

DESAIN DAN SIMULASI PEMBEBANAN STATIK SASIS KENDARAAN LISTRIK OTONOM TANPA KEMUDI UNTUK INDIVIDUAL MOBILITY MENGGUNAKAN SOFTWARE SOLIDWORK

Design and Simulation of Static Load on the Chassis of a Driverless Autonomous Electric Vehicle for Individual Mobility Using SolidWorks Software

Ricky Armanda^{1*}, Yovan Witanto¹, Nurul Iman Supardi¹, Yukhi Mustaqim Kusuma Syabanda²

- 1) Program Studi Teknik Mesin Universitas Bengkulu Jl. W.R. Supratman Kandang Limun, Bengkulu
 - 2) Pusat Riset Mekatronika Cerdas, Badan Riset dan Inovasi Nasional Kawasan Sains dan Teknologi Samaun Samadikun, Jl. Sangkuriang, Dago, Kota Bandung 40135
- Email : rickyarmanda0324@gmail.com

ABSTRACT

The chassis or frame is the internal framework that serves as the basis for producing an object, supporting parts such as the engine or electronic components of the object. The chassis can be likened to the skeletal structure of animals. Electric cars are vehicles powered by electrical energy stored in batteries or other energy storage devices. Electric cars were very popular in the late 19th and early 20th centuries, but their popularity waned due to advancements in internal combustion engine technology and the decreasing cost of gasoline-powered vehicles. SolidWorks is a software application based on automation for creating 3D solid models to explore the use of Windows graphics. Using this software is not very difficult, depending on the user's willingness as an engineer to learn it. This software is highly useful in engineering for creating both 3D and 2D models. Additionally, SolidWorks can perform simulations that are highly beneficial for conducting research on machines or materials.

Keywords : Chassis, Electric Car, SolidWorks

1. PENDAHULUAN

Semakin berkembangnya zaman teknologi yang digunakan akan ikut berkembang dari zaman ke zaman dimana teknologi ini membantu meringankan aktivitas manusia di eranya. BRIN terdiri dari beberapa pusat riset salah satunya pusat riset mekatronika cerdas yang melakukan riset di bidang kontrol . Pada pusat riset ini salah satu riset yang sedang berjalan adalah riset mengenai kendaraan otonom dalam ruangan yang dikhususkan untuk lansia dan penyandang disabilitas, yaitu kerangka kendaraan (sasis) [1].

Sasis atau rangka adalah kerangka internal yang menjadi dasar produksi sebuah objek, sebagai penyokong bagian-bagian seperti mesin atau alat elektronik objek tersebut. Sasis dapat dianalogikan dengan kerangka tulang pada binatang. Pada kendaraan bermotor seperti mobil dan kendaraan niaga seperti bus, sasis terdiri dari kerangka bagian bawah mobil, roda, transmisi, sistem suspensi, dan mesin. Pada kendaraan tempur lapis baja, sasis dapat terdiri dari bagian bawah badan kendaraan, termasuk roda rantai, mesin, kursi sopir, dan tempat awak kendaraan [2].

Maka dari itu penulis akan membahas mengenai “Desain dan simulasi sasis kendaraan listrik otonom tanpa kemudi untuk individual mobility menggunakan software Solidwork 2021 “. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis prosedur desain sasis kendaraan listrik otonom tanpa kemudi dan menganalisis prosedur simulasi sasis kendaraan listrik otonom tanpa kemudi untuk mengetahui besar distribusi tegangan von mises stress, displacement dan factor of safety.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sasis

Sasis atau rangka adalah kerangka internal yang menjadi dasar produksi sebuah objek, sebagai penyokong bagian-bagian seperti mesin atau alat elektronik objek tersebut. Sasis dapat dianalogikan dengan kerangka tulang pada binatang. Pada kendaraan bermotor seperti mobil dan kendaraan niaga seperti bus, sasis terdiri dari kerangka bagian bawah mobil, roda, transmisi, sistem suspensi, dan mesin [3]

2.2 Teori Kegagalan Struktur

Kegagalan pada sebuah struktur dapat terjadi dalam beberapa wujud seperti yielding, retak, patah, korosi, aus. Teori kegagalan statik dalam perkembangannya dibedakan menjadi dua kategori, yaitu teori kegagalan untuk material ulet (*ductile*) dan teori kegagalan statik untuk material getas (*brittle*). Pada material getas, teori kegagalan biasanya menggunakan teori tegangan normal maksimum dan teori Mohr-Coulomb. Teori tegangan maksimum menyatakan material getas mengalami kegagalan ketika tegangan prinsip maksimum (*maximum*

principal stress) melebihi kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) material. Sedangkan teori Mohr-Coulomb memprediksi kegagalan material getas dengan membandingkan tegangan prinsip maksimum dengan kekuatan tarik maksimum dan tegangan prinsip minimum dengan kekuatan tekan maksimum (*ultimate compressive strength*). Namun, pada material ulet seperti Aluminium paduan yang berlaku beban tiga dimensi, tegangan kompleks bakal terjadi, yang berarti bahwa pada setiap titik di dalam benda ada tekanan yang bekerja dalam berbagai arah. Berdasarkan teori energi distorsi, kegagalan material ulet terjadi ketika tegangan von Mises maksimum melebihi kekuatan luluh material (*yield strength*). Kriteria von Mises menunjukkan material ulet mengalami luluh ketika invariant kedua tegangan deviatoric mencapai nilai kritis. Teori von Mises merupakan teori plastisitas yang berlaku paling baik untuk bahan ulet, terutama untuk material logam [4].

2.1.1 Teori Tegangan Normal Maksimum

Untuk tegangan normal maksimum (σ_{max}) keadaan suatu material dikatakan gagal jika ada suatu pembebanan sama atau lebih besar dibandingkan tegangan normal maksimum (σ_{yp}).

$$\sigma_{max} \geq \sigma_{yp} \quad (1)$$

Secara umum teori tegangan maksimum dapat ditunjukkan seperti persamaan berikut ini. Kegagalan akan terjadi apabila tegangan normal maksimum akibat pembebanan lebih besar dari kekuatan luluh (*yield point*).

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2)$$

$$SF = \frac{\sigma_{yp}}{\sigma_{max}} \quad (3)$$

di mana :

σ_x = Tegangan arah x
 σ_y = Tegangan arah y
 σ_{yp} = Kekuatan luluh (yield point)
 τ_{xy} = Tegangan geser arah xy
 SF = Safety factor

2.2.2 Teori Tegangan Geser Maksimum

Teori tegangan geser maksimum (τ_{max}) sering digunakan pada material yang bersifat ulet. Besarnya nilai tegangan geser maksimum adalah setengah dari nilai tegangan normal maksimum. Kriteria kegagalan suatu material dengan pembebanan dengan τ_{max} .

$$\tau_{max} \geq 0.5 \sigma_{yp} \quad (4)$$

Secara umum untuk teori tegangan geser maksimum ditunjukkan pada persamaan berikut ini. Kegagalan akan terjadi apabila tegangan normal maksimum akibat pembebanan lebih besar dari kekuatan luluh (*yield point*).

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (5)$$

$$SF = \frac{0.5 \sigma_{yp}}{\tau_{max}} \quad (6)$$

2.2.3 Teori Distorsi Energi (von Mises)

Tegangan von Mises adalah tegangan tarik yang dapat menghasilkan energi distorsi di mana tegangan yang dihasilkan merupakan kombinasi dari tegangan yang bekerja. Kriteria kegagalan pada struktur jika adanya pembebanan dengan σ' .

$$\sigma' \geq \sigma_{yp} \quad (7)$$

Berikut merupakan persamaan tegangan von Mises untuk struktur tiga dimensi.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_y)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}{2}} \quad (8)$$

di mana:

τ_{xy} = Tegangan geser arah xy
 σ_z = Tegangan arah z

τ_{yz} = Tegangan geser arah yz
 τ_{zx} = Tegangan geser arah zx

Sedangkan untuk struktur dua dimensi menggunakan persamaan berikut ini.

$$\sigma' = \sqrt{\frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}{2}} \quad (9)$$

$$SF = \frac{\sigma_{yp}}{\sigma'} \quad (10)$$

2.2.4 Ratio Tegangan Per Massa (Stress Specific)

Output yang dikeluarkan dari hasil simulasi adalah distribusi dan besaran tegangan yang terjadi pada struktur sasis. Dari distribusi dan besaran tegangan tersebut dianalisis kekuatannya dari segi material, apakah masih dalam batas aman kriteria yield atau tidak. Struktur sasis akan di analisis menggunakan kriteria kegagalan yaitu menggunakan teori kegagalan von Mises. Sedangkan ratio tegangan per massa ialah tegangan yang terjadi pada struktur sasis dibagi dengan massa total geometri sasis. Ketika suatu struktur mengalami tegangan maka secara tidak langsung struktur tersebut juga mengalami perubahan bentuk atau biasa disebut sebagai deformasi. Penggunaan teori kegagalan yang ada disesuaikan dengan material yang dipakai. Untuk material getas teori tegangan normal maksimum lebih efektif digunakan. Sedangkan untuk material ulet tegangan geser dan teori von Mises lebih efektif digunakan.

2.2.5 Safety Of Factor

Nilai faktor keamanan atau *safety factor* dari setiap desain konstruksi dalam suatu komponen mesin berbeda-beda. Pada zaman dahulu nilai faktor keamanan belum mempertimbangkan faktor-faktor yang detail sehingga faktor keamanan nilainya cukup besar yaitu antara 20 hingga 30. Seiring dengan kemajuan teknologi, faktor keamanan dalam desain harus mempertimbangkan hampir semua faktor yang mungkin meningkatkan terjadinya kegagalan, sehingga nilai factor keamanannya tidak sebesar dulu. Berikut merupakan nilai faktor keamanan untuk beberapa konstruksi mesin yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 Nilai Faktor Keamanan Konstruksi Mesin.

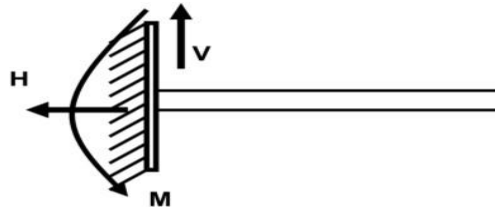
NO.	Equipment	Factor of Safety (FOS)
1	Aircraft components	1.5 - 2.5
2	Boilers	3.5 - 6
3	Bolts	8.5
4	Cast-iron wheels	20
5	Engine components	6 - 8
6	Heavy duty shafting	10 - 12
7	Lifting equipment - hooks ..	8 - 9
8	Pressure vessels	3.5 - 6
9	Turbine components - static	6 - 8
10	Turbine components - rotating	2 - 3
11	Spring, large heavy-duty	4.5
12	Structural steel work in buildings	4 - 6
13	Structural steel work in bridges	5 - 7
14	Wire ropes	8- 9

2.3 Jenis Tumpuan

Tumpuan merupakan kondisi batas pada struktur jenis tumpuan yang dapat menahan gaya ke dalam beberapa arah sesuai dengan jenis tumpuan.

1. Tumpuan *fixed*/Jepit

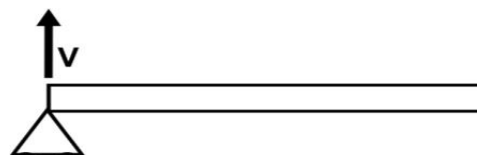
Merupakan tumpuan yang dapat menahan gaya ke segala. Dengan demikian tumpuan jepit mempunyai tiga reaksi yaitu reaksi vertikal RV, reaksi horizontal RH, dan reaksi momen RM. Tumpuan Fixed/Jepit dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Tumpuan Fixed / Jepit

2. Tumpuan roll

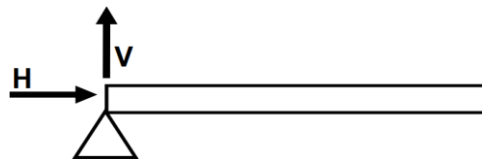
Tumpuan Rol adalah tumpuan yang hanya dapat menahan gaya bekerja tegak lurus (vertikal) dan tidak dapat menahan momen. Tumpuan rol hanya mempunyai satu reaksi tegak lurus dengan R_V . Tumpuan roll dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Tumpuan roll

3. Tumpuan pin

Tumpuan pin adalah tumpuan yang dapat menerima gaya dari segala arah, akan tetapi tidak mampu menahan momen. Tumpuan pin mempunyai satu reaksi vertikal R_V dan reaksi horizontal R_H . Tumpuan pin dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3 Tumpuan pin

2.4 SolidWork 2021

SolidWorks adalah salah satu software perangkat lunak berbasis otomatisasi dalam pembuatan model solid 3D untuk mempelajari penggunaan grafis windows, penggunaan software ini tidak begitu sulit tergantung keinginan kita sebagai engineering untuk mempelajarinya. Software ini sangat berguna dalam bidang keteknikan untuk membuat model 3D maupun 2D, selain itu software ini juga dapat melakukan simulasi yang sangat berguna untuk melakukan penelitian terhadap suatu mesin maupun material [1].

Berikut tahapan-tahapan yang dilakukan saat melakukan proses simulasi menggunakan *solidwork*, meliputi : mendesain sasis kendaraan listrik otonom, memasukkan data spesifikasi sasis kendaraan listrik otonom, menentukan material yang digunakan, dan melakukan prosedur simulasi. Prosedur simulasi sasis kendaraan listrik otonom ini sebagai berikut :

A. *Pre processing*

Merupakan tahapan awal proses penyelesaian simulasi pembebanan statik kendaraan listrik otonom yang meliputi proses pembuatan 3D model, menentukan jenis material, penentuan tumpuan, dan pembebanan yang diberikan kemudian dilanjutkan dengan meshing.

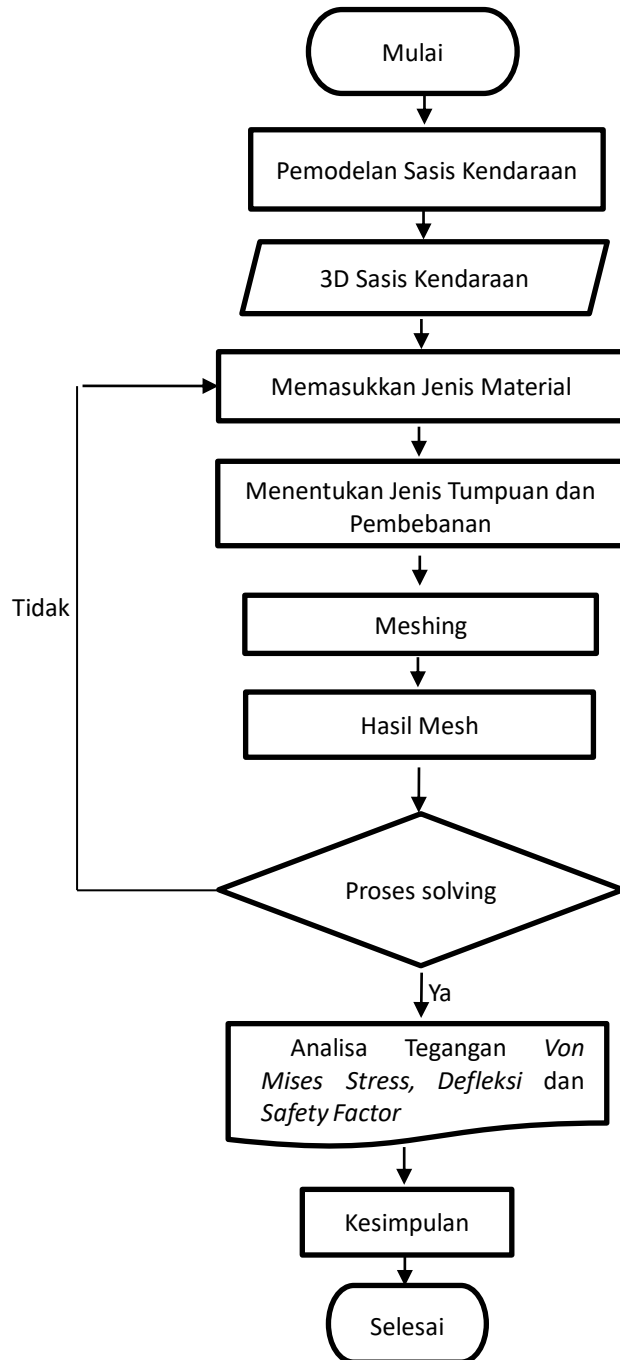
B. *Post Processing*

Post processing merupakan proses simulasi dari penyelesaian yang menampilkan hasil simulasi dari sasis kendaraan listrik otonom. Hasil simulasi dari post processing berupa nilai tegangan *von Mises*, deformasi (*displacement*), serta *safety factor* dari sasis kendaraan listrik otonom.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Simulasi

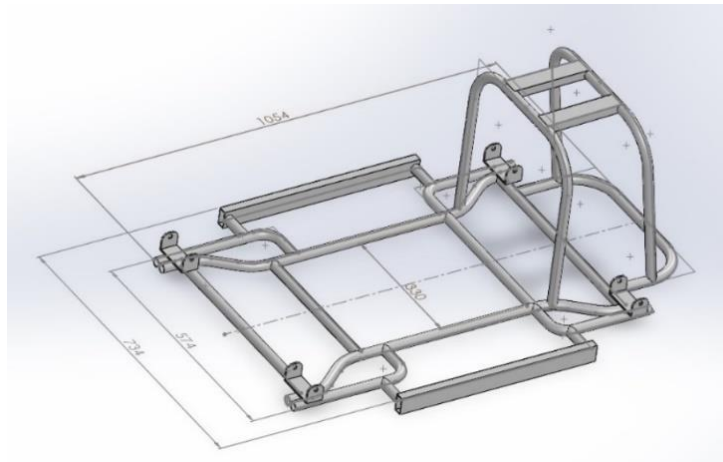
Diagram alir simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Simulasi

3.3 Desain Kendaraan Listrik otonom

Sasis kendaraan yang didesain menggunakan Software Solidwork ini merupakan hasil yang telah diukur pada bagian sasis kendaraan listrik otonom tersebut. Sasis kendaraan listrik otonom yang disimulasi terdiri dari panjang 1054 mm, lebar 734 mm dan tinggi 400 mm dengan ukuran tersebut kendaraan memiliki bentuk yang minimalis tidak memakan banyak tempat memungkinkan kendaraan dapat digunakan didalam ruangan maupun luar ruangan dengan lahan yang sempit contohnya di bandara.



Gambar 5 Desain Kendaraan Listrik otonom

3.4 Material Sasis Kendaraan Listrik otonom

Pipa besi seamless adalah pipa tanpa dijahit atau tanpa dilas atau juga tanpa sambungan. Salah satu keunggulan utama pipa seamless adalah kemampuannya untuk tahan terhadap tekanan dan korosi. Pipa seamless terbuat dari baja paduan atau baja karbon berkualitas tinggi, sehingga mampu menahan tekanan eksternal yang tinggi tanpa retak atau bocor.

Tabel 2 Spesifikasi Material *Seamless Steel* ASTM

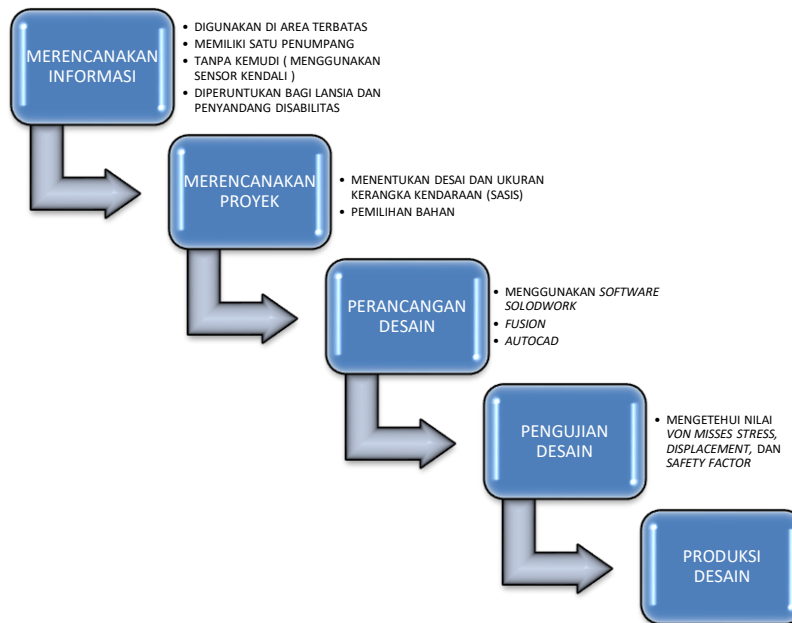
<i>Properties</i>	Nilai	Satuan
<i>Elastic Modulus</i>	215.000	MPa
<i>Poisson's Ratio</i>	0.29	N/A
<i>Shear Modulus</i>	80.000	MPa
<i>Mass Density</i>	0,000785	kg/m ³
<i>Tensile Strength</i>	330	MPa
<i>Specific Heat</i>	461	J/(kg·K)
<i>Yield strength</i>	205	MPa
<i>Thermal Conductivity</i>	51	W/(m·K)

Pada metode penelitian harus dituliskan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, batasan atau tetapan dan variabel variabel apa yang akan diteliti, sedangkan prosedur penelitian tidak perlu dimasukkan. Peralatan diusahakan ada spesifikasinya, akurasi dan resolusinya. Gambar alat penelitian juga harus dijelaskan se jelas jelasnya sehingga pembaca mudah memahaminya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Analisis Prosedur Desain Kendaraan Listrik otonom Tanpa kemudi

Hasil analisis prosedur desain kendaraan otonom tanpa kemudi hal pertama yang dilakukan ialah Merencanakan informasai tentang kendaraan dimana kendaraan ini di rancang untuk digunakan pada area terbatas, hanya untuk satu penumpang, tidak menggunakan kemudi/stir (menggunakan sensor kendali). Kemudian Merencanakan Proyek yaitu Menentukan desain dan ukuran kerangka kendaraan (sasis) dan melakukan pemilihan bahan yang untuk pembuatan kerangka kendaraan dimana bahan yang digunakan memiliki spesifikasi yang di butuhkan untuk pembuatan kendaraan. Lalu melakukan perancangan desain dengan menggunakan *software Solidwork* adapun beberapa *software* yang bisa digunakan yaitu *Fusion* dan juga *Autocad* . Kemudian dilanjutkan dengan pengujian desain untuk mengetahui Nilai *Von Misses Stres*, *Displacement*, dan *safety factor* setelah semua telah memenuhi syarat pembuatan kerangka kendaraan dilakukan produksi atau pembuatan kerangka kendaraan.

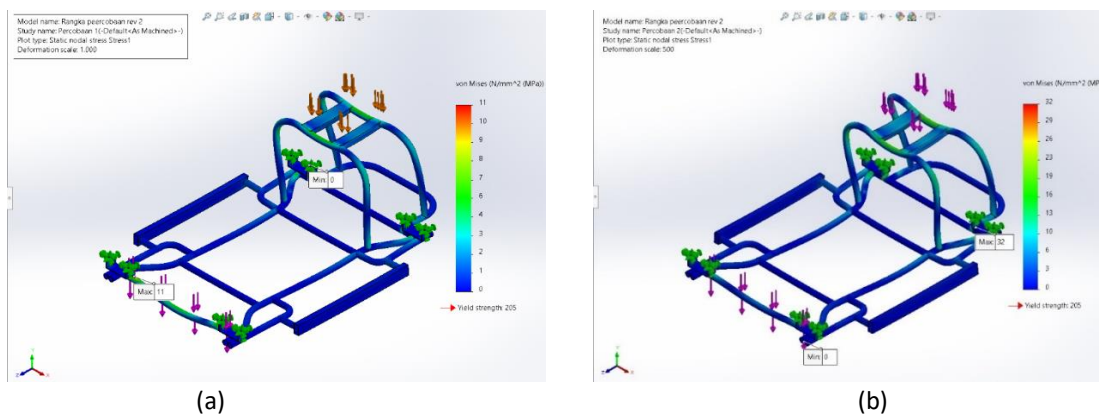


Gambar 6 Tahapan analisis prosedur desain kendaraan otonom tanpa

4.2 Hasil Simulasi Pembebanan Statik Pada Sasis

4.2.1 Hasil Uji Von mises stress

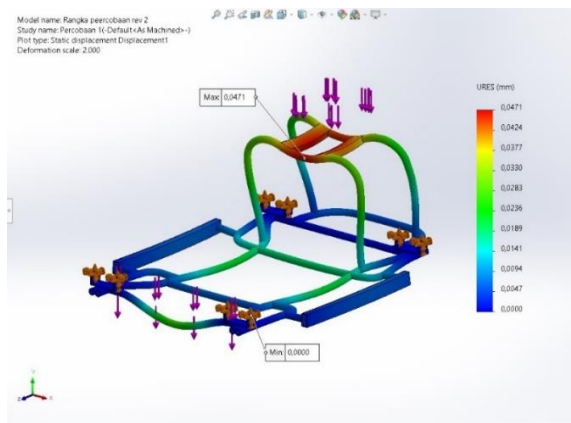
Pada sasis dilakukan analisis von mises stress dengan 2 variasi pembebanan yaitu, pembebanan tanpa penumpang sebesar 250 N pada bagian depan sasis dan 250 N pada tempat duduk, pembebanan dengan penumpang sebesar 250 N pada bagian depan sasis dan 850 N pada tempat duduk. Pembebanan pertama didapatkan hasil tegangan maksimal sebesar 11 MPa sedangkan tegangan minimum sebesar 0 MPa. Sedangkan pembebanan kedua didapatkan hasil tegangan maksimal sebesar 32 MPa sedangkan tegangan minimum sebesar 0 Mpa. Hasil simulasi distribusi tegangan von mises stress dapat dilihat pada Gambar 7.



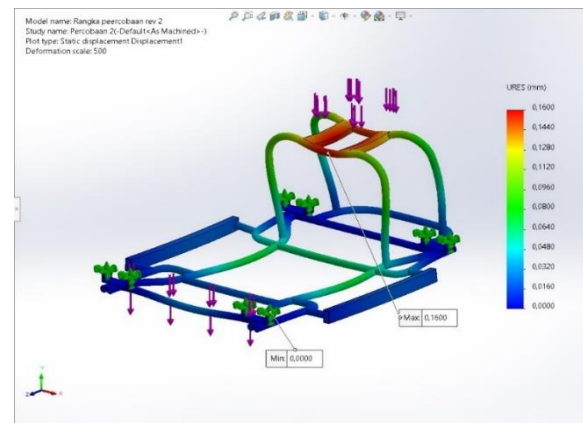
Gambar 7 (a) Hasil *Von mises stress* pertama
(b) Hasil *Von mises stress* kedua

4.2.2 Hasil Uji Displacement

Pada analisis Displacement dengan 2 variasi pembebanan yaitu, pembebanan tanpa penumpang sebesar 250 N pada bagian depan sasis dan 250 N pada tempat duduk, pembebanan dengan penumpang sebesar 250 N pada bagian depan sasis dan 850 N pada tempat duduk. Pembebanan pertama didapatkan hasil displacement maksimum yaitu sebesar 0.0471 mm pada warna merah dan displacement minimum sebesar 0 mm yang ditunjukkan dengan warna biru. Sedangkan pembebanan kedua didapatkan hasil displacement maksimum yaitu sebesar 0.16 mm pada warna merah dan displacement minimum sebesar 0 mm yang ditunjukkan dengan warna biru. Dapat dilihat pada Gambar 8.



(a)

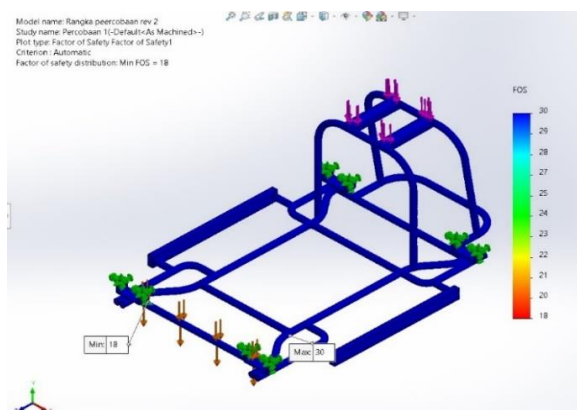


(b)

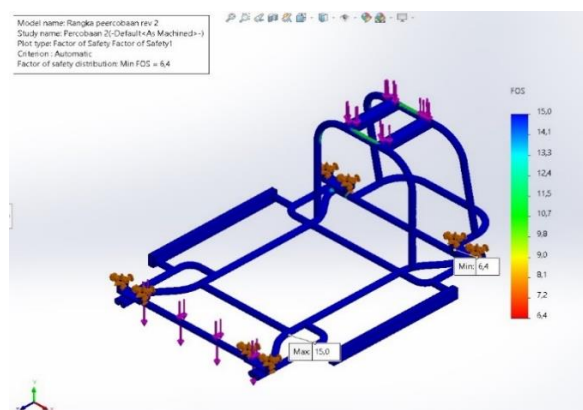
Gambar 8 (a) Hasil Displacement pembebanan pertama
(b) Hasil Displacement pembebanan kedua

4.2.3 Safety Of Factor

Ada juga yang perlu diperhatikan dalam desain rangka adalah faktor keamanan, Keamanan suatu desain dapat dilihat dengan suatu angka yang disebut faktor keamanan atau *safety factor* (SF). Simulasi selanjutnya pada struktur rangka atau sasis adalah angka keamanan (*safety factor*) pada pembebanan pertama. Pada Gambar 4.10, terlihat *safety factor* minimal 18. Simulasi selanjutnya pada struktur rangka atau sasis adalah angka keamanan (*safety factor*) pada pembebanan kedua. Pada Gambar 4, terlihat *safety factor* minimal 6,4 dapat dilihat pada Gambar 9.



(a)



(b)

Gambar 9 (a) Hasil *safety factor* pembebanan pertama
(b) Hasil *safety factor* pembebanan kedua

4.2 Pembahasan

Sasis adalah merupakan satu bagian dari kendaraan, atau dengan kata lain adalah bagian yang tinggal bila bodi mobil dilepaskan keseluruhannya. Pada penelitian kali ini dilakukan agar sasis kendaraan listrik yang sudah dibuat agar dapat mengetahui kekuatan pembebanan statik sasis kendaraan listrik otonom dengan memperoleh nilai dari *von misses stress*, *displacement*, dan *safety factor*.

Prosedur desain kendaraan otonom tanpa kemudi hal pertama yang dilakukan ialah merencanakan informasai tentang kendaraan dimana kendaraan ini di rancang untuk digunakan pada area terbatas, hanya untuk satu penumpang, tidak menggunakan kemudi/stir (menggunakan sensor kendali). Kemudian menentukan desain serta ukuran kerangka kendaraan (sasis) dan melakukan pemilihan bahan yang untuk pembuatan kerangka kendaraan dimana bahan yang digunakan memiliki spesifikasi yang di butuhkan untuk pembuatan kendaraan. Selanjutnya melakukan perancangan desain dengan menggunakan software Solidwork. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian desain untuk mengetahui nilai *von misses stres*, *displacement*, dan *safety factor* setelah semua telah memenuhi syarat pembuatan kerangka kendaraan dilakukan produksi atau pembuatan kerangka kendaraan.

Proses pembuatan desain sasis kendaraan listrik otonom dilakukan dengan menggunakan software

SolidWork yang memungkinkan perancangan dan analisis yang presisi. Desain ini dibuat sedemikian rupa dengan menimbang beberapa aspek yaitu kendaraan dibuat untuk satu penumpang dan kendaraan tidak menggunakan kemudi atau setir. Dalam penelitian ini, material yang digunakan adalah *seamless steel pipe* ASTM A53, yang dikenal karena kekuatan dan ketahanannya. Dimensi keseluruhan rangka sasis dirancang berdasarkan hasil pengukuran lapangan, dengan ukuran panjang 1054 mm, lebar 734 mm, dan tinggi 400 mm dengan ukuran tersebut kendaraan memiliki bentuk yang minimalis tidak memakan banyak tempat memungkinkan kendaraan dapat digunakan didalam ruangan maupun luar ruangan dengan lahan yang sempit contohnya di bandara.

Setelah didapatkan hasil desain sasis maka dilakukan simulasi dengan tujuan dapat mengetahui kekuatan pembebanan statik sasis kendaraan listrik otonom dengan memperoleh nilai dari von mises stress, displacement, dan *safety factor*. Pada pengujian *von mises stress* didapatkan hasil tegangan maksimal pada tiap pembebanan sebesar 11 MPa dan 32 MPa. Tegangan paling tinggi terdapat pada penyangga dudukan atas, sedangkan tegangan minimum terdapat pada rangka penyangga dudukan bawah sebesar 0 MPa.

Pengujian selanjutnya ialah mencari nilai displacement dimana pada hasil didapatkan bidang yang warna biru merupakan displacement minimum, sedangkan bidang warna merah merupakan displacement maksimum. Displacement maksimum tiap pembebanan yaitu sebesar 0,0471 mm dan 0,16 mm pada warna merah dan displacement minimum sebesar 0 mm yang ditunjukkan dengan warna biru. Displacement maksimum ini terjadi di bagian atas tempat duduk. Terakhir dilakukan pengujian *safety factor* dimana didapatkan hasil *safety factor* pembebanan pertama minimal 18 dan pada pembebanan kedua minimal *safety factor* sebesar 6,4. Hal ini terjadi karena bagian tersebut hampir tidak terdistribusi oleh tegangan secara langsung.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diketahui desain dan simulasi kerangka kendaraan listrik otonom menggunakan software Solidwork 2021. Dari hasil simulasi yang dilakukan pada desain kendaraan listrik otonom diketahui bahwa kerangka tersebut dinyatakan aman untuk digunakan sebagai sasis/kerangka penyangga komponen dari kendaraan Listrik otonom.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Organisasi Riset BRIN Badan Riset dan Inovasi Nasional. [https://indo.wiki/content/Badan Riset dan Inovasi Nasional/Organisasi Riset BRIN.html](https://indo.wiki/content/Badan_Riset_dan_Inovasi_Nasional/Organisasi_Riset_BRIN.html). Diakses 15 Mei 2024.
- [2] Sperling, Daniel and Deborah Gordon, 2009. Two billion cars: driving toward sustainability. Oxford University Press, New York. hlm. 22–26. ISBN 978-0-19-537664-7.
- [3] Khandpur, R. S. 2006. *Troubleshooting Electronic Equipment*. McGraw-Hill Professional. hlm. 45. ISBN 978-0-07-147731-4. Diakses tanggal 10 September 2010.
- [4] Beer, F. P. and Johnston, E. R. 2015. Vector Mechanics For Engineers: Statics and Dynamics. McGraw-Hill
- [5] A. Al-Jauhari, 2021. Buku pelatihan solidworks, Vol. 44, No. 1.