

Analisis Tegangan *von Mises* dan *Safety Factor* pada *Chassis* Kendaraan Listrik Tipe *In-Wheel*

Febrian Arif Budiman*, Angga Septiyanto, Sudiyono, Ari Dwi Nur Indriawan Musyono, Rizki Setiadi

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
Kampus Unnes Sekaran

*Email: febrian@mail.unnes.ac.id

Diterima: 15-10-2020; Direvisi: 04-04-2021; Dipublikasi: 27-04-2021

Abstrak

Transportasi merupakan kebutuhan setiap manusia untuk menunjang pekerjaannya. Saat ini kendaraan ramah lingkungan yang banyak dikembangkan adalah kendaraan listrik. Kendaraan listrik dianggap bebas emisi dan dapat mempengaruhi kondisi lingkungan. Salah satu komponen penting pada kendaraan listrik adalah *chassis*. Untuk itu, diperlukan desain *chassis* yang tepat agar keamanan dan kenyamanan kendaraan terjamin. Dalam perkembangan kendaraan listrik, model penggerak motor listrik langsung ditempatkan pada roda atau yang sering disebut dengan *in-wheel*. Tujuan penelitian ini adalah (1) Mendesain *chassis* pada kendaraan listrik tipe *in-wheel*, (2) Menganalisis tegangan *von mises* dari desain *chassis* kendaraan listrik tipe *in-wheel*, (3) Menganalisis *safety factor* pada kendaraan listrik ramah lingkungan tipe *in-wheel*. Metode penelitian menggunakan simulasi. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* Autodesk Inventor. Material yang digunakan yaitu baja AISI 1018 HR. Hasil Penelitian menunjukkan telah dihasilkan desain *chassis* untuk kendaraan listrik 6 orang penumpang. Tegangan *von mises* pada *chassis* minimum sebesar 0 dan maksimal 20,33 MPa, *displacement* minimum sebesar 0 dan maksimum sebesar 0,22, serta nilai *safety factor* minimum sebesar 12,3 dan maksimum sebesar 15. Berdasarkan hasil penelitian desain *chassis* yang telah dibuat dikategorikan aman secara teknis.

Kata kunci: Desain; analisis; sasis; kendaraan listrik; *in-wheel*

Abstract

Transportation is a necessity for every human being to support his work. Currently, the most environmentally friendly vehicles that are being developed are electric vehicles. Electric vehicles are considered emission-free and can affect environmental conditions. One of the important components of an electric vehicle is the chassis. For that, we need the right chassis design so that the safety and comfort of the vehicle are guaranteed. In the development of electric vehicles, the electric motor drive model is directly placed on the wheel or what is often referred to as the in-wheel. The objectives of this study are (1) to design the chassis of an in-wheel type electric vehicle, (2) to analyze the von Mises voltage of the in-wheel type electric vehicle chassis design, (3) to analyze the safety factor for environmentally friendly in-wheel type electric vehicles. The research method uses simulation. Simulations were carried out using Autodesk Inventor software. The material used is AISI 1018 HR steel. The results showed that the chassis design for the 6th passenger electric vehicle has been produced. von mises stress on chassis minimum of 0 and a maximum of 20.33 MPa, a minimum displacement of 0 and a maximum of 0.22, and a minimum safety factor value of 12.3 and a maximum of 15. Based on the results, the chassis design is safely categorized technically.

Keywords: Design; analysis; chassis; electric vehicle; *in-wheel*

1. Pendahuluan

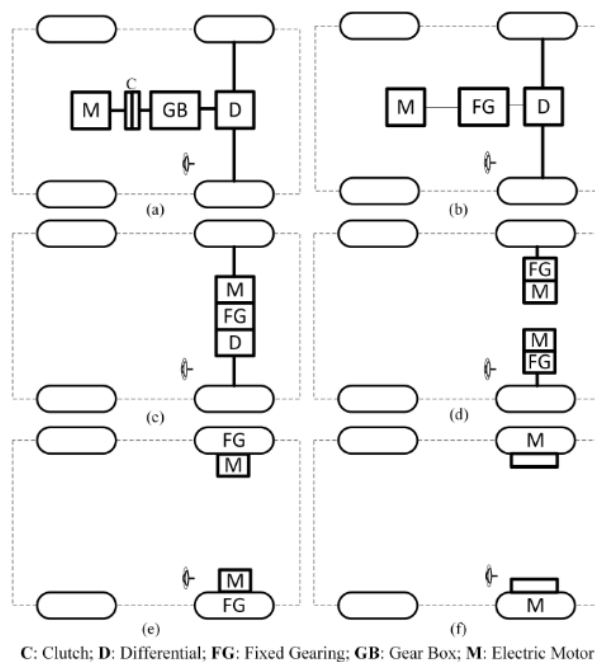
Transportasi merupakan kebutuhan setiap manusia untuk menunjang pekerjaannya. Salah satu bentuk transportasi darat adalah kendaraan seperti sepeda, sepeda motor, mobil, kereta, dan lain-lain. Mobil merupakan kendaraan yang menggunakan mesin pembakaran dalam. Mesin pembakaran dalam ini memiliki kelemahan dalam polusi yang dihasilkan. Polusi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor dapat menyebabkan banyak kerugian. Kerugian akibat emisi antara lain kerugian kesehatan, lingkungan, dan dampak ekonomi [1-3]. Selain itu, integrasi energi terbarukan ke transportasi telah meningkat dengan cepat karena ketidakpastian dalam cadangan minyak bumi dan meningkatnya pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh emisi karbon dioksida. Menurut prediksi penyediaan dan konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM)

untuk tahun 2017 sampai 2025 tidak dapat memenuhi kebutuhan BBM dalam negeri [4]. Untuk mengurangi polusi akibat penggunaan kendaraan yang menggunakan mesin pembakaran dalam, mesin mobil telah menggunakan motor listrik atau sering disebut kendaraan listrik.

Listrik sebagai energi terbarukan adalah alternatif utama untuk minyak bumi dalam transportasi. Karakteristik kendaraan listrik menjadi kendaraan ramah lingkungan karena nol emisi karbon dioksida membuatnya menjadi alternatif yang baik untuk menggantikan mesin pembakaran internal konvensional [5]. Kendaraan listrik terdiri dari *chassis* yang menahan semua beban, motor listrik yang menjalankan roda dan baterai yang memasok energi ke motor listrik. Pengendalian dan pemantauan kinerja keseluruhan kendaraan ditangani oleh sistem manajemen baterai dan sistem pengontrol motor [6]. Kekhawatiran atas perubahan iklim dan pengurangan emisi gas rumah kaca, dan ketergantungan ekonomi pada sumber energi asing, juga telah menjadi inisiatif untuk penelitian ekstensif tentang penggunaan kendaraan listrik sebagai alternatif [7-9].

Dalam mengembangkan kendaraan listrik, komponen penting pada kendaraan adalah *chassis*. *Chassis* atau rangka kendaraan harus mempunyai konstruksi yang kuat untuk menopang beban kendaraan. Selain konstruksi yang kuat, *chassis* juga harus ringan agar dapat mengefektifkan tenaga yang dihasilkan dari sistem penghasil tenaga. *Chassis* pada kendaraan memiliki masing-masing jenis sesuai dengan fungsi kendaraan itu sendiri. Pada kendaraan listrik *chassis* yang banyak digunakan adalah *ladder frame*. *Chassis* jenis ini dapat menopang kendaraan dan menyediakan dudukan yang kuat dari berat beban serta kelebihan utamanya terletak pada kekuatan. Selain itu, *chassis* jenis ini juga mudah didesain [10].

Komponen kendaraan listrik yang penting lainnya adalah motor listrik dan baterai. Motor yang dapat digunakan sebagai penggerak kendaraan listrik meliputi Brushed DC Motor, *Permanent Magnet Brushless* DC Motor (BLDC), Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM), Motor Induksi, Switched Reluctance Motor (SRM), dan Synchronous Reluctance Motor (SynRM) [11]. Sedangkan jenis baterai yang dapat digunakan untuk kendaraan listrik meliputi baterai *lead acid* (aki), NiMH, Lithium-Ion, Lithium Polymer (Li-Po) Nickel Zinc, dan Nickel-Cadmium [12]. Pada perkembangannya kendaraan listrik memiliki beberapa tipe. Tipe ini berdasarkan penempatan motor listrik dan sistem pemindah daya. Perbedaan konfigurasi pada kendaraan listrik ditunjukkan pada Gambar 1 [11-13].



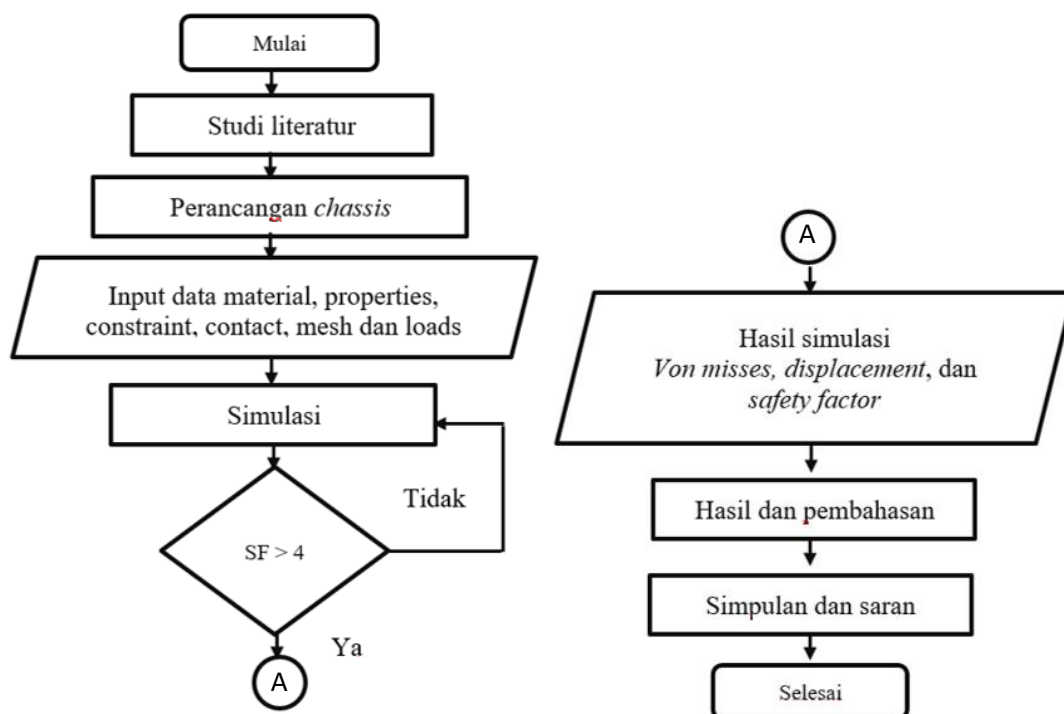
Gambar 1. Perbedaan konfigurasi pada kendaraan listrik

Saat ini kendaraan listrik yang banyak dikembangkan adalah tipe *in-wheel* [14-18]. Penelitian tentang *chassis* pada kendaraan listrik akan meningkatkan performa kendaraan. Selain mendapatkan desain yang sesuai, juga dapat diaplikasikan pada kendaraan listrik yang ramah lingkungan. Untuk itu perlu adanya penelitian tentang tegangan *von mises* dan *safety factor chassis* pada kendaraan listrik *in-wheel* agar menghasilkan rangka yang aman.

Analisis tegangan penting dalam mengetahui tegangan, deformasi kelelahan (*fatigue*) dan prediksi masa pakai yang dialami komponen untuk menentukan titik stress tertinggi yang biasa dikenal sebagai titik kritis yang mengawali kegagalan. Titik kritis ini adalah salah satu faktor yang dapat menyebabkan *fatigue failure*. Besarnya tegangan kerja saat *chassis* menerima beban dapat digunakan untuk memprediksi masa pakai *chassis*. Lokasi titik tekanan kritis sangat penting sehingga pemasangan komponen seperti mesin, suspensi, transmisi dan banyak lagi dapat ditentukan dan dioptimalkan [19]. Artikel ini membahas tentang desain *chassis* pada kendaraan listrik tipe *in-wheel*, tegangan *von mises* dari desain *chassis* kendaraan listrik tipe *in-wheel*, serta *safety factor* pada kendaraan listrik ramah lingkungan tipe *in-wheel*.

2. Metode

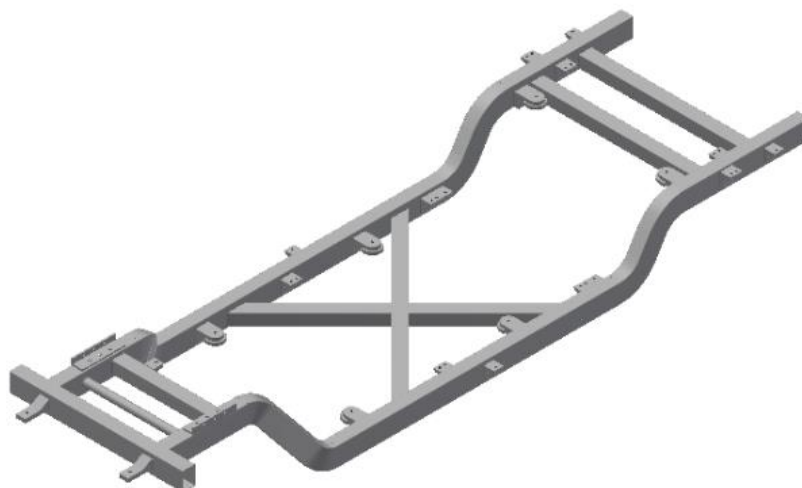
Metode pelaksanaan dalam penelitian ini menggunakan metode simulasi. Penelitian dilakukan melalui tiga tahap. Tahap pertama yaitu kajian pustaka dan observasi, tahap kedua yaitu perancangan, dan simulasi, dan tahap ketiga yaitu analisis hasil simulasi. Simulasi yang dilakukan menggunakan software Autodesk Inventor 2017. Penelitian ini masih dalam tahap pengembangan sasis untuk kendaraan listrik ramah lingkungan tipe *in-wheel*. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian dilakukan dengan mendesain dan mensimulasikan tegangan *von mises* dan *safety factor* pada *chassis* untuk mengetahui tingkat keamanannya. Dari desain yang telah dibuat *chassis* dapat digunakan untuk menampung 6 orang penumpang dan komponen pendukung pada kendaraan. Desain *chassis* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain chassis kendaraan ramah lingkungan tipe *in-wheel*

Material yang digunakan saat simulasi tegangan *von mises*, displacement, dan tingkat keamanan menggunakan baja AISI 1018 HR. Spesifikasi material ditunjukkan pada Tabel 1. Spesifikasi detail desain *chassis* ditunjukkan pada Tabel 2. Pembebanan pada *chassis* kendaraan secara rinci ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 4. Hasil simulasi tegangan *von mises* pada *chassis* ditunjukkan pada Gambar 5. Nilai *von mises stress* tertinggi sebesar 20,33 MPa.

Tabel 1. Material properties

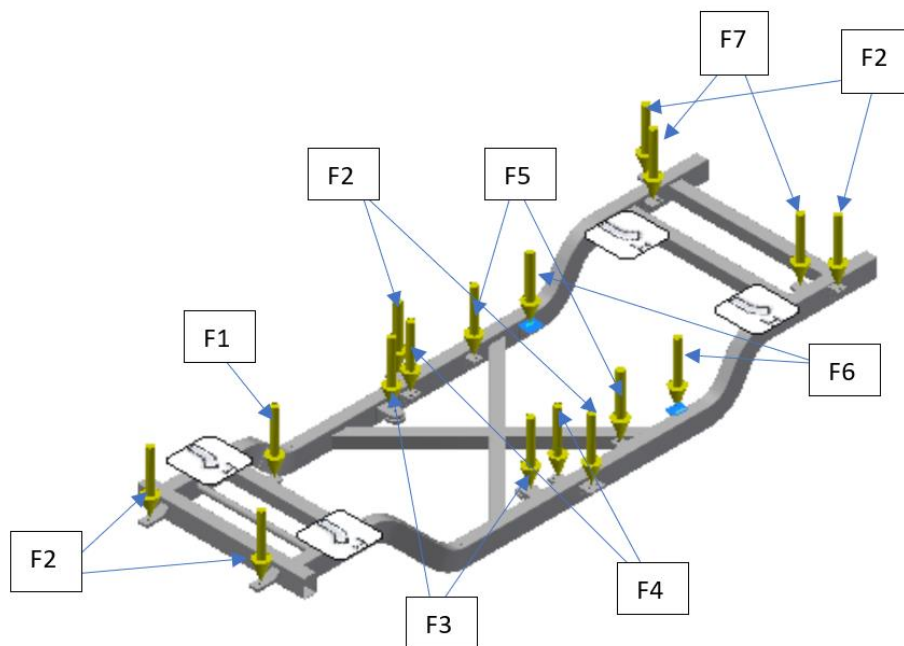
Nama Material	Modulus young	Yield strength	Ultimate strength	Density
Baja AISI 1018 HR	207 GPa	250 MPa	354 MPa	7,87 g/cm ³

Tabel 2. Detail desain chassis kendaraan listrik

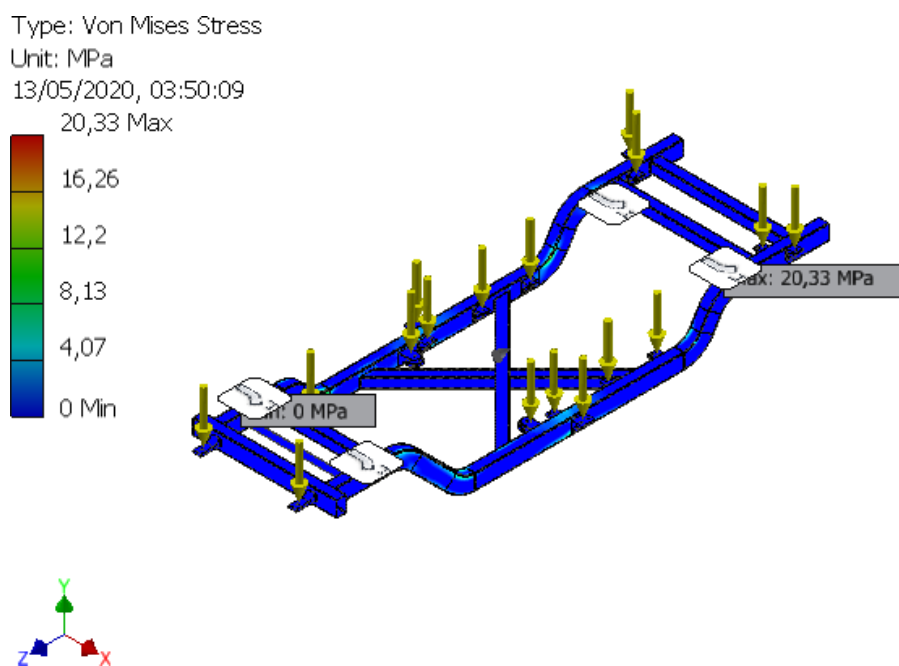
No	Material dan Dimensi	Spesifikasi
1.	Material	Steel AISI 1018 106 HR
2.	Rectangular Long member	120x80x3 mm
3.	Circular Cross Member	42,4x3 mm
4.	Square Cross member	80x80x3 mm
5.	Panjang	3828 mm
6.	Lebar	1180 mm

Tabel 3. Pembebanan pada Chassis

Beban	Komponen	Beban
F1	Master Rem dan Komponen Kemudi	108 N
F2	Body Kendaraan	588,6 N
F3	Baterai	402,21 N
F4	Penumpang dan Jok Depan	1471,5 N
F5	Controller	19,62 N
F6	Penumpang dan Jok Tengah	1471,5 N
F7	Penumpang dan Jok Belakang	1471,5 N

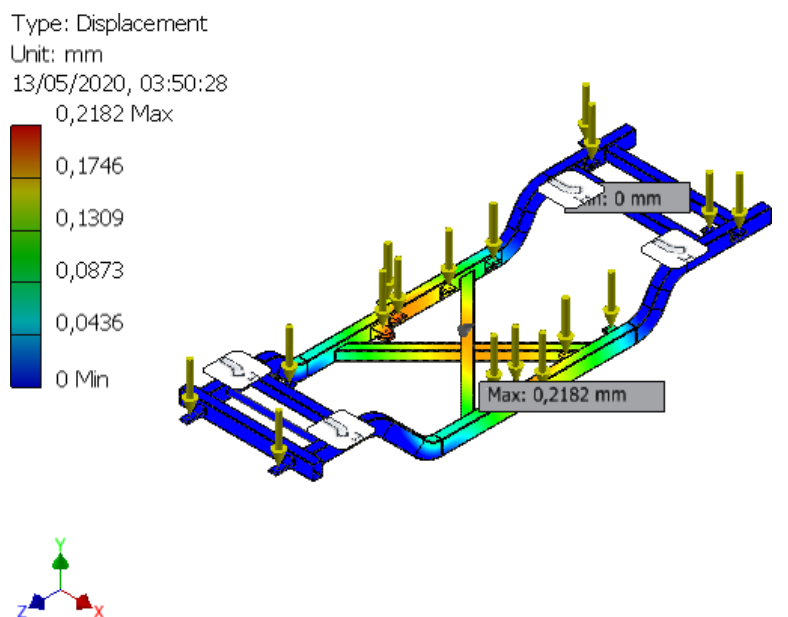


Gambar 4. Distribusi pembebanan pada *chassis*

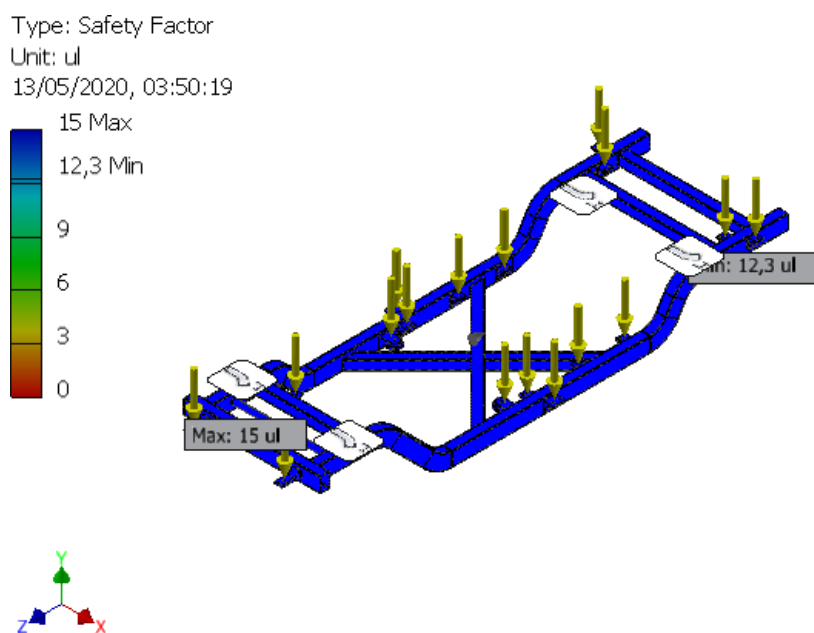


Gambar 5. Hasil analisis tegangan *von mises* pada *chassis* kendaraan

Hasil simulasi displacement pada *chassis* ditunjukkan pada Gambar 6 (a-b). Gambar 6 (a) menunjukkan *displacement* tertinggi berada padaudukan kursi dan penumpang bagian depan sebesar 0,22. Hasil simulasi *safety factor* pada *chassis* ditunjukkan pada Gambar 6 (b).



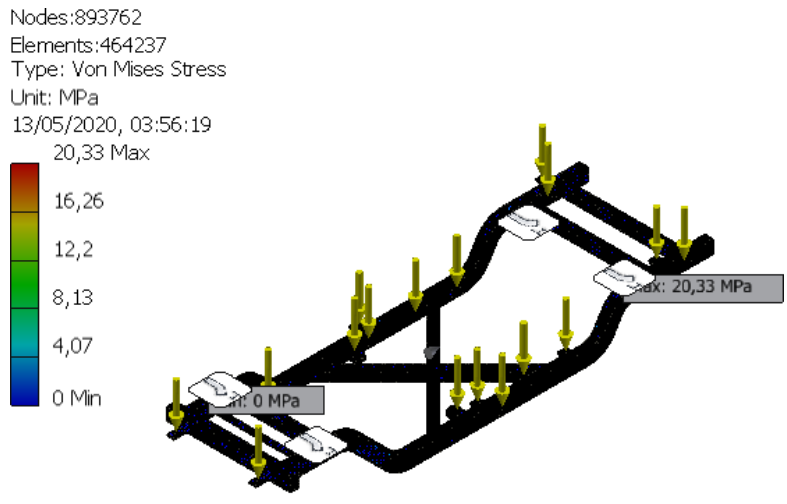
(a)



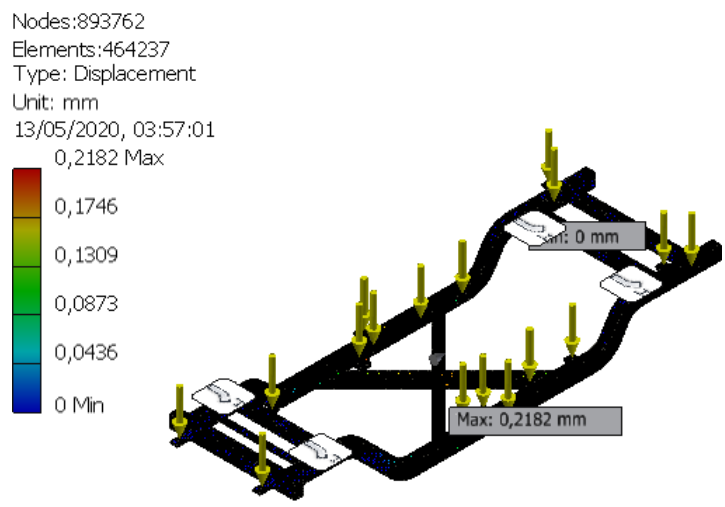
(b)

Gambar 6. Hasil analisis (a) *displacement* pada *chassis* kendaraan dan (b) *safety factor* pada *chassis* kendaraan

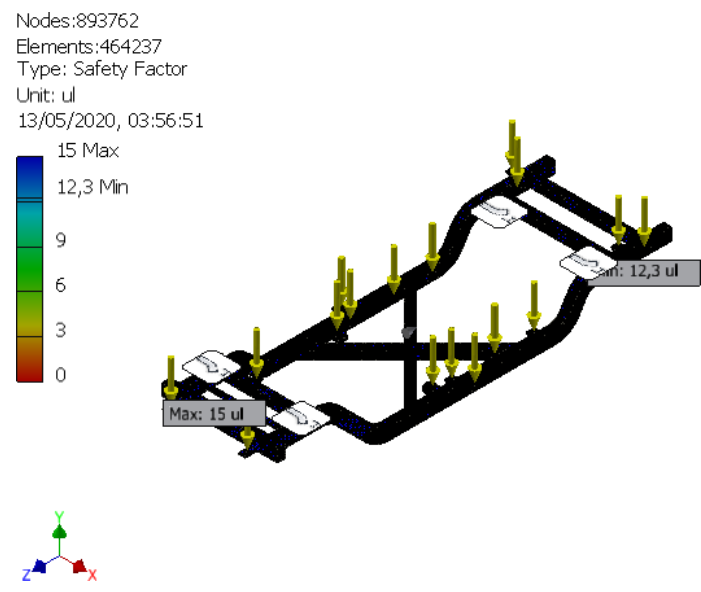
Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software Autodesk Inventor* tegangan *von mises* maksimum di daerah las pada dudukan kursi tengah, *Displacement* maksimum di dudukan kursi depan, *safety factor* minimum di daerah las pada dudukan kursi tengah. Agar simulasi lebih akurat pada bagian yang kritis, perlu dilakukan *control mesh* menggunakan fitur *mesh view* pada *software Autodesk Inventor*. Hasil simulasi tegangan *von mises*, *displacement*, dan *safety factor* ditunjukkan pada Gambar 7 (a-c). *Safety factor* minimum berada pada area dudukan bodi dan suspensi belakang sebesar 12,3. Secara rinci hasil simulasi stress analisis ditunjukkan pada Tabel 4.



(a)



(b)



(c)

Gambar 7. Hasil analisis dengan mesh view, (a) von Mises stress, (b) displacement dan (c) safety factor

Tabel 4. Hasil simulasi

No	Data <i>Stress Analysis</i>	Hasil simulasi	
		Maks.	Min.
1.	Tegangan <i>von mises</i> (MPa)	20,33	0
2.	<i>Displacement</i> (mm)	0,22	0
3.	<i>Safety Factor</i>	15	12,3

Validasi hasil simulasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan jurnal yang membahas tentang tegangan *von mises* dan *safety factor*. Hasil simulasi pada penelitian ini menunjukkan bahwa tegangan *von mises* maksimum 20,33 MPa, nilai yang ada mendekati nilai tegangan *von mises* pada simulasi yang dilakukan oleh peneliti lain yang menghasilkan tegangan *von mises* sebesar 18,3 MPa. Untuk nilai *safety factor* pada penelitian yang dihasilkan minimum 12,3 dan maksimum 15, nilai ini mendekati nilai *safety factor* dari penelitian lain sebesar minimum 10.5 dan maksimum 15 [20]. Validasi perancangan dan simulasi nilai *safety factor* (pers. 1) juga menggunakan perhitungan manual. Perbedaan nilai *safety factor* ditunjukkan pada Tabel 5.

$$Sf = \frac{\text{yield stress}}{\text{calculated stress}} \quad (1)$$

Tabel 5. Perbedaan Nilai *Safety Factor*

Data <i>Stress Analysis</i>	Hasil <i>Stress Analysis</i>		Persentase (%)
	Komputasi	Manual	
<i>Safety Factor Min.</i>	12,3	12,97	1

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan simpulan bahwa desain *chassis* untuk kendaraan listrik tipe *in-wheel* dengan 6 penumpang memiliki tegangan *von mises* pada *chassis* minimum sebesar 0 dan maksimal 20,33 MPa, *displacement* minimum sebesar 0 dan maksimum sebesar 0,22, serta nilai *safety factor* minimum sebesar 12,3 dan maksimum sebesar 15. Berdasarkan hasil penelitian desain *chassis* yang telah dibuat dikategorikan aman secara teknis. Saran dalam penelitian berikutnya adalah dengan mengoptimasi penggunaan jenis material pada *chassis*.

Daftar Pustaka

- [1] Budioyono, A., 2001, Pencemaran Udara: Dampak Pencemaran Udara Pada Lingkungan. Berika Dirgantara. Vol 2. No. 1, hal. 21-27.
- [2] Fenton, J., Hodkinson, R., 2001, Lightweight Electric/Hybrid Vehicle Design, Elsevier.
- [3] Fajri, P., Asaei, B., 2008, Plug-in hybrid conversion of a series hybrid electric vehicle and simulation comparison', 11th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, 2008. OPTIM 2008, IEEE, Mei hal.287–292.
- [4] Sa'adah, Fitriyatus, A., Fauzi, A., Juanda, B., 2017, Peramalan Penyediaan dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak Indonesia dengan Model Sistem Dinamik. Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia. Vol. 17 No. 2, hal. 118-137.
- [5] Koca, E., Yasar, A., Bircan, D.A., 2015, Design, Analysis And Optimization Of Chassis For An Electric Vehicle. Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi Yil 2015 Cilt: 32-2, hal. 111-120.
- [6] Boria, S., Pettinari, S., 2014, Mathematical design of electric vehicle impact attenuators: Metallic vs. composite material. Composite Structures, 115, hal. 51-59.

- [7] Miller J.M., Emadi, A., Rajarathnam, A.V., Ehsani, M., 1999, Current status and future trends in More Electric Car power systems, Proc. 49th IEEE Conf. on Vehicular Technology, Houston, TX, 1999, hal. 1380-1384.
- [8] Hugo, M., Sousa, T., Vale, Z., Faria, P., 2014, Evaluation of the electric vehicle impact in the power demand curve in a smart grid environment, Original Research Article Energy Conversion and Management, 82, hal. 268-282.
- [9] Raslavičius, L., Starevičius, M., Keršys, A., Pilkauskas, K., dkk., 2014, Economic comparison of automobiles with electric and with combustion engines: An analytical study, Procedia-Social and Behavioral Sciences, 109, hal. 225-230.
- [10] Wahyudi, N., Fahrudi, Y.A., 2016, Studi Eksperimen Rancang Bangun Rangka Jenis Ladder Frame pada Kendaraan Sport. JEECAE. 1(1), hal. 71-72.
- [11] Un-Noor, F., Padmanaban, S., Mihet-Popa, L., Mollah, M.N., Hossain, E., 2017, A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development. Energies, 10(8), 1217; hal. 1-82.
- [12] Wahyudi, Setiadi, R., Sumbodo, W., Budiman, F.A., 2020, Mesin Hybrid. Deepublish: Yogyakarta.
- [13] Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S.E., Emadi, A., 2004, Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. New York Washington, D.C: CRC Press.
- [14] Shimizu, Hiroshi., Kiyomoto Kawakami and Yuko Kakizaki, 1997. Evaluation and Future development of the small EV "Luciole", EVS-14, Orlando.
- [15] Shimizu, H., Kawakami, K., Kakizaki, Y., 2001, "KAZ" The Super Electric Vehicle, EVS18, Berlin.
- [16] Masayuki, T., Ashikaga, T., Mizuno, T., 1997, Novel Motors and Controllers for High-Performance Electric Vehicle with Four In-Wheel Motors, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 44, No. 1, pp. 28-38.
- [17] Yan-e, Z., Jianwu, Z., Xu, H., 2008, Development of a High Performance Electric Vehicle with Four-Independent-Wheel Drives, SAE 2008-01-1829.
- [18] Kim, D., Shin, K., Kim, Y., Cheon, J., 2010, Integrated Design of In-Wheel Motor System on Rear Wheels for Small Electric Vehicle. World Electric Vehicle Journal, Vol. 4, Hal. 1-6.
- [19] Rifki, I, Munadi, Ahmad, Z.K., Bayuseno, A.P., 2018, Analisis Displacement dan Tegangan von Mises Terhadap Chassis Mobil Listrik Gentayu. ROTASI. Vol. 20, No. 4. Hal. 231-236.
- [20] Hidayat, T., Nazaruddin, Syafri, 2017, Perancangan dan Analisis Statik Chassis Kendaraan Shell Eco Marathon Tipe Urban Concept. Jurnal Online Mahasiswa, Vol. 4 No. 2, Hal. 1-6.