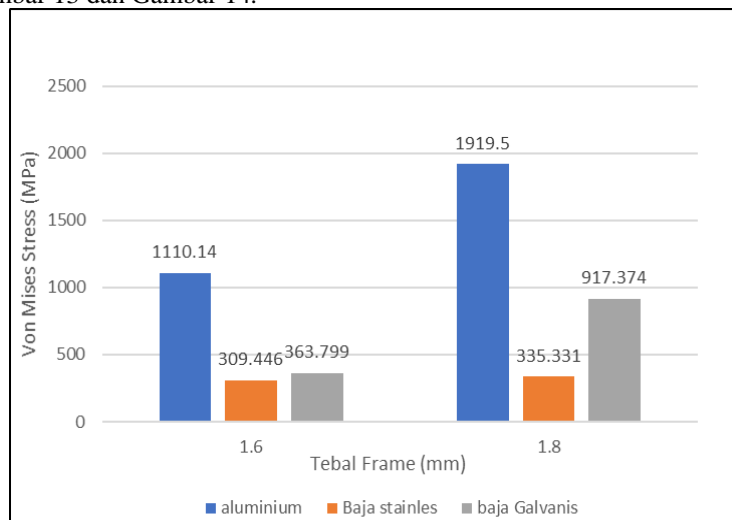
Dari simulasi didapat nilai massa dari *chassis* yang divariasikan material aluminium, baja galvanis, dan baja *stainless*, serta tebal 1,6 mm dan 1,8 mm. Nilai yang diperoleh dari hasil simulasi stress analysis *chassis* akan dibahas dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 12. Perbandingan massa terhadap tebal *frame*

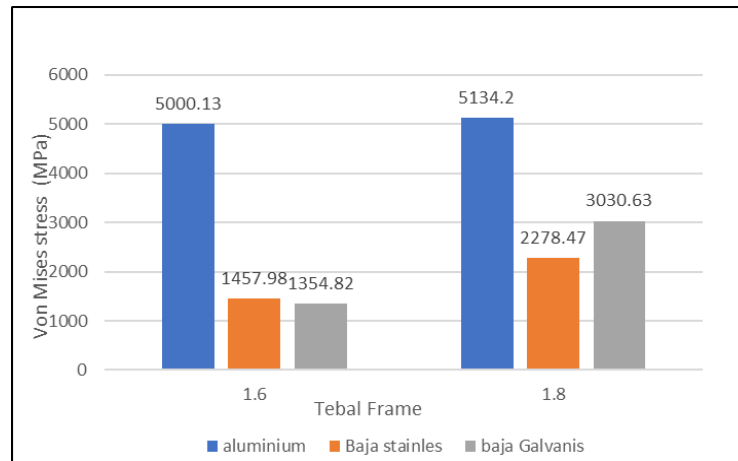
Dari gambar perbandingan massa terhadap tebal *frame* (Gambar 12) terdapat nilai massa dari *chassis* yang tebal *frame* 1,6 mm yaitu aluminium memiliki massa 8,76 kg, baja *stainless* memiliki massa 25,90 kg, dan baja galvanis memiliki massa 25,36 kg. Sedangkan pada *chassis* yang tebal *frame* 1,8 mm yaitu aluminium memiliki massa 9,75 kg, baja *stainless* memiliki massa 28,95 kg, dan baja galvanis memiliki massa 28,39 kg. berdasarkan data diatas dapat dipastikan bahwa aluminium memiliki massa yang paling ringan dari pada 2 material lainnya.

Dari simulasi didapat nilai *Von Mises stress* dari *chassis* yang divariasikan material aluminium, baja galvanis, dan baja *stainless*, serta tebal 1,6 mm dan 1,8 mm. Nilai yang diperoleh dari hasil simulasi stress analysis *chassis* yang di berikan beban di bagian atas dan pembebanan di bagian sisi dari *roll bar* akan dibahas dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 13 dan Gambar 14.



Gambar 13. Perbandingan nilai *Von Mises stress* terhadap tebal *frame* pada pembebanan bagian atas *roll bar*

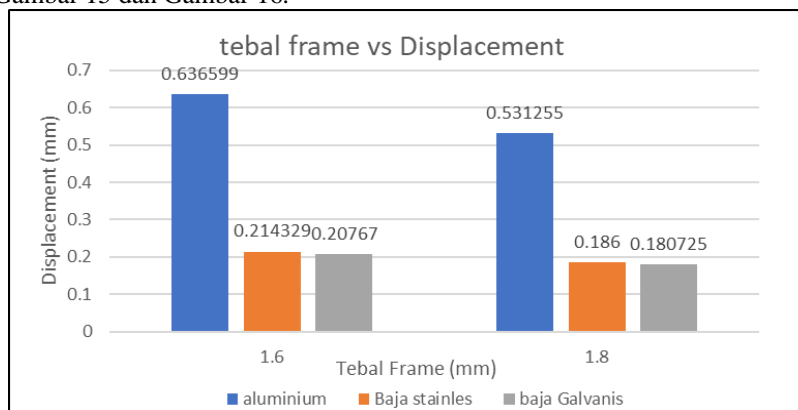
Dari gambar di atas (Gambar 13) didapatkan nilai *Von Mises stress* dari rollbar yang sudah diberikan beban 900 N pada bagian atas *roll bar* dapat dilihat material aluminium memiliki nilai *Von Mises stress* yang paling tinggi dari pada kedua material lainnya yaitu aluminium dengan tebal *frame* 1,6 mm memiliki nilai *Von Mises stress* 1110.14 MPa dan aluminium dengan tebal *frame* 1,8 mm memiliki nilai *Von Mises stress* 1919.5 MPa. Material baja *stainless* dengan tebal 1,6 mm memiliki nilai *Von Mises stress* 309.446 MPa dan baja *stainless* dengan tebal 1,8 mm memiliki nilai *Von Mises stress* 335.331 MPa, serta material baja galvanis dengan tebal 1,6 mm memiliki nilai *Von Mises stress* 363.799 MPa dan baja galvanis dengan tebal 1,8 mm memiliki nilai *Von Mises stress* 917.374 MPa.



Gambar 14. Perbandingan nilai *Von Mises stress* terhadap tebal *frame* pada pembebanan bagian sisi *roll bar*

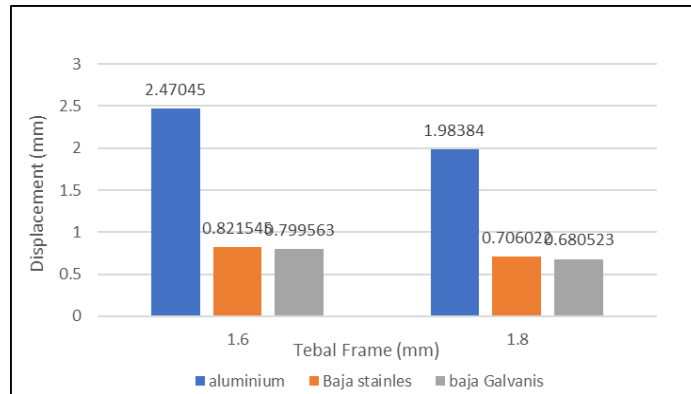
Dari gambar di atas (Gambar 14) didapatkan nilai *Von Mises stress* dari rollbar yang sudah diberikan beban 900 N pada bagian sisi dari *roll bar* dapat dilihat material aluminium memiliki nilai *Von Mises stress* yang paling tinggi dari pada kedua material lainnya yaitu aluminium dengan tebal *frame* 1,6 mm memiliki nilai *Von Mises stress* 5000.13 MPa dan aluminium dengan tebal *frame* 1,8 mm memiliki nilai *Von Mises stress* 5134.2 MPa. Material baja *stainless* dengan tebal 1,6 mm memiliki nilai *Von Mises stress* 1457.98 MPa dan baja *stainless* dengan tebal 1,8 mm memiliki nilai *Von Mises stress* 2278.47 MPa, serta material baja galvanis dengan tebal 1,6 mm memiliki nilai *Von Mises stress* 1354.82 MPa dan baja galvanis dengan tebal 1,8 mm memiliki nilai *Von Mises stress* 3030.63 MPa.

Dari simulasi didapat nilai *displacement* dari *chassis* yang divariasikan material aluminium, baja galvanis, dan baja *stainless*, serta tebal 1,6 mm dan 1,8 mm. Nilai yang diperoleh dari hasil simulasi *stress analysis chassis* dengan pembebanan di bagian atas *roll bar* dan pembebanan di bagian sisi *roll bar* akan dibahas dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 15 dan Gambar 16.



Gambar 15. Perbandingan *displacement* terhadap variasi material dan tebal *frame* pembebanan di bagian atas *roll bar*

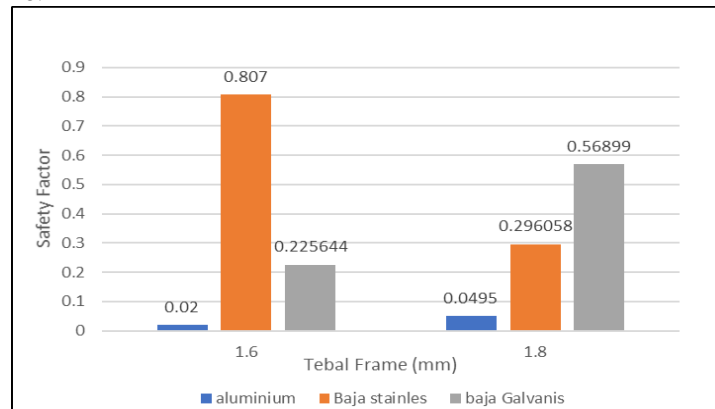
Dari gambar perbandingan *displacement* terhadap variasi material dan tebal *frame* dengan pembebanan di bagian atas *roll bar* (Gambar 15) terdapat nilai *displacement* dari *chassis* yang tebal *frame* 1,6 mm yaitu aluminium memiliki nilai *displacement* 0,636 mm, baja *stainless* memiliki nilai *displacement* 0,214 mm, dan baja galvanis memiliki nilai *displacement* 0,207 mm. Sedangkan pada *chassis* yang tebal *frame* 1,8 mm yaitu aluminium memiliki nilai *displacement* 0,531 mm, baja *stainless* memiliki nilai *displacement* 0,186 mm, dan baja galvanis memiliki nilai *displacement* 0,180 mm. berdasarkan data diatas dapat dipastikan bahwa baja galvanis memiliki nilai *displacement* yang terendah dari dua material lainnya, hal ini di nyatakan bahwa semakin kecil nilai dari pergeseran maka semakin bagus material tersebut dan semakin dinyatakan safety.



Gambar 16. Perbandingan *displacement* terhadap variasi material dan tebal *frame* pembebanan di bagian sisi *roll bar*

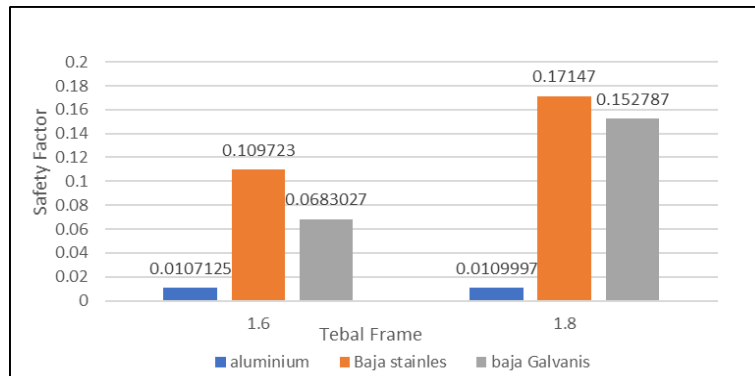
Dari gambar perbandingan *displacement* terhadap variasi material dan tebal *frame* dengan pembebanan di bagian sisi *roll bar* (Gambar 16) terdapat nilai *displacement* dari *chassis* yang tebal *frame* 1,6 mm yaitu aluminium memiliki nilai *displacement* 2,47 mm, baja *stainless* memiliki nilai *displacement* 0,821 mm, dan baja galvanis memiliki nilai *displacement* 0,799 mm. Sedangkan pada *chassis* yang tebal *frame* 1,8 mm yaitu aluminium memiliki nilai *displacement* 1,98 mm, baja *stainless* memiliki nilai *displacement* 0,706 mm, dan baja galvanis memiliki nilai *displacement* 0,680 mm. berdasarkan data diatas dapat dipastikan bahwa baja galvanis memiliki nilai *displacement* yang terendah dari dua material lainnya, hal ini di nyatakan bahwa semakin kecil nilai dari pergeseran maka semakin bagus material tersebut dan semakin dinyatakan *safety*.

Dari simulasi didapat nilai *safety factor* dari *chassis* yang divariasikan material aluminium, baja galvanis, dan baja *stainless*, serta tebal 1,6 mm dan 1,8 mm. Nilai yang diperoleh dari hasil simulasi *stress analysis chassis* pada pembebanan di bagian atas *roll bar* dan di bagian sisi *roll bar* akan dibahas dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 17 dan Gambar 18.



Gambar 17. Perbandingan minimal *safety factor* terhadap variasi material dan tebal *frame* pembebanan di bagian atas *roll bar*

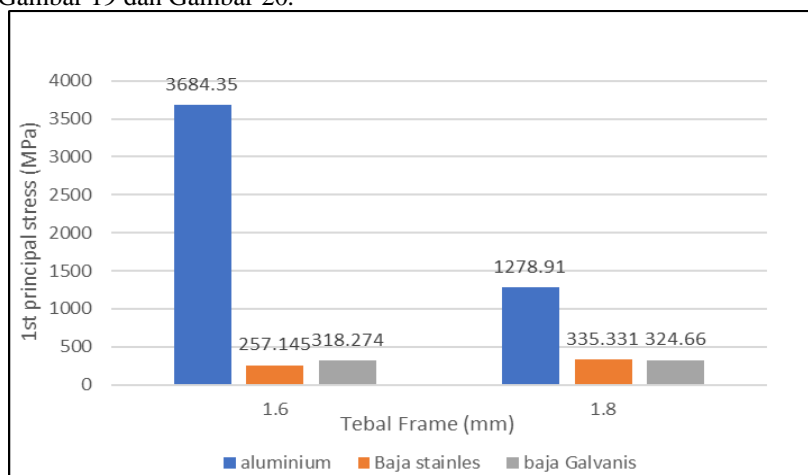
Dari gambar perbandingan minimal *safety factor* terhadap variasi material dan tebal *frame* dengan pembebanan di bagian atas *roll bar* (Gambar 17) terdapat nilai minimal *safety factor* dari *chassis* yang tebal *frame* 1,6 mm yaitu aluminium memiliki nilai minimal *safety factor* 0.02, baja *stainless* memiliki nilai minimal *safety factor* 0.807, dan baja galvanis memiliki nilai minimal *safety factor* 0,225. Sedangkan pada *chassis* yang tebal *frame* 1,8 mm yaitu aluminium memiliki nilai *safety factor* 0,0495, baja *stainless* memiliki nilai minimal *safety factor* 0,296, dan baja galvanis memiliki nilai minimal *safety factor* 0,568. berdasarkan data diatas dapat dipastikan bahwa baja *stainless* memiliki nilai minimal *safety factor* yang tertinggi dari dua material lainnya, hal ini di nyatakan bahwa semakin besar nilai dari *safety factor* maka semakin bagus material tersebut dan semakin dinyatakan aman.



Gambar 18. Perbandingan minimal *safety factor* terhadap variasi material dan tebal *frame* pembebanan di bagian sisi *roll bar*

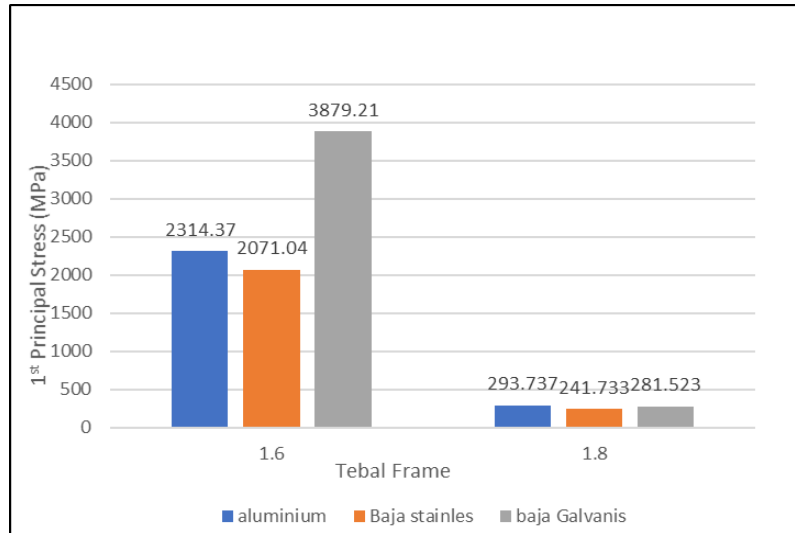
Dari gambar perbandingan minimal *safety factor* terhadap variasi material dan tebal *frame* dengan pembebanan di bagian sisi *roll bar* (Gambar 18) terdapat nilai minimal *safety factor* dari *chassis* yang tebal *frame* 1,6 mm yaitu aluminium memiliki nilai minimal *safety factor* 0.0107, baja *stainless* memiliki nilai minimal *safety factor* 0.109, dan baja galvanis memiliki nilai minimal *safety factor* 0,068. Sedangkan pada *chassis* yang tebal *frame* 1,8 mm yaitu aluminium memiliki nilai *safety factor* 0,0109, baja *stainless* memiliki nilai minimal *safety factor* 0,171, dan baja galvanis memiliki nilai minimal *safety factor* 0,152. berdasarkan data diatas dapat dipastikan bahwa baja *stainless* memiliki nilai minimal *safety factor* yang tertinggi dari dua material lainnya, hal ini di nyatakan bahwa semakin besar nilai dari *safety factor* maka semakin bagus material tersebut dan semakin dinyatakan aman.

Dari simulasi didapat nilai 1st *principal stress* dari *chassis* yang divariasikan material aluminium, baja galvanis, dan baja stainless, serta tebal 1,6 mm dan 1,8 mm. Nilai yang diperoleh dari hasil simulasi stress analysis *chassis* pembebanan di bagian atas *roll bar* dan pembebanan di bagian sisi *roll bar* akan dibahas dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 19 dan Gambar 20.



Gambar 19 Perbandingan 1st *principal stress* terhadap variasi material dan tebal *frame* pembebanan di bagian atas *roll bar*

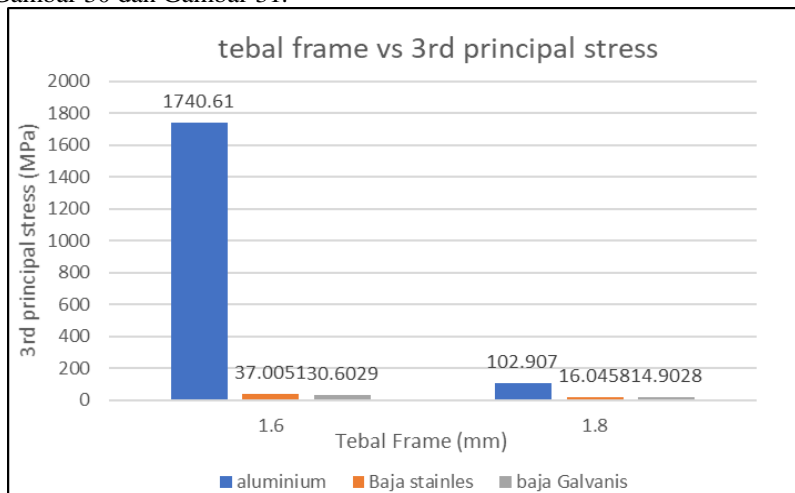
Dari gambar perbandingan minimal 1st *principal stress* terhadap variasi material dan tebal *frame* dengan pembebanan di bagian atas *roll bar* (Gambar 19) terdapat nilai minimal 1st *principal stress* dari *chassis* yang tebal *frame* 1,6 mm yaitu aluminium memiliki nilai 1st *principal stress* 3684,35 MPa, baja *stainless* memiliki nilai 1st *principal stress* 257,145 MPa, dan baja galvanis memiliki nilai 318,274 MPa. Sedangkan pada *chassis* yang tebal *frame* 1,8 mm yaitu aluminium memiliki nilai 1st *principal stress* 1278,91 MPa, baja *stainless* memiliki nilai 1st *principal stress* 335,331 MPa, dan baja galvanis memiliki nilai 1st *principal stress* 324,66 MPa berdasarkan data diatas didapatkan nilai 1st *principal stress* terbesar pada material aluminium dengan nilai 3684,35 MPa yang tebalnya 1,6 mm dan aluminium yang tebalnya 1,8 mm didapatkan nilai 1st *principal stress* 1278,91 MPa.



Gambar 20 Perbandingan 1st *principal stress* terhadap variasi material dan tebal *frame* pembebanan di bagian sisi *roll bar*

Dari gambar perbandingan minimal 1st *principal stress* terhadap variasi material dan tebal *frame* dengan pembebanan di bagian sisi *roll bar* (Gambar 20) terdapat nilai minimal 1st *principal stress* dari *chassis* yang tebal *frame* 1,6 mm yaitu aluminium memiliki nilai 1st *principal stress* 2314,37 MPa, baja *stainless* memiliki nilai 1st *principal stress* 2071,04 MPa, dan baja galvanis memiliki nilai 1st *principal stress* 3879,21 MPa. Sedangkan pada *chassis* yang tebal *frame* 1,8 mm yaitu aluminium memiliki nilai 1st *principal stress* 293,737 MPa, baja *stainless* memiliki nilai 1st *principal stress* 241,733 MPa, dan baja galvanis memiliki nilai 1st *principal stress* 281,523 MPa berdasarkan data diatas didapatkan nilai 1st *principal stress* terbesar pada material baja galvanis dengan nilai 3879,21 MPa yang tebalnya 1,6 mm dan aluminium yang tebalnya 1,8 mm didapatkan nilai 1st *principal stress* 293,737 MPa.

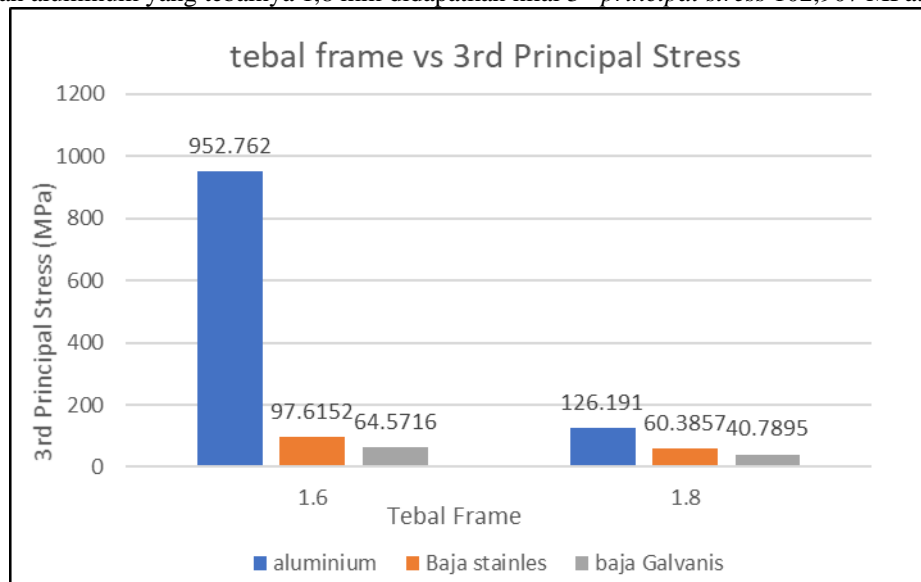
Dari simulasi didapat nilai 3rd *principal stress* dari *chassis* yang divariasikan material aluminium, baja galvanis, dan baja stainless, serta tebal 1,6 mm dan 1,8 mm. Nilai yang diperoleh dari hasil simulasi stress analysis *chassis* pada pembebanan di bagian atas *roll bar* dan pembebanan di bagian sisi *roll bar* akan dibahas dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 30 dan Gambar 31.



Gambar 30. Perbandingan 3rd *principal stress* terhadap variasi material dan tebal *frame* dengan pembebanan di bagian atas *roll bar*

Dari gambar perbandingan minimal 3rd *principal stress* terhadap variasi material dan tebal *frame* dengan pembebanan di bagian atas *roll bar* (Gambar 30) terdapat nilai minimal 3rd *principal stress* dari *chassis* yang tebal *frame* 1,6 mm yaitu aluminium memiliki nilai 3rd *principal stress* 1740,61 MPa, baja *stainless* memiliki nilai 3rd *principal stress* 37,0051 MPa, dan baja galvanis memiliki nilai 30,60 MPa. Sedangkan pada *chassis* yang tebal *frame* 1,8 mm yaitu aluminium memiliki nilai 3rd *principal stress* 102,907 MPa, baja *stainless* memiliki nilai 3rd *principal stress* 16,045 MPa, dan baja galvanis memiliki nilai 3rd *principal stress* 14,902 MPa berdasarkan data

diatas didapatkan nilai 3rd *principal stress* terbesar pada material aluminium dengan nilai 1740,61 MPa yang tebalnya 1,6 mm dan aluminium yang tebalnya 1,8 mm didapatkan nilai 3rd *principal stress* 102,907 MPa.



Gambar 31. Perbandingan 3rd *principal stress* terhadap variasi material dan tebal *frame* dengan pembebanan di bagian sisi *roll bar*

Dari gambar perbandingan minimal 3rd *principal stress* terhadap variasi material dan tebal *frame* dengan pembebanan di bagian sisi *roll bar* (Gambar 31) terdapat nilai minimal 3rd *principal stress* dari *chassis* yang tebal *frame* 1,6 mm yaitu aluminium memiliki nilai 3rd *principal stress* 952,762 MPa, baja *stainless* memiliki nilai 3rd *principal stress* 97,61 MPa, dan baja galvanis memiliki nilai 64,571 MPa. Sedangkan pada *chassis* yang tebal *frame* 1,8 mm yaitu aluminium memiliki nilai 3rd *principal stress* 126,191 MPa, baja *stainless* memiliki nilai 3rd *principal stress* 60,385 MPa, dan baja galvanis memiliki nilai 3rd *principal stress* 40,789 MPa berdasarkan data diatas didapatkan nilai 3rd *principal stress* terbesar pada material aluminium dengan nilai 952,762 MPa yang tebalnya 1,6 mm dan aluminium yang tebalnya 1,8 mm didapatkan nilai 3rd *principal stress* 126,191 MPa.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan Analisa dari hasil penelitian yang telah dibahas sebelumnya, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Penelitian *roll bar* pada *chassis* kendaraan prototype Unram menggunakan software Autodesk Inventor Professional 2024 dengan memvariasikan material yaitu aluminium, baja stainless, dan baja galvanis serta memvariasikan tebal *frame* yang digunakan yaitu 1,6 mm dan 1,8 mm mempengaruhi hasil simulasi dari *roll bar chassis* seperti nilai *Von Mises stress*, *displacement*, *safety factor*, massa, 1st *principal stress*, dan 3rd *principal stress*.
2. Massa *chassis* prototype Unram bervariasi tergantung pada material dan tebal *frame* yang digunakan. Material aluminium dengan tebal *frame* 1,6 mm dan 1,8 mm memiliki massa yang paling rendah atau paling ringan diantara material lainnya dengan nilai 8,76 kg untuk tebal *frame* 1,6 mm dan 9,74 kg untuk tebal *frame* 1,8 mm. material baja *stainless* dengan tebal *frame* 1,6 mm dan 1,8 mm memiliki massa paling tinggi atau yang terberat dari material lainnya yaitu dengan nilai 25,903 kg untuk tebal *frame* 1,6 mm dan 28,952 kg untuk tebal *frame* 1,8 mm.
3. *Von Mises stress* merupakan parameter penting dalam mengevaluasi tegangan yang terjadi pada struktur *roll bar*. Material aluminium dengan tebal 1,6 mm dan 1,8 mm memiliki nilai *Von Mises stress* dengan pembebanan di bagian atas *roll bar* yang tertinggi dari material lainnya dengan nilai 1110,14 MPa untuk tebal *frame* 1,6 mm dan 1919,5 MPa untuk tebal *frame* 1,8 mm. Material aluminium dengan tebal 1,6 mm dan 1,8 mm memiliki nilai *Von Mises stress* dengan pembebanan di bagian sisi *roll bar* yang tertinggi dari material lainnya dengan nilai 5000,13 MPa untuk tebal *frame* 1,6 mm dan 5134,2 MPa untuk tebal *frame* 1,8 mm
4. *Safety factor* merupakan parameter kunci dalam menilai keamanan struktur terhadap beban yang diberikan. Hasil analisis menunjukkan variasi *safety factor* tergantung pada material dan tebal *frame* yang digunakan. *Safety factor* yang tinggi menandakan tingkat keamanan yang baik, sementara *safety factor* yang rendah perlu mendapat perhatian lebih lanjut untuk mencegah potensi kegagalan struktur.

5. Nilai 1st dan 3rd *principal stress* memberikan informasi mengenai tegangan dominan pada struktur. Material dan tebal *frame* mempengaruhi nilai *principal stress*, dengan material aluminium cenderung memiliki nilai stress yang lebih tinggi dibandingkan dengan baja stainless dan baja galvanis.

UCAPAN TERIMAKASI

Pada kesempatan kali ini saya ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam menyelesaikan skripsi ini. Keberhasilan penulisan ini tidak terlepas dari kontribusi dan dorongan dari berbagai pihak, dan saya ingin menyampaikan apresiasi yang tulus kepada mereka

DAFTAR PUSTAKA

- Adriana, M., B.P. A. A., & Masrianor, M. (2017). Rancang Bangun Rangka (*Chassis*) Mobil Listrik Roda Tiga Kapasitas Satu Orang. *Jurnal Elemen*, 4(2), 129. <https://doi.org/10.34128/je.v4i2.64>
- Arifin, A.S. (2020). Principal stresses and maximum shear. Scribd. <https://www.scribd.com/document/448841361/Principal-Stresses-dan-Maximum-Shear>.
- Ashby, M. F. (2015). "Materials Selection in Mechanical Design." Butterworth-Heinemann.
- Ashby, M. F., & Jones, D. R. H. (2018). "Engineering Materials 1: An Introduction to Properties, Applications, and Design." Elsevier. [ISBN: 978-0-08-102377-5]
- Beer, F. P. (1915). *Statics and mechanics of materials*. The McGraw Hill Companies,.
- Bharane, P., Tanpure, K., Patil, A., & Kerkal, G. (2014). Design, analysis and optimization of anti-roll bar. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 4(9), 137-140.
- Clarke P. (2009). *Space-frame Chassis*. Formula Student Germany. <https://www.formulastudent.de/pr/news/details/article/pats-column-space-frame-chassis/1/>
- Davis, J. R. (1994). "Stainless Steels." ASM International. [ISBN: 978-0-87170-503-8]
- Dettner, A., & Sterckx, R. (2015). "Hot Dip Galvanizing of Steel Structures." Wiley-VCH. [ISBN: 978-3-527-68183-0]
- Dihni V. Z., (2022). "Angka Kecelakaan Lalu Lintas di Indonesia Meningkatkan di 2021". <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/03/24/angka-kecelakaan-lalu-lintas-di-indonesia-meningkat-di-2021-tertinggi-dari-kecelakaan-motor#:~:text=%23Update%20Me%20angka%20kecelakaan%20lalu%20lintas%20di%20Indonesia,tinggi%20dibandingkan%20tahun%202020%20yang%20sebanyak%20100.028%20kasus>
- E.J Lavernia (2023) *Journal of Engineering Materials and Technology, Materials Science and Engineering: A, International Journal of Solids and Structures*
- Ellianto M.S.D. & Nurcahyo Y.E., (2020) Rancang Bangun dan Simulasi Pembebanan Statik pada Sasis Mobil Hemat Energi Kategori *Prototype*.
- Ellianto, M. S. D., & Nurcahyo, Y. E. (2020). Rancang bangun dan simulasi pembebanan statik pada sasis mobil hemat energi kategori *prototype*. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 4(2), 53-58.
- Gehm, Ryan. *Uni-Chassis Concept The Backbone For Unique Vehicle Architecture*. (USA : SAE)
- Hafidz Salafudin, (2016). Analisis Kekuatan Pada Rangka Kendaraan Jenis *Prototype* Sesuai Standar Shell Eco Marathon Asia.
- Huber, M. T., & Huber, R. (2018). "Introduction to Finite Element Analysis: Formulation, Verification and Validation." John Wiley & Sons.
- International, (2011),
- Jones, I. S., & Mills, P. (2015). "Rollover Crash Mechanisms and Injury Outcomes for Restrained Occupants." SAE Technical Paper. [SAE Technical Paper 2015-01-1460]
- Kalagi P. (2022). *Mahindra still betting big on ladder frame vehicles*. Pradyumna Kalagi.
- Kang, K. T., Chun, H. J., Park, J. C., Na, W. J., Hong, H. T., & Hwang, I. H. (2012). Design of a composite roll bar for the improvement of bus rollover crashworthiness. *Composites Part B: Engineering*, 43(4), 1705-1713.
- Lula, R. A. (2002). "Stainless Steel: A Guide to Selection." ASM International. [ISBN: 978-0-87170-503-8]
- Muryatma, N. M. (2018). Hubungan antara faktor keselamatan berkendara dengan perilaku keselamatan berkendara. *Jurnal Promkes*, 5(2), 155.
- Nur Widiyanto, (2015). "Desain dan Analisis Kekuatan pada Rangka Kendaraan Jenis Urban Concept Sesuai Regulasi Kontes Mobil Hemat Energi 2015."
- ood, R. W. (2008). "Rollover Crash Reconstruction." CRC Press. [ISBN: 978-1-4200-5444-5]
- Roberge, P. R. (2008). "Handbook of Corrosion Engineering." McGraw-Hill Education. [ISBN: 978-0-07-146996-1]
- Salafuddin, H. (2016). Desain Dan Analisis Kekuatan Pada Rangka Kendaraan Jenis *Prototype* Sesuai Standar Shell Eco Marathon Asia (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA).
- Shackelford, J. F. (2017). "Introduction to Materials Science for Engineers." Pearson. [ISBN: 978-0-13-382665-4]

- Simscale. (2023). What is *Von Mises stress* ?. <https://www.simscale.com/docs/simwiki/fea-finite-element-analysis/what-is-von-mises-stress/>
- Sintanu, D. E. (2022). Perbandingan Pengelasan Tig Dengan SMAW Terhadap Kekuatan Sambungan Pipa Seamless Untuk *Roll bar*. *Jurnal Syntax Admiration*, 3(6), 854-862.
- Soekardi, S. bin, Shidiq, M. A., Wibowo, A., & ... (2022). Analisa Desain Sasis Kendaraan Gokart. *Engineering ...*, 13(2), 23–32.
- Ukcar. (2017). *Aluminium Space Frame*. Ukcar.Com. <https://www.ukcar.com/features/tech/chassis/Ali.htm>
- Widianto, N. (2016). *Kendaraan Jenis Urban Concept Sesuai Regulasi Kontes Mobil Hemat Energi 2015*.
- Yulianti, R. Y. (2024). Beton Pra-Tegang. https://www.academia.edu/9852088/BAB_XI
PERHITUNGAN_DEFLEKSI_DAN_ESTIMASI_PENAMPANG_PRATEGANG
- Yulianto N & Winarso R., (2020). “Analisa Tegangan Rangka *Prototype* Kendaraan BUGE Menggunakan Metode Elemen Hingga.”
- Yulianto, N., & Winarso, R. (2012). Analisa Tegangan Pada Rangka *Prototype* Kendaraan Buge Menggunakan Elemen Hingga. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 2(1), 10-18.
- Zeng, W., & Liu, G. (2018). Smoothed finite element methods (S-FEM): an overview and recent developments. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 25(2), 397-435.