

PENENTUAN KONFIGURASI *CROSS-MEMBER LADDER FRAME* UNTUK PERBAIKAN RASIO TEGANGAN TERHADAP BERAT *FRAME*

* Akmal Pramudya Putra Mufid¹, Toni Prahasto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, S.H., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: akmal10pramudya@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konfigurasi optimal *cross member* pada struktur *ladder frame* medium bus guna memperbaiki rasio tegangan terhadap berat. Tiga tipe penampang *cross member* yang dianalisis adalah *C-Section*, *HP-Section*, dan *Boxed*, masing-masing dengan variasi jumlah 1, 2, dan 3 buah. Simulasi dilakukan menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method*) pada perangkat lunak SolidWorks dengan kondisi pembebanan statik maksimum. Parameter evaluasi mencakup tegangan *Von Mises*, deformasi, faktor keamanan, dan rasio tegangan terhadap berat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan jumlah *cross member* dan pemilihan bentuk penampang yang tepat dapat meningkatkan kekakuan struktural dan menurunkan tegangan maksimum tanpa menambah berat secara signifikan. Konfigurasi dengan 3 *cross member* tipe *C-Section* menghasilkan performa struktural terbaik dengan distribusi tegangan yang merata, deformasi minimum, dan nilai faktor keamanan tertinggi. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam pengembangan desain rangka kendaraan niaga yang efisien dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: *cross member*; *finite element method*; *ladder frame*; rasio tegangan terhadap berat; solidworks

Abstract

his study aims to determine the optimal cross member configuration on a medium bus ladder frame structure to improve the stress-to-weight ratio. Three types of cross-section shapes C-Section, HP-Section, and Boxed—were analyzed with variations in quantity (1, 2, and 3 cross members). Finite Element Method (FEM) simulations were performed using SolidWorks software under maximum static loading conditions. Evaluation parameters included Von Mises stress, deformation, safety factor, and stress-to-weight ratio. The results show that increasing the number of cross members and selecting the appropriate cross-sectional shape significantly enhance structural stiffness and reduce peak stress without considerable weight addition. The configuration with three C-Section cross members demonstrated the best structural performance with uniform stress distribution, minimal deformation, and the highest safety factor. This research is expected to contribute to the development of efficient and environmentally friendly commercial vehicle frame designs.

Keywords: *cross member*; *finite element method*; *ladder frame*; *stress-to-weight ratio*; *solidworks*

1. Pendahuluan

Struktur utama kendaraan berat seperti bus dan truk berperan penting dalam menentukan kekuatan, stabilitas, dan keselamatan. *Ladder frame* menjadi desain yang umum karena sederhana, kuat, dan fleksibel dalam penempatan komponen. Namun, tantangan utamanya adalah mencapai rasio tegangan terhadap berat yang optimal. Analisis dengan metode elemen hingga (FEM) menunjukkan bahwa efisiensi dapat ditingkatkan melalui optimasi bentuk dan konfigurasi *cross member* yang memengaruhi distribusi tegangan rangka [1].

Cross-member adalah elemen transversal pada *ladder frame* yang menghubungkan dua *longitudinal beams*. Komponen ini berperan penting dalam meningkatkan kekakuan torsional, mencegah deformasi lateral, dan memperkuat struktur. Bentuk penampang seperti *C-section*, *HP-section*, dan *Boxed* memengaruhi kekakuan dan massa rangka. Misalnya, *boxed* memberikan kekakuan tinggi namun lebih berat, sementara *C-section* lebih ringan namun kurang tahan puntir. Bentuk *cross-member* juga memengaruhi distribusi beban, umur lelah, dan efisiensi struktural [2][3]. Karena itu, penelitian ini mengevaluasi pengaruh bentuk *cross-member* terhadap distribusi tegangan dan berat total frame.

Jumlah *cross member* memengaruhi kinerja struktur terhadap beban. Penambahan dari satu hingga tiga *cross member* dapat menurunkan tegangan maksimum dan memperbaiki distribusi gaya, namun juga menambah massa rangka. Karena itu, simulasi FEM diperlukan untuk menentukan kombinasi jumlah dan bentuk *cross member* yang optimal dalam menghasilkan rasio tegangan terhadap berat yang efisien [5].

Pemodelan dan analisis struktur dilakukan menggunakan SolidWorks, software CAD dengan modul simulasi FEA yang andal untuk mengevaluasi performa rangka kendaraan. SolidWorks mampu memodelkan beban statis dan dinamis serta menghitung tegangan dan deformasi secara akurat [6]. Dalam penelitian ini, SolidWorks digunakan untuk membuat model 3D *ladder frame* bus medium dengan variasi bentuk dan jumlah *cross member*.

Lebih lanjut, konsep *stress-to-weight ratio* dalam desain mekanik tidak hanya penting untuk efisiensi bahan bakar dan performa kendaraan, tetapi juga untuk mempertimbangkan aspek keberlanjutan lingkungan. Desain struktural yang mampu mengurangi berat kendaraan hingga 10% dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar hingga 6–8% dan secara signifikan menurunkan emisi gas rumah kaca [7]. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki urgensi tinggi dalam mendukung pengembangan desain kendaraan yang efisien dan ramah lingkungan melalui pendekatan teknik berbasis optimasi struktural

Melalui penelitian ini, akan dilakukan evaluasi dan analisis sistematis terhadap konfigurasi *cross member* berdasarkan tiga bentuk penampang utama (*C-Section*, *HP-Section*, *Boxed*) dan tiga variasi jumlah (1, 2, dan 3 buah). Hasil dari simulasi ini akan menunjukkan konfigurasi mana yang paling efisien dalam menahan beban tanpa memberikan tambahan massa berlebih. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang desain otomotif, khususnya dalam meningkatkan efektivitas struktur *chassis* kendaraan niaga melalui optimasi desain komponen *cross member*. Dengan demikian, penelitian ini bukan hanya menjawab tantangan teknis dalam perancangan struktur, tetapi juga mendukung inisiatif global dalam efisiensi energi dan keberlanjutan transportasi.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi konfigurasi *cross-member* optimal pada *ladder frame* bus medium untuk meningkatkan rasio tegangan terhadap berat. Struktur dianggap efisien jika kuat, kaku, dan ringan guna mengurangi inersia dan konsumsi energi [8]. *Ladder frame* memiliki dua rel longitudinal yang terhubung penyangga silang, kuat terhadap beban vertikal namun kurang tahan terhadap torsi [9]

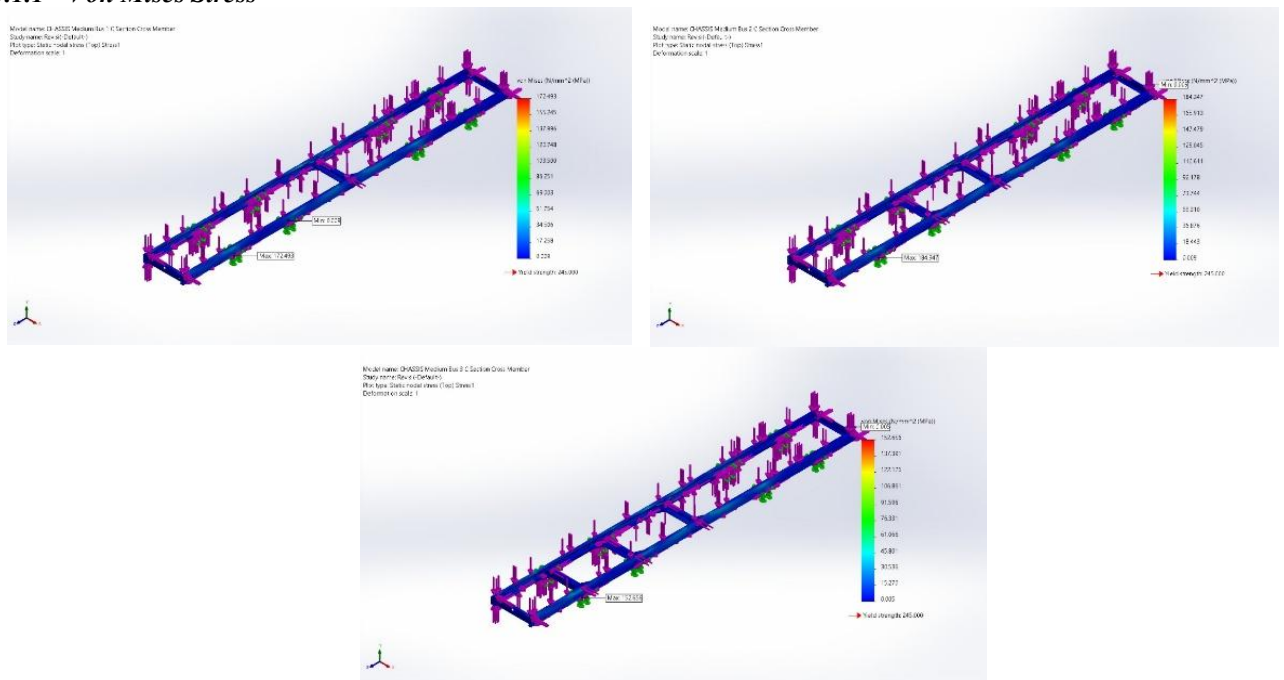
Metode yang digunakan adalah simulasi berbasis Finite Element Method (FEM) menggunakan perangkat lunak SolidWorks. FEM membagi geometri kompleks menjadi bagian-bagian yang lebih sederhana yang disebut elemen hingga, di mana solusi perkiraan dari variabel medan dihitung [10]. Material yang digunakan adalah baja karbon SS400, dipilih karena sifat mekanik yang sesuai dan kemudahan fabrikasi. Beban yang diterapkan meliputi beban vertikal, lateral, longitudinal, dan torsional untuk mencerminkan kondisi operasional kendaraan secara realistis. Tumpuan ditempatkan di delapan titik suspensi utama.

Proses meshing dilakukan dengan variasi ukuran elemen untuk masing-masing model hingga diperoleh kondisi *grid independent*, memastikan hasil simulasi tidak terpengaruh oleh perubahan ukuran mesh. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi terhadap referensi literatur untuk kondisi pembebanan serupa. Tiga jenis penampang *cross-member* (*C-section*, *HP-section*, dan *Boxed*) diuji masing-masing dalam konfigurasi 1, 2, dan 3 buah. Parameter evaluasi mencakup tegangan Von Mises, deformasi, faktor keamanan, serta rasio tegangan terhadap berat.

3. Hasil dan Pembahasan

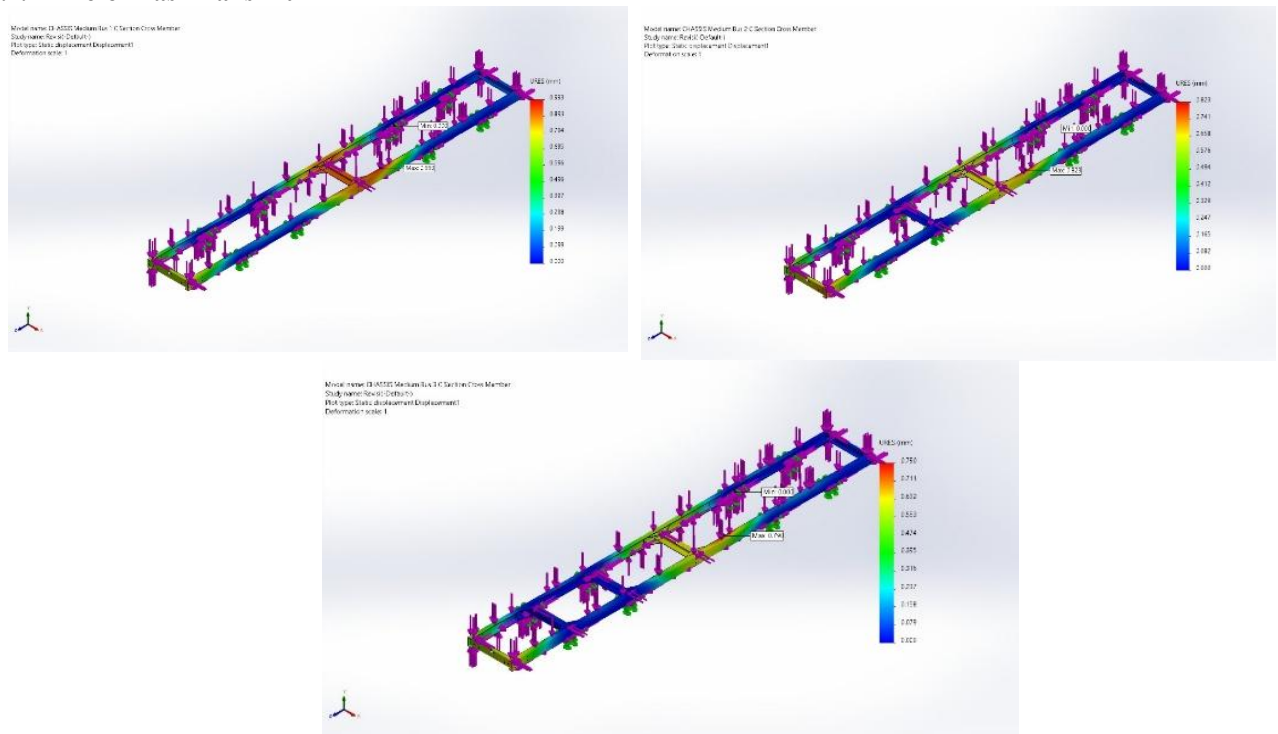
3.1 Pengujian Chassis C-Section

3.1.1 Von Mises Stress



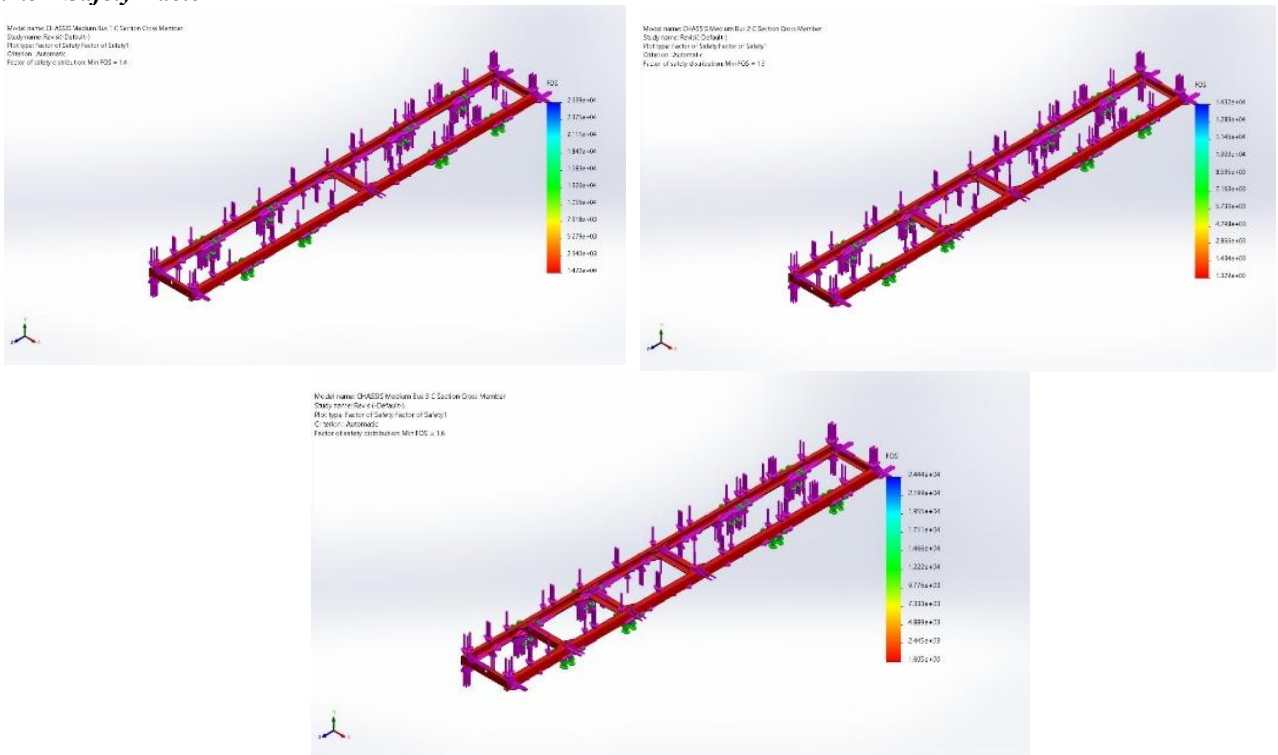
Gambar 1. Von Mises Stress C-Section 1,2, dan 3 Cross Member

3.1.2 Deformasi Maksimum



Gambar 2. Deformasi Maksimum C-Section 1,2, dan 3 Cross Member

3.1.3 Safety Factor



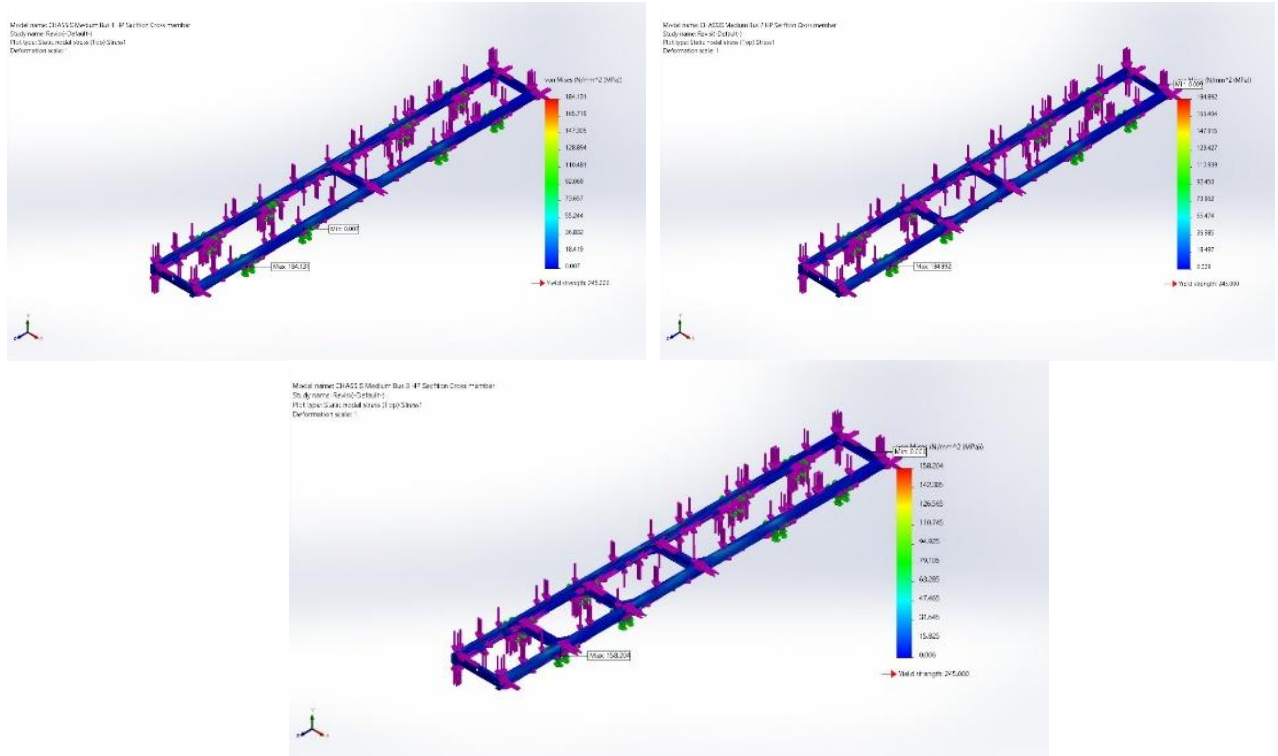
Gambar 3. Safety Factor C-Section 1, 2, dan 3 Cross Member

Hasil uji statis menunjukkan bahwa *chassis C-Section* dengan variasi jumlah *cross member* memiliki karakteristik berbeda dalam hal tegangan maksimum, *safety factor*, bobot, dan deformasi. *Chassis* dengan 1 *cross member* paling ringan (2.389,7 kg), cocok untuk aplikasi yang mengutamakan ergonomi. Sementara itu, konfigurasi 3 *cross member* menunjukkan performa terbaik dengan tegangan maksimum 152,656 MPa, *safety factor* 1,6, dan deformasi rendah 0,790

mm. Kombinasi ini memberikan kekuatan tinggi, deformasi minimal, dan bobot tetap efisien, menjadikannya pilihan optimal.

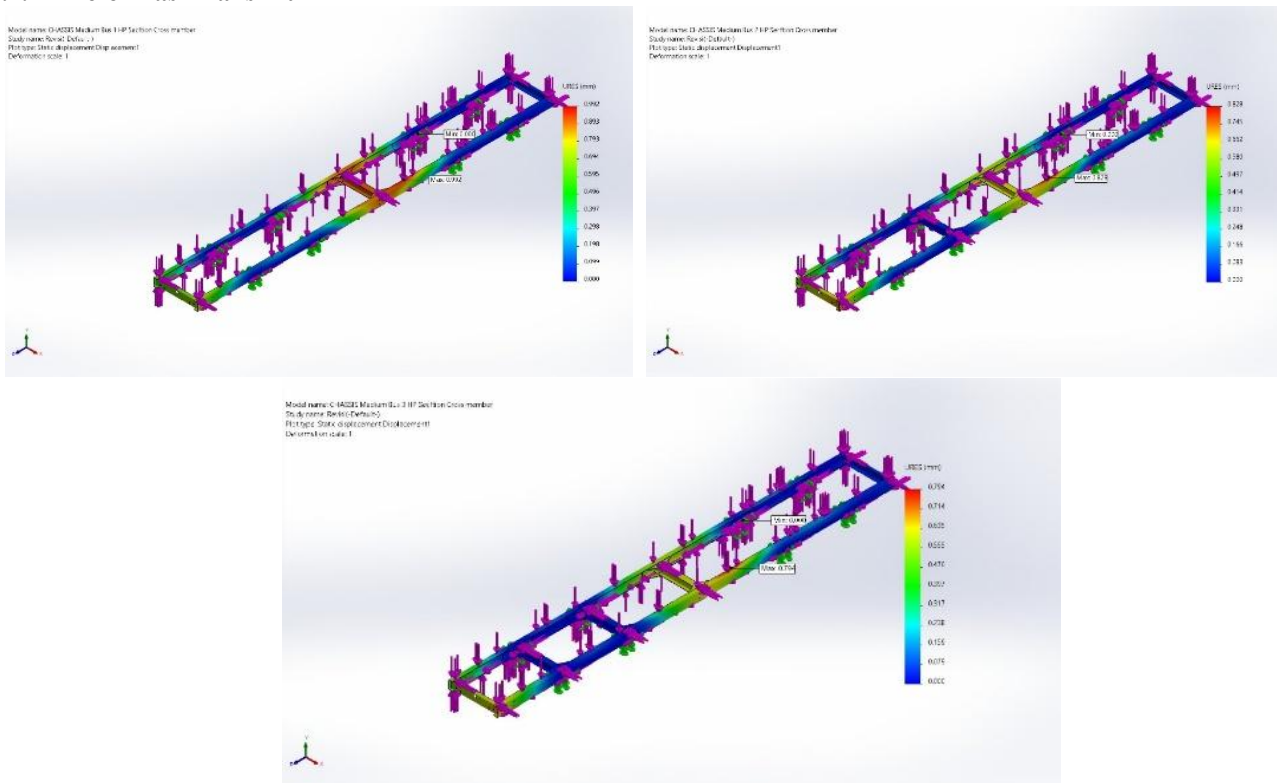
3.2 Pengujian Chassis HP-Section

3.2.1 Von Mises Stress



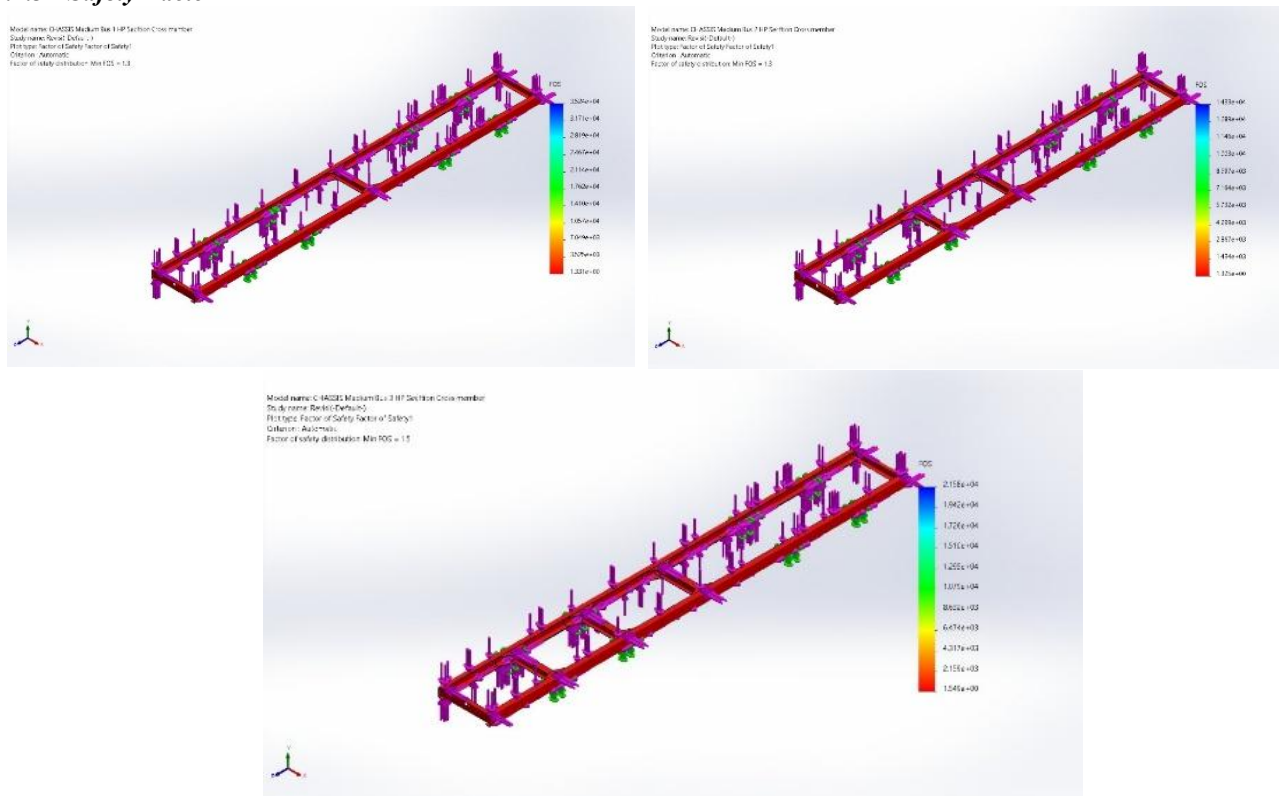
Gambar 4. Von Mises Stress HP-Section 1, 2, dan 3 Cross Member

3.2.2 Deformasi Maksimum



Gambar 5. Deformasi Maksimum HP-Section 1,2, dan 3 Cross Member

3.2.3 Safety Factor

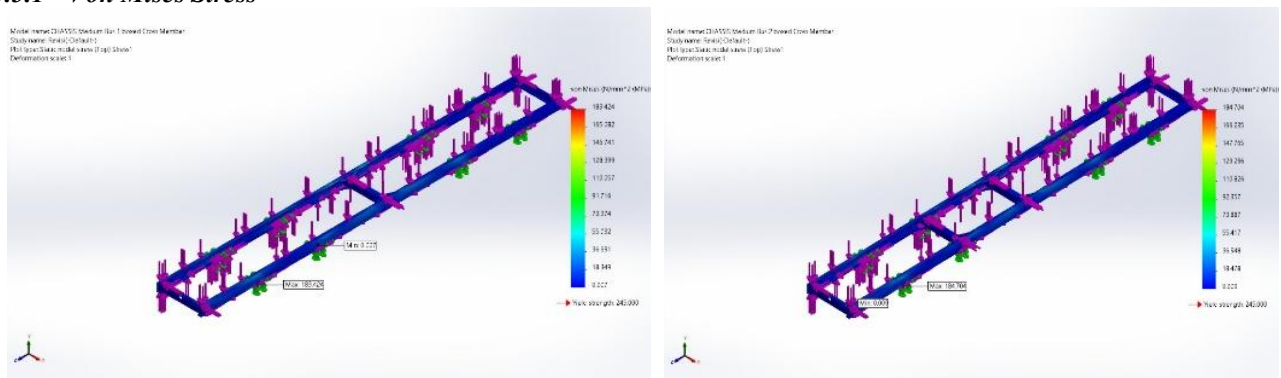


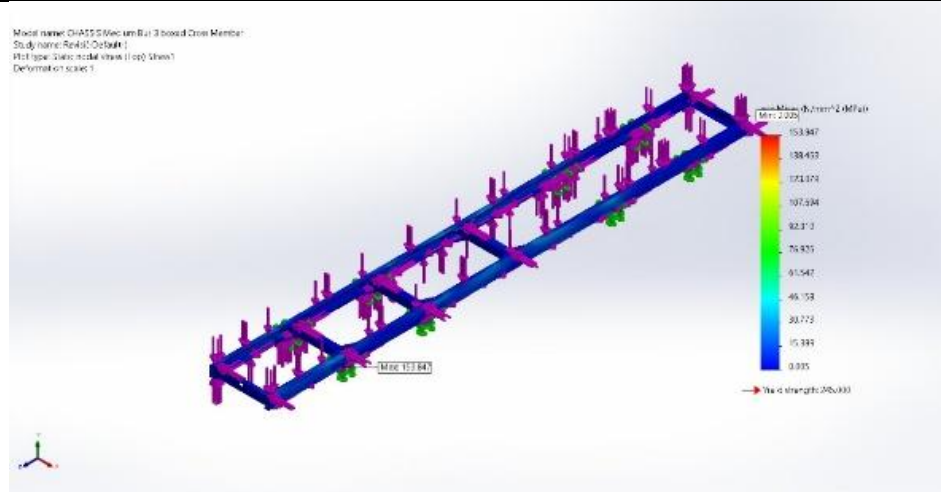
Gambar 6. Safety Factor HP-Section 1, 2, dan 3 Cross Member

Berdasarkan hasil pengujian statis, *Chassis* yang menggunakan *cross member* tipe *HP-Section* dengan tiga variasi jumlah *cross member* memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal *Stress Max*, *Safety Factor* (SF), bobot, dan deformasi maksimum. Pemilihan jenis dan jumlah *cross member* yang tepat berhubungan langsung dengan aspek ergonomis produk. *Chassis C-Section* dengan 1 *cross member* memiliki bobot ringan, 2.388,7 kg. Bobot ringan dapat mengurangi beban kerja pengguna dan meningkatkan kenyamanan, terutama dalam aplikasi transportasi dan alat tangan. *Chassis HP-Section* dengan 3 *cross member* memiliki kekuatan dengan nilai maksimum *stress* sebesar 158,204 Mpa dan *Safety Factor* (SF) sebesar 1,5. *Safety Factor* (SF) tinggi dan tegangannya yang rendah memastikan keamanan, mengurangi risiko kegagalan. Deformasi yang rendah senilai 0,794 mm dan terkendali pada *Chassis HP-Section* dengan 3 *cross member* menjaga integritas struktural dan estetika produk. Secara keseluruhan, *chassis* dengan tipe *HP-Section* dengan jumlah *cross member* tiga menawarkan kombinasi bobot ringan, kekuatan tinggi, dan deformasi minimal, meningkatkan performa dan kenyamanan produk.

3.3 Pengujian Chassis Boxed

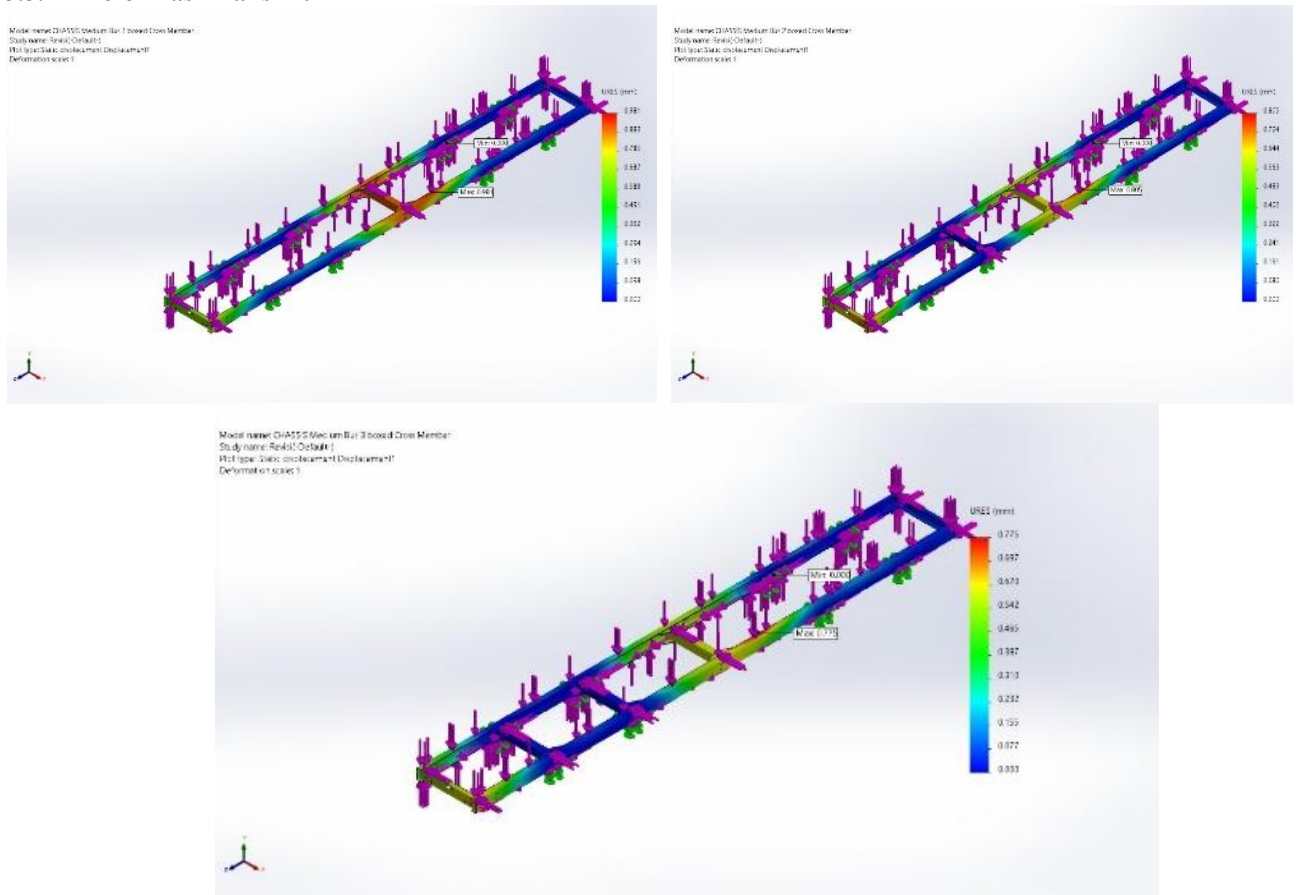
3.3.1 Von Mises Stress





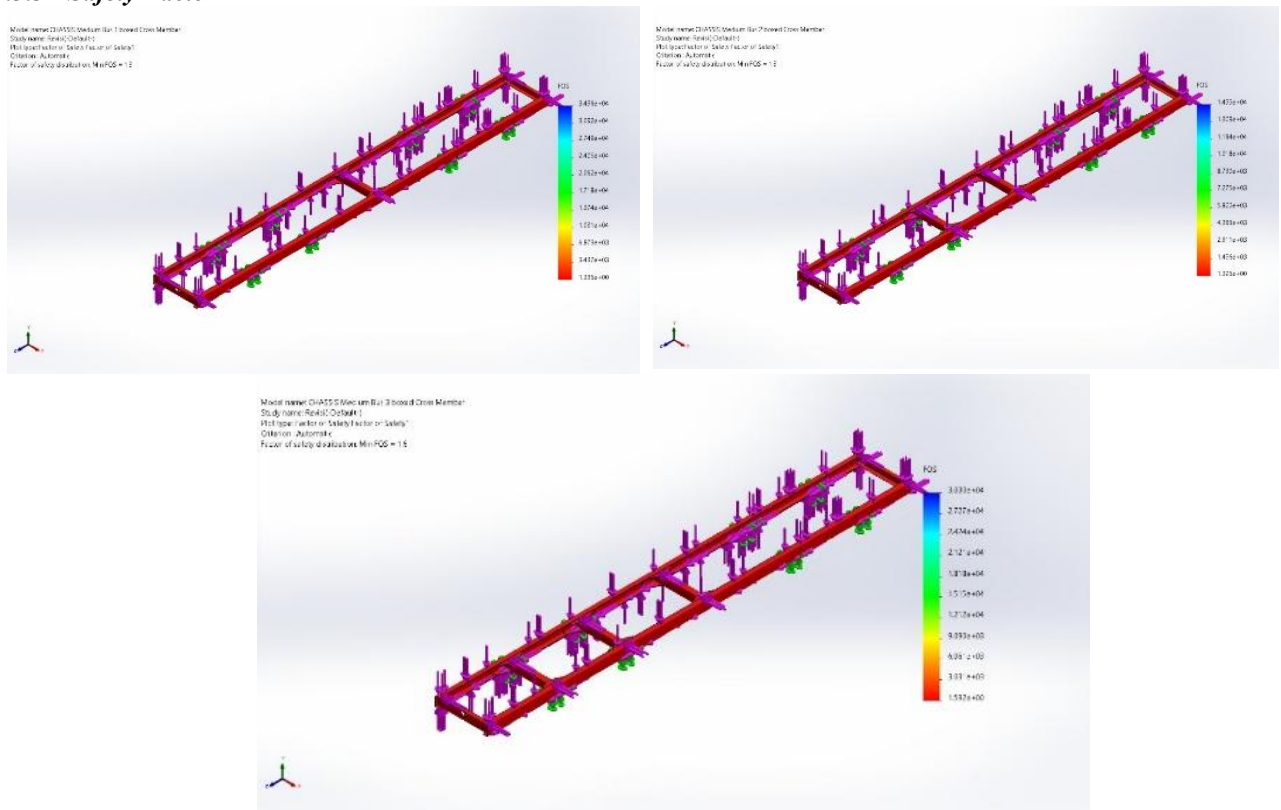
Gambar 7. Von Mises Stress Boxed 1, 2, dan 3 Cross Member

3.3.2 Deformasi Maksimum



Gambar 8. Deformasi Maksimum Boxed 1, 2, dan 3 Cross Member

3.3.3 Safety Factor



Gambar 9. Safety Factor Boxed 1, 2, dan 3 Cross Member

Berdasarkan hasil pengujian statis, *Chassis* yang menggunakan *cross member* tipe *Boxed* dengan tiga variasi jumlah *cross member* memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal *Stress Max*, *Safety Factor* (SF), bobot, dan deformasi maksimum. Pemilihan jenis dan jumlah *cross member* yang tepat berhubungan langsung dengan aspek ergonomis produk. *Chassis Boxed* dengan 1 *cross member* memiliki bobot ringan, 2.412,6 kg. Bobot ringan dapat mengurangi beban kerja pengguna dan meningkatkan kenyamanan, terutama dalam aplikasi transportasi dan alat tangan. *Chassis Boxed* dengan 3 *cross member* memiliki kekuatan dengan nilai maksimum *stress* sebesar 153,347 Mpa dan *Safety Factor* (SF) sebesar 1,6. *Safety Factor* (SF) tinggi dan tegangannya yang rendah memastikan keamanan, mengurangi risiko kegagalan. Deformasi yang rendah senilai 0,775 mm dan terkendali pada *Chassis Boxed* dengan 3 *cross member* menjaga integritas struktural dan estetika produk. Secara keseluruhan, *chassis* dengan tipe *Boxed* dengan jumlah *cross member* tiga menawarkan kombinasi bobot ringan, kekuatan tinggi, dan deformasi minimal, meningkatkan performa dan kenyamanan produk.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari proses simulasi desain chassis, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Konfigurasi dengan jumlah *cross member* lebih banyak menghasilkan distribusi beban yang lebih baik dan menurunkan tegangan maksimum, sehingga meningkatkan performa struktural *chassis*.
2. Nilai factor keamanan meningkat seiring bertambahnya jumlah *cross member*, yang mana konfigurasi tipe *C-Section* dan *Boxed* dengan 3 *cross member* menunjukkan keamanan terbaik terhadap pembebanan yang sama.
3. Konfigurasi *Boxed* dengan 3 *cross member* memberikan performa struktural terbaik berdasarkan rasio tegangan terhadap berat dan factor keamanan karena kekuatannya yang tinggi dengan bobot yang efisien.

5. Daftar Pustaka

- [1] Solazzi, L., & Danzi, N. (2024). Design and optimisation of a tipping silo semi-trailer by using innovative materials. *Composites Part C: Open Access*, 14(May), 100469. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2024.100469>
- [2] Palanivendhan, M., Devanand, S., Chandradass, J., Philip, J., & Sajith Reddy, S. (2021). Design and analysis of 3-wheeler chassis. *Materials Today: Proceedings*, 45, 6958–6968. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.417>
- [3] Afzal, W., & Alim Mufti, D. R. (2019). Optimal Cross-section of Cross Member for Increased Torsional and Bending Stiffness of Ladder Frame Chassis. *Proceedings of 2019 16th International Bhurban Conference on*

-
- Applied Sciences and Technology, IBCAST 2019*, 218–228. <https://doi.org/10.1109/IBCAST.2019.8667195>
- [4] Isworo, H., Ghofur, A., Cahyono, G. R., & Riadi, J. (2019). Analisis Displacement Pada Chassis Mobil Listrik Wasaka. *Elemen : Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 94. <http://je.politala.ac.id/index.php/JE/article/view/103>
- [5] Kasi V Rao, P., Sai Kumar Putsala, K., Muthupandi, M., & Mojeswararao, D. (2022). Numerical analysis on space frame chassis of a formula student race car. *Materials Today: Proceedings*, 66, 754–759. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.077>
- [6] Kumar Dubey, K., Pathak, B., Kumar Singh, B., Rathore, P., & Raghav Singh Yadav, S. (2020). Mechanical strength study of Off-Road vehicle chassis body materials. *Materials Today: Proceedings*, 46, 6682–6687. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.147/>
- [7] Savkin, A. N., Gorobtsov, A. S., & Badikov, K. A. (2016). Estimation of Truck Frame Fatigue Life under Service Loading. *Procedia Engineering*, 150, 318–323. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.020>
- [8] Hibbler, R. C. (2015). *Mechanics of Materials by R.C Hibbeler* (p. 862).
- [9] Mishra, Y. (2020). Design & Analysis of Ladder Frame Chassis. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3695–3704. www.irjet.net
- [10] Santos, P. M. M., Campilho, R. D. S. G., & Silva, F. J. G. (2021). A new concept of full-automated equipment for the manufacture of shirt collars and cuffs. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 67(July 2020), 102023. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.102023>