JURNAL Foundry
Media Informasi Teknologi Pengecoran Logam

Vol. 6 no. 2 2023
p-ISSN : 2087 – 2259
e-ISSN : 2252 – 7117

OPTIMASI KETEBALAN STRUKTUR *CHASSIS* SEMI-*MONOCOQUE* BUS LISTRIK MENGGUNAKAN *STATIC STRUCTURAL ANALYSIS*

Yusuf Kafi[1*], Nani Mulyaningsih[1], Sri Hastuti[1]
[1]Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tidar
[*]Corresponding author: yusufkafi000@gmail.com

Diterima: 19 Juni 2023 Direvisi: 18 Juli 2023 Disetujui: 30 Juli 2023 Terbit online: 30 Juli 2023

ABSTRAK

Chassis merupakan suatu kerangka yang menopang seluruh komponen diatasnya, sehingga *chassis* harus kuat dan massanya kecil (ringan). *Chassis* tipe semi-*monocoque* merupakan tipe *chassis* yang dirancang untuk meminimalisir kekurangan dan memaksimalkan kelebihan dari kedua tipe *chassis* sebelumnya yaitu tipe *ladder* dan *monocoque*. Namun pada pengembangan bus listrik menggunakan *chassis* tipe semi-*monocoque* masih terdapat permasalahan yaitu kelebihan massa pada strukturnya, sehingga dapat menurunkan nilai efisiensi pada kendaraan secara keseluruhan. Oleh karena itu, untuk mengurangi massa struktur pada *chassis* dapat dilakukan optimasi ukuran salah satunya pada ukuran tebal profil *chassis* kendaraan. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis pengaruh variasi tebal profil *chassis* semi-*monocoque* bus listrik terhadap kekuatan tekan struktur. Penelitian ini dilakukan dengan metode optimasi ukuran pada ketebalan profil *chassis* dengan variasi ketebalan profil 4,5 mm, 4 mm, dan 3,5 mm menggunakan material *stainless steel 201* dan dengan parameter kekuatan yaitu nilai tegangan maksimal, *displacement*, dan *safety factor*. Proses simulasi dilakukan pada kondisi statis menggunakan beban vertikal dengan bantuan *software* ANSYS R1 2022. Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa struktur *chassis* semi-*monocoque* dengan ketebalan 4 mm dalam kondisi optimum. Kekuatan tekan struktur ketebalan tersebut masih dalam keadaan aman dengan parameter tegangan maksimal sebesar 179,33 MPa, *displacement* sebesar 1,66 mm, dan *safety factor* sebesar 1,63. Hasil penelitian ini berhasil menurunkan massa *chassis* semi-*monocoque* bus listrik sebesar 10,01% dari massa awal 325,6 kg menjadi 293 kg.

Kata kunci: Simulasi statis; pembebanan vertikal; *chassis* semi-*monocoque*; optimasi ukuran

ABSTRACT

Chassis is a framework that supports all the components above it, so the chassis must be strong and small in mass (light). The semi-monocoque type chassis is a type of chassis designed to minimise the shortcomings and maximise the advantages of the two previous chassis types, namely ladder and monocoque types. In the development of electric buses using semi-monocoque type chassis, there are still problems, namely excess mass in the structure so that it can reduce the efficiency value of the vehicle as a whole. Therefore, to reduce the mass of the structure on the chassis, size optimisation can be carried out, one of which is the thick size of the vehicle chassis profile. The purpose of this study is to analyse the effect of variations in the thickness of the semi-monocoque electric bus chassis profile on the compressive strength of the structure. This research was conducted with a size optimisation method on the chassis profile thickness with profile thickness variations of 4.5 mm, 4 mm, and 3.5 mm using stainless steel 201 material and with strength parameters namely maximum stress value, displacement, and safety factor. The

simulation process is carried out under static conditions using vertical loads with the help of ANSYS R1 2022 software. This study found that the semi-monocoque chassis structure with a thickness of 4 mm is in optimum condition. The compressive strength of the structure of the thickness is still in a safe state with maximum stress parameters of 179.33 MPa, displacement of 1.66 mm, and safety factor of 1.63. The results of this study successfully reduced the mass of the semi-monocoque electric bus chassis by 10.01% from the initial mass of 325.6 kg to 293 kg.

Keywords: Static simulation; vertical loading; semi-monocoque chassis; size optimization

1. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk dari waktu ke waktu mengalami peningkatan, sehingga mengakibatkan kepadatan penduduk terutama pada wilayah urban di Indonesia. Kepadatan penduduk tersebut dapat mengakibatkan banyak permasalahan salah satunya yaitu kemacetan lalu lintas. Berdasarkan Badan Pusat Statistik menunjukkan data peningkatan jumlah peredaran mobil penumpang di Indonesia sebesar 0,25% dari tahun 2015 ke tahun 2021 [1]. Salah satu cara untuk mengurangi kemacetan lalu lintas akibat banyaknya peredaran kendaraan pribadi adalah dengan beralih menggunakan transportasi bus. Namun, bus saat ini masih menggunakan bahan bakar fosil yang menghasilkan emisi gas buang berakibat terjadinya polusi udara [2]. Kendaraan listrik dapat dijadikan sebagai solusi alternatif untuk mengatasi permasalahan krisis energi dan lingkungan, karena sifat dari kendaraan listrik tidak menghasilkan emisi gas buang yang mengakibatkan terjadinya polusi udara.

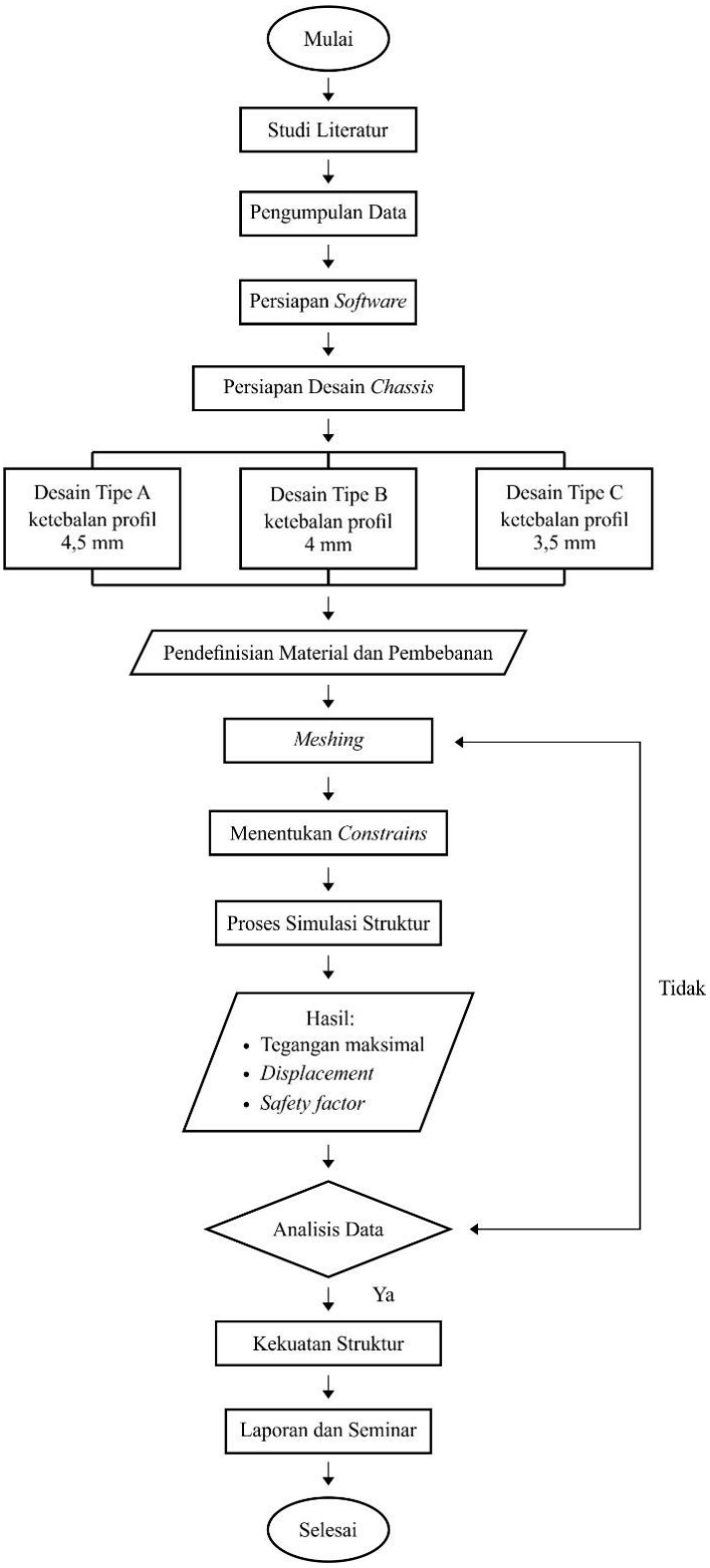
Pada pengembangan bus listrik memerlukan sebuah kerangka *chassis* yang kuat, karena memiliki fungsi untuk menopang tubuh dan bagian kendaraan lainnya. Kerangka *chassis* harus kuat menopang beban yang berat dan harus cukup kaku untuk menahan kejutan, *twist*, getaran, serta tekanan lainnya [3]. *Chassis* merupakan salah satu struktur dari *carbody* bus dengan beragam jenis struktur yang disesuaikan terhadap kegunaan kendaraan. Jenis *chassis* yang sering dijumpai yaitu tipe *ladder* dan *monocoque*. *Chassis* tipe *ladder* memiliki kelebihan dalam proses desain yang lebih mudah, cocok untuk kendaraan berat, dan mudah dilakukan reparasi. Namun, *chassis* memiliki kekurangan yaitu mudah terguling dan struktur lebih berat yang dapat berpengaruh pada efisiensi kendaraan. Sedangkan *chassis* tipe *monocoque* dikenal memiliki massa yang kecil (ringan), *handling* lembut, dan *ground clearance* lebih rendah. Namun, kekurangan dari tipe ini adalah sulit untuk dilakukan reparasi dan sulit dilakukan perombakan, karena strukturnya yang kompleks [4]. Untuk meminimalisir kekurangan dan memaksimalkan kelebihan dari 2 tipe *chassis* tersebut dibuatlah inovasi baru terhadap struktur rangka dari *chassis*, yaitu tipe semi-*monocoque*.

Dalam produksi bus menggunakan *chassis* semi-*monocoque* masih terdapat permasalahan yaitu kelebihan massa pada struktur *carbody*. Pengurangan massa *carbody* dapat dilakukan dengan optimasi ukuran salah satunya pada *chassis* kendaraan. Optimasi ukuran pernah dilakukan pada penelitian sebelumnya dengan mengurangi ketebalan profil pada *chassis* tipe *ladder* dengan setiap variasi ketebalan diberikan batasan atas dan batasan bawah. Hasil penelitian dapat mereduksi massa sebesar 4,25% dengan struktur *chassis* yang masih kuat dan aman yang diketahui dari hasil nilai tegangan maksimal masih dibawah tegangan luluh material yang diterapkan, nilai *displacement*, dan *safety factor* [5]. Oleh karena itu, akan dilakukan analisis struktur pada *chassis* semi-*monocoque* dengan variasi ketebalan profil. Hal ini dilakukan dengan tujuan agar massa dari *chassis* dapat berkurang dan diharapkan masih memiliki struktur yang kuat dan aman.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimen dengan cara melakukan *static structural analysis* dengan variasi ketebalan profil yaitu 4,5 mm, 4 mm, dan 3,5 mm yang kemudian dicari kondisi optimum dari desain *chassis* dengan mempertimbangkan kekuatan dan massa dari *chassis* semi-*monocoque*. Parameter yang digunakan adalah tegangan maksimal, *displacement*, dan *safety factor*. *Software* yang digunakan pada penelitian ini adalah *Computer Aided Design (CAD)* versi 2020

untuk pembuatan desain. Sedangkan proses simulasi menggunakan *ANSYS R1 2022*. Alur penelitian dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir

Material yang diterapkan pada perancangan *chassis* menggunakan material *stainless steel 201*. Material ini memiliki keunggulan diantaranya adalah tahan karat, ketahanan akan noda, tahan karat/korosi, kekuatan yang tinggi, dan tahan terhadap benturan [6]. Spesifikasi kekuatan material *stainless steel 201* ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi kekuatan material *stainless steel 201*

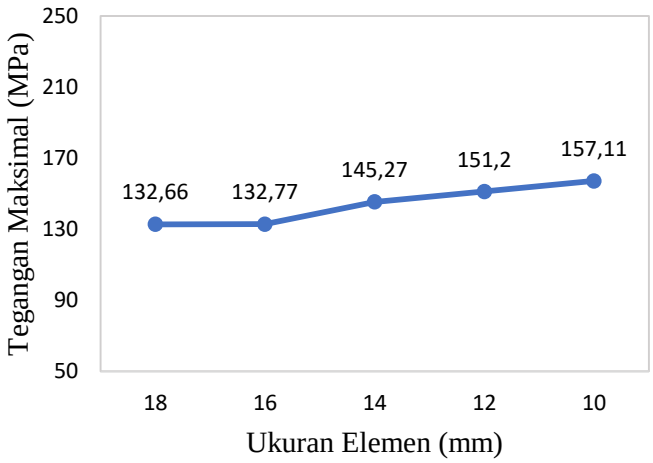
Density	7,76 g/cm^3
Young's Modulus	200 GPa
Poisson's Ratio	0,27
Yield Strength	292 MPa
Ultimate Tensile Strength	685 MPa
Elongation	56 %

Simulasi dilakukan dengan asumsi kendaraan dalam kondisi diam. Alur simulasi dibagi menjadi 6 tahap sebagai berikut:

1. Melakukan *input* material properti pada *engineering data*
2. Melakukan *input* geometri kedalam *ANSYS SpaceClaim* dan geometrinya disederhanakan agar lebih mudah untuk disimulasi, salah satunya dengan menghilangkan bagian bagian yang melengkung.
3. Melakukan permodelan dengan mendefinisikan material pada setiap *part*, membuat sistem koordinat baru, memastikan koneksi setiap *part*, dan melakukan uji konvergensi dan *mesh quality*. Uji konvergensi *mesh* dilakukan untuk memastikan kualitas mesh dalam kondisi baik. Adapun kandidat ukuran elemen yang di uji adalah 18, 16, 14, 12, 10 dengan satuan milimeter. Tabel 2 menunjukkan hasil uji konvergensi *mesh* dan gambar 2 merupakan grafik hasil uji konvergensi *mesh*.

Tabel 2. Hasil uji konvergensi mesh

Ukuran Elemen (mm)	**Tegangan Maksimal (MPa)**	***Skewness Average***
18	132,66	0,82
16	132,77	0,79
14	145,27	0,83
12	151,2	0,81
10	157,11	0,76



Gambar 2. Grafik uji konvergensi *mesh*

Kualitas *mesh* semakin baik, jika perbedaan hasil tegangan masih dapat diterima dan nilai *skewness* dibawah 0,80 [7]. Berdasarkan hasil tegangan maskimal tidak memiliki selisih yang

tinggi dan pada ukuran elemen yang memiliki nilai *skewness* terkecil adalah 10 mm yaitu sebesar 0,76. Oleh karena itu, ukuran elemen 10 mm digunakan pada proses penelitian ini.

4. Melakukan setup pembebanan yang berasal dari komponen bus listrik medium dengan total massa 5138 kg dan titik support diletakkan pada *leaf spring* dan dudukan *axle frame*. Pembebanan dilakukan searah sumbu Z negatif, dengan asumsi percepatan gravitasi sebesar 9,81 m/s^2.
5. Proses *solution and result*, digunakan untuk memilih solusi yang ingin dihasilkan dari simulasi. Pada simulasi pembebanan vertikal ini, keluaran yang dihasilkan dari simulasi adalah tegangan maksimal, *displacement*, dan *safety factor*.

Kondisi optimum dari desain *chassis* semi-*monocoque* dengan variasi ketebalan dipilih berdasarkan parameter kekuatan yang dihasilkan dan massa dari struktur. Parameter kekuatan yang digunakan adalah tegangan maksimal harus dibawah tegangan luluh material berdasarkan teori *von misses* [8], *displacement*, dan *safety factor*. Suatu struktur dalam kondisi optimum apabila massa dari struktur kecil namun kekuatannya masih dalam kondisi aman.

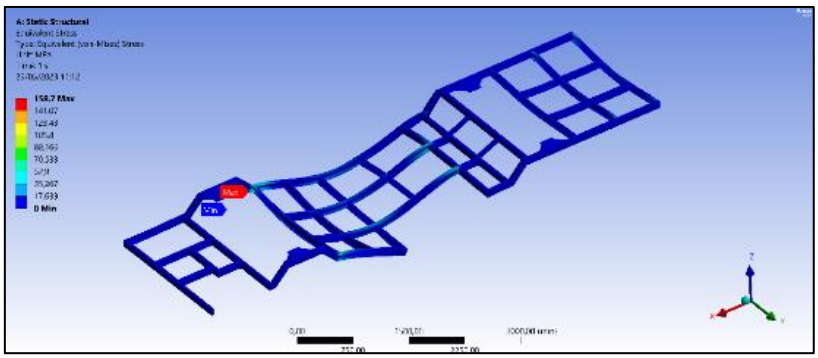
$$\sigma' \geq S_y \quad \text{..... (1)}$$

Keterangan
σ' = *von mises stress* (MPa)
S_y = tegangan luluh material (MPa)

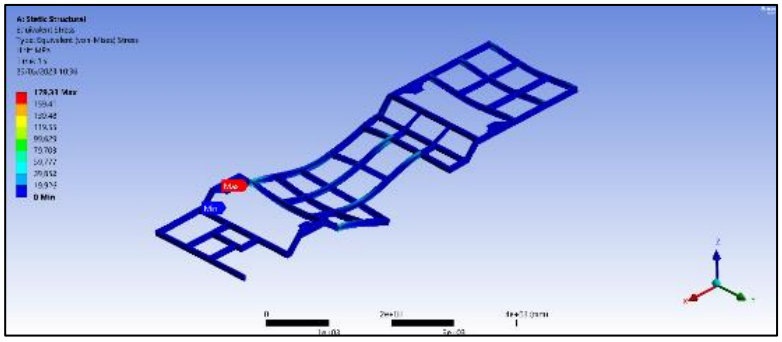
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi berupa nilai tegangan maksimal yang terjadi pada ketiga variasi ketebalan ditunjukkan pada Gambar 3, 4, dan 5. Nilai tegangan maksimal dihasilkan pada model A (ketebalan 4,5 mm) sebesar 158,7 MPa, model B (ketebalan 4 mm) sebesar 179,33 MPa, dan model C (ketebalan 3,5 mm) sebesar 328,96 MPa. Daerah tegangan paling kritis ini terjadi pada sambungan dudukan front axel dengan middle chassis frame pada daerah sisi kanan struktur sedangkan daerah tegangan terendah terjadi pada front chassis frame. Hal ini terjadi, karena daerah tersebut dijadikan sebagai tumpuan/support pada proses simulasi, daerah sekitar tumpuan akan menerima tegangan paling besar [9].

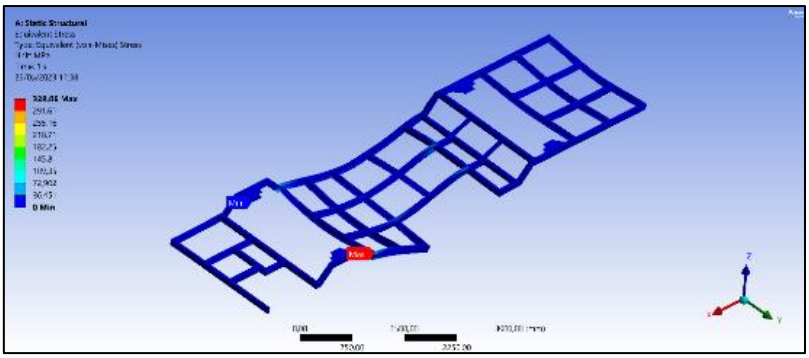
Pengaruh tebal profil terhadap nilai tegangan ditunjukkan pada Gambar 6. Tren grafik turun, maka dapat dianalisis bahwa perubahan tebal profil mempengaruhi nilai tegangan maksimal yang dihasilkan yaitu semakin kecil tebal profil maka nilai tegangan yang dihasilkan akan semakin besar. Hasil simulasi berupa nilai *displacement* yang terjadi pada ketiga variasi ketebalan ditunjukkan pada Gambar 7, 8, dan 9. Nilai *displacement* terbesar yang dihasilkan pada model A (ketebalan 4,5 mm) sebesar 1,34 mm, model B (ketebalan 4 mm) sebesar 1,66 mm, dan model C (ketebalan 3,5 mm) sebesar 1,93 mm. Nilai *displacement* tertinggi terjadi pada daerah *middle chassis frame* lebih tepatnya pada area pintu tengah bus.



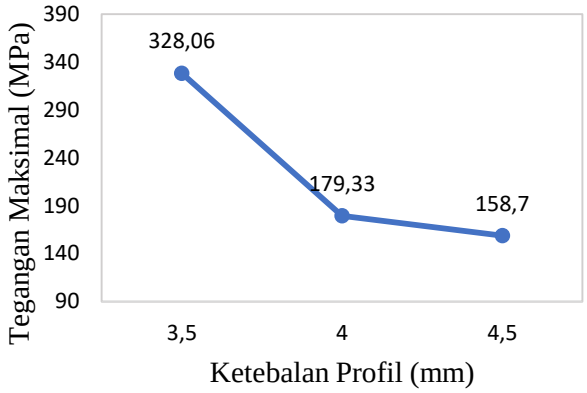
Gambar 3. Tegangan maksimal pada *chassis* model A



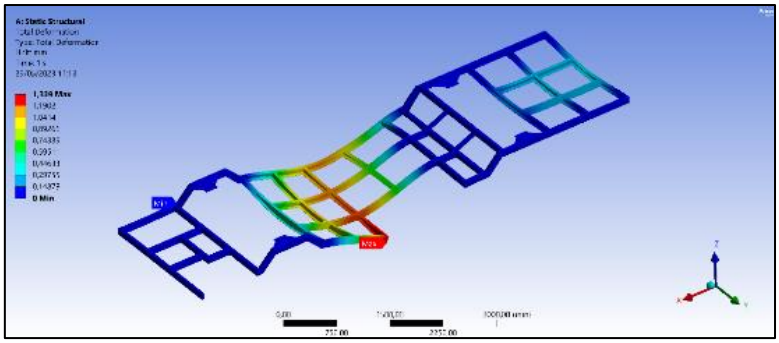
Gambar 4. Tegangan maksimal pada *chassis* model B



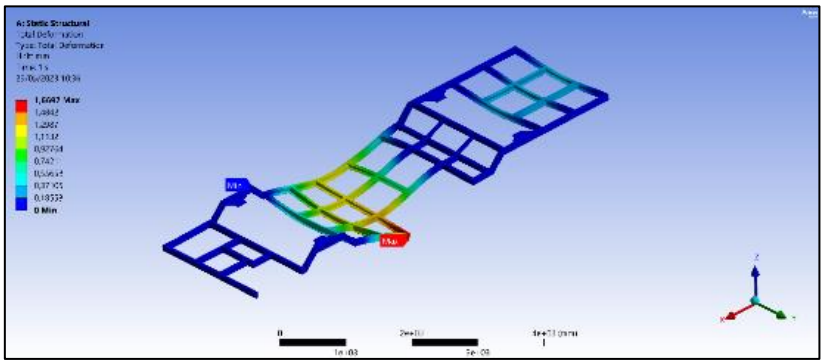
Gambar 5. Tegangan maksimal pada *chassis* model C



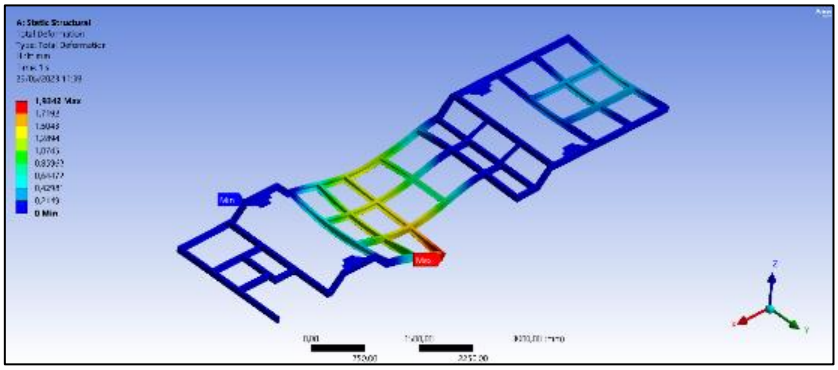
Gambar 6. Pengaruh tebal profil terhadap nilai tegangan



Gambar 7. *Displacement* pada *chassis* model A



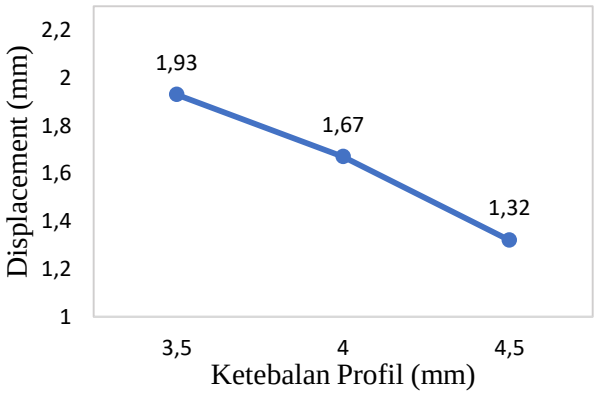
Gambar 8. *Displacement* pada *chassis* model B



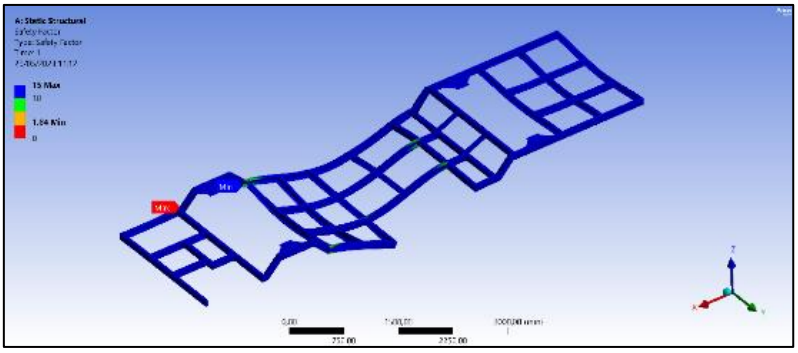
Gambar 9. *Displacement* pada *chassis* model C

Gambar 10 menunjukkan pengaruh tebal profil terhadap nilai *displacement*. Nilai *displacement* mengalami penurunan walaupun sangat kecil. Simulasi dilakukan menggunakan setup yang sama pada setiap variasi ketebalan profil pada *chassis*. Dapat diketahui bahwa semakin kecil ketebalan profil, maka nilai *displacement* yang dihasilkan akan semakin besar [10].

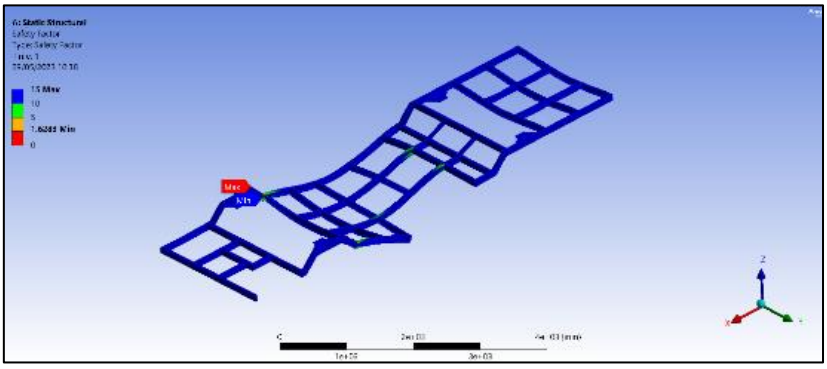
Pada Gambar 11, 12, dan 13 menunjukkan hasil simulasi berupa nilai *safety factor* yang terjadi pada ketiga variasi ketebalan. Nilai *safety factor* terkecil dihasilkan pada model A (ketebalan 4,5 mm) sebesar 1,84, model B (ketebalan 4 mm) sebesar 1,63, dan model C (ketebalan 3,5 mm) sebesar 0,89.



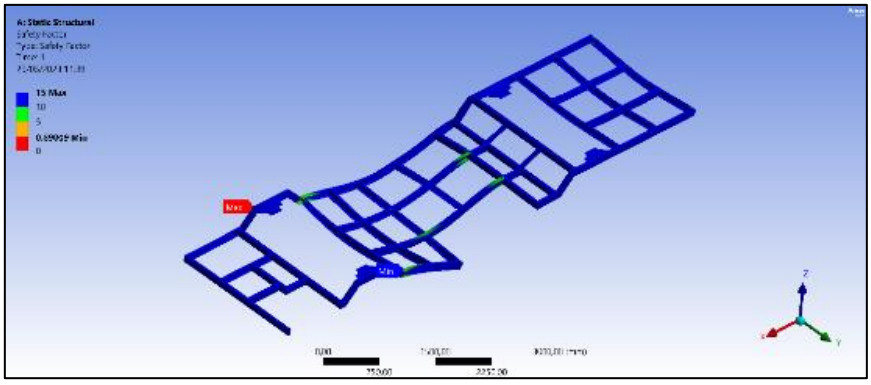
Gambar 10. Pengaruh tebal profil terhadap nilai *displacement*



Gambar 11. Nilai *safety factor* pada *chassis* model A



Gambar 12. Nilai *safety factor* pada *chassis* model B

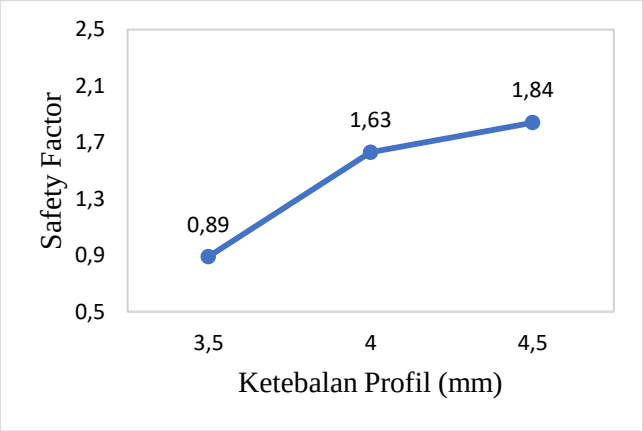


Gambar 13. Nilai *safety factor* pada *chassis* model C

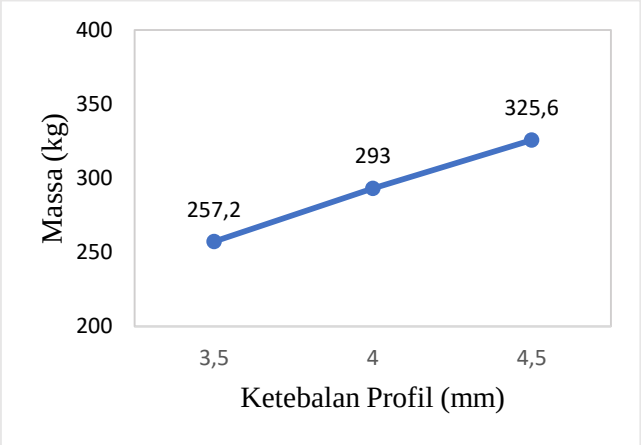
Nilai faktor keamanan juga dipengaruhi oleh ukuran ketebalan profil dari struktur ditunjukkan pada Gambar 14. Semakin kecil ketebalan profil maka, nilai *safety factor* akan semakin kecil. Penggunaan variasi ketebalan profil yang semakin kecil akan mengakibatkan massa dari struktur akan semakin ringan (massanya kecil). Hal ini disebabkan, karena semakin kecil ketebalan profil maka, volume dari profil akan semakin kecil. Dengan massa struktur yang kecil (ringan) dapat meningkatkan efisiensi kendaraan.

Grafik perubahan massa *chassis* pada gambar 15 menunjukkan garis linear menurun. Pada *chassis* model A dengan ketebalan profil 4,5 mm memiliki massa sebesar 325,6 kg. Berdasarkan hasil perhitungan terdapat pengurangan massa yang mana pada *chassis* model B memiliki massa sebesar 293 kg. *Chassis* model B dengan ketebalan 4 mm dapat mereduksi massa sebesar 32,6 kg dari model

A. Begitu juga dengan *chassis* model C dengan ketebalan 3,5 mm dapat mereduksi massa sebesar 68,4 kg dari *chassis* model A.



Gambar 14. Pengaruh tebal profil terhadap nilai *safety factor*



Gambar 15. Pengaruh tebal profil terhadap massa *chassis*

Simulasi dilakukan pada ketiga model *chassis* dengan variasi ketebalan profil, maka didapatkan *output* berupa perbandingan kekuatan tekan dari 3 struktur tersebut. Komparasi antara desain model *chassis* dari 3 variasi ketebalan profil ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Komparasi model desain *chassis* semi-*monocoque* bus listrik medium

Parameter	*Chassis* Semi-*Monocoque* Bus Listrik Medium		
	Model A (t = 4,5 mm)	Model B (t = 4 mm)	Model C (t = 3,5 mm)
Tegangan Maksimal (MPa)	158,7	179,33	328,96
Displacement (mm)	1,34	1,66	1,93
Safety Factor	1,84	1,63	0,89
Massa Total Geometri (kg)	325,6	293,0	257,2
Kekuatan Tekan	aman	aman	tidak aman

Struktur dikatakan aman berdasarkan teori *von mises stress*, apabila tegangan maksimal masih dibawah tegangan luluh material. Berdasarkan teori *beam deflection* nilai *displacement* yang diizinkan kurang dari 30,966 mm berasal dari perkalian defleksi indeks sebesar 0,0042 dengan panjang *chassis* semi-*monocoque* sebesar 7373 mm [11] dan nilai *safety factor* diatas 1,5.

Pada *chassis* model A memiliki kekuatan tekan struktur yang aman. Namun, setelah dilakukan optimasi ukuran ketebalan profil pada *chassis* model B ternyata masih memiliki kekuatan tekan struktur yang aman. Sedangkan untuk *chassis* model C, karena nilai tegangan maksimal yang dihasilkan sudah diatas tegangan luluh material dan nilai *safety factor* yang dihasilkan dibawah standar yang digunakan, maka struktur *chassis* model C sudah dapat dikatakan mengalami kegagalan dan tidak aman untuk digunakan. Oleh karena itu, *chassis* model B dengan ketebalan profil 4 mm dipilih sebagai kondisi optimum *chassis* semi-*monocoque* bus listrik medium, karena memiliki kekuatan tekan struktur yang aman setelah dilakukan pengurangan ketebalan profil. *Chassis* model B juga memiliki massa struktur *chassis* yang lebih kecil (ringan) dibandingkan pada *chassis* model A.

4. KESIMPULAN

Tebal profil *chassis* semi-*moncoque* bus listrik medium yang paling kuat dan ringan terjadi pada ketebalan profil 4 mm. Parameter kekuatan tekan dihasilkan berdasarkan nilai tegangan maksimal sebesar 179,33 MPa, nilai *displacement* sebesar 1,66 mm, dan nilai *safety factor* sebesar 1,63. Selain itu, massa struktur *chassis* semi-*monocoque* dapat tereduksi sebesar 10,01% dari massa awal 325,6 kg menjadi 293 kg.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] Badan Pusat Statistik (2021). Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit). Diakses pada 26 Mei 2023.

[2] Gunawan, I. D., Haryanto, I., & Haryadi, G. D. (2021). Analisis Struktur Chassis Semi-Monocoque Bus Listrik Medium Dengan Metode Elemen Hingga. JURNAL TEKNIK MESIN, 9(2), 273-282.

[3] Kurdi, O. Analisa Statik dan Optimasi Size Chassis Bus Medium dengan Metode Elemen Hingga. ROTASI, 22(4), 272-281.

[4] Dwinanto, A. Y., & Muhammad, F. B. (2015). Analisa Perbandingan Karakteristik Bodi dan Chassis pada Prototype Kendaraan Listrik. Jurnal Rekayasa Mesin, 6(2), 101-105.

[5] Kurdi, O., Haryanto, I., Suprihanto, A., Yulianti, I., & Aziyah, N. (2019). Analisis dan optimasi struktur sasis bus dengan batasan tegangan maksimum dan defleksi pada beban maksimum. Jurnal Teknik Mesin Indonesia, 14(2), 78-83.

[6] Sinaga, A. J., & Manurung, C. (2020). Analisa Laju Korosi dan Kekerasan Pada Stainless Steel 316 L Dalam Larutan 10% NaCl Dengan Variasi Waktu Perendaman. *Sprocket Journal of Mechanical Engineering*, *1*(2), 92-99.

[7] Fatchurrohman, N., & Chia, S.T., (2017). Performance of hybrid nano-microreinforced mg metal matrix composites brake calliper: simulation approach. IOP Conf Ser Mater Sci Eng 257 (1).

[8] Hibbeler, RC., 2004. Mechanics of Materials 14 th Ed. Pearson Prentice Hall, Upper SaddleRiver, NJ.

[9] Ilyas, M. (2018). *Optimasi Desain Chassis Traktor Mini Perkebunan Kapasitas Angkut 750 Kg Dengan Response Surface Methodology* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).

[10] Yilmazcoban, I. K., & Kahraman, Y. (2011). Truck chassis structural thickness optimization with the help of finite element technique. *TOJSAT: The Online Journal of Science and Technology*, *1*(3).

[11] Lackie, Frederick A. dan Bello, Dominie J.Dal. (2009). Stregth and Stiffness of Engineering System. United States of America: Springer.