

Analisis Pengaruh Penambahan Stiffener Terhadap Nilai Tegangan Dan Defleksi Pada Rangka Sepeda Motor Listrik Dengan Metode Elemen Hingga

Rilis Eka Perkasa¹⁾, Utsman Syah Amrullah¹⁾, Bayu Pranoto¹⁾, Chandra Gunawan¹⁾
¹⁾ *Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno-Hatta no. 9 Malang*

E-mail correspondence: rilis@polinema.ac.id

Abstrak

Saat ini, sepeda motor listrik telah banyak dijadikan sebagai pilihan moda transportasi alternatif karena sepeda motor listrik memiliki beberapa kelebihan, salah satunya menghasilkan tingkat polusi yang rendah. Salah satu bagian utama dari sepeda motor listrik adalah rangka, yang berfungsi sebagai penyangga beban utama dari sepeda motor listrik dan dudukan dari berbagai komponen lain. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan komponen *stiffener* pada rangka menggunakan simulasi metode elemen hingga. Terdapat dua jenis rancangan yang disimulasikan, yaitu rangka dengan penambahan *stiffener* dan rangka tanpa *stiffener* sebagai pembanding. Kedua rancangan rangka dibuat dengan menggunakan profil persegi dengan ketebalan 2.2 mm dari bahan baja ASTM A36. Jenis simulasi yang dipilih adalah simulasi pembebanan statis dengan beban yang terdiri dari beban penumpang serta beban komponen baterai dan sistem kontrol. Parameter yang hendak diperoleh dari simulasi antara lain tegangan von mises, defleksi total rangka, dan nilai safety factor. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rancangan rangka dengan penambahan *stiffener* mengalami tegangan von mises maksimum sebesar 74.67 MPa, defleksi total maksimum sebesar 0.06692 mm, dan safety factor minimum sebesar 3.348. Sementara itu, rancangan tanpa penambahan *stiffener* mengalami tegangan von mises maksimum sebesar 110.3 MPa, defleksi total maksimum sebesar 0.5209 mm, serta nilai safety factor minimum sebesar 2.266.

Kata kunci: *rangka sepeda motor, stiffener, ASTM A36, metode elemen hingga*

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, kendaraan listrik makin banyak dipilih sebagai alternatif dari kendaraan bermotor sebagai alat transportasi di Indonesia. Salah satu jenis kendaraan listrik yang paling diminati adalah sepeda motor listrik. Penyebab sepeda motor listrik mulai diminati di antaranya karena memiliki komponen mekanik yang sederhana, mudah dirawat, memiliki tingkat kebisingan yang rendah, dan yang utama menghasilkan polusi yang rendah [1]. Rendahnya tingkat polusi yang dihasilkan oleh kendaraan listrik ini sejalan dengan program Pemerintahan Indonesia untuk menekan emisi karbon sebesar 32% atau setara dengan 912 juta ton CO₂ pada

tahun 2030 [2]. Karena itulah, penggunaan kendaraan listrik merupakan langkah yang dapat mendukung program pemerintah dan juga kelangsungan lingkungan hidup.

Salah satu komponen terpenting untuk sepeda motor listrik adalah rangka. Pada prinsipnya, rangka pada kendaraan bermotor adalah tempat terpasang dan terhubungnya komponen dan sistem lain dari kendaraan, seperti mesin, sistem penggerak, suspensi, dan lain sebagainya, termasuk penumpang kendaraan tersebut. Rangka kendaraan juga memiliki fungsi utama lainnya, yaitu sebagai bagian utama kendaraan yang menerima beban, di mana beban yang paling umum diterima oleh rangka kendaraan adalah beban tekuk dan

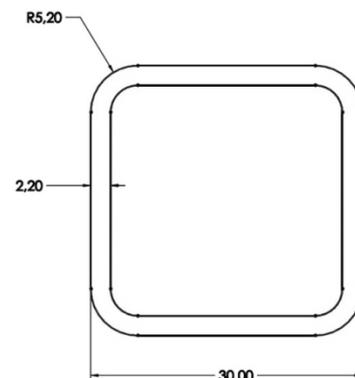
puntir [3]. Umumnya, rangka sepeda motor dibuat dengan bentuk susunan profil yang terbuat dari material logam, di mana salah satu jenis material yang paling sering digunakan sebagai material rangka kendaraan adalah baja. Pemilihan jenis struktur dan material ini ditujukan agar rangka memiliki massa yang relatif kecil, namun cukup kuat menahan beban yang diterimanya. Struktur rangka berupa profil yang berongga memiliki massa yang lebih rendah dibandingkan dengan batang logam pejal, namun memiliki kemampuan yang cukup optimal untuk menahan pembebanan tekuk dan puntir yang diterima oleh rangka [4]. Di samping itu, penambahan suatu struktur *stiffener* pada rangka dapat dilakukan untuk meningkatkan kekuatan dan kemampuan rangka dalam menahan deformasi [5].

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, rangka memiliki satu fungsi utama berupa struktur penahan beban. Oleh karenanya, analisis kekuatan rangka adalah hal yang sangat penting dalam rangka memastikan rangka dapat menerima pembebanan saat beroperasi [6]. Salah satu metode yang efektif untuk melakukan analisis kekuatan ini adalah dengan menggunakan metode elemen hingga/finite element method (FEM). Metode elemen hingga sendiri merupakan alat analisis yang efektif untuk memprediksi respons suatu struktur terhadap pembebanan yang diberikan kepadanya. Dalam metode elemen hingga, struktur yang hendak dianalisis akan dibagi menjadi elemen-elemen diskrit yang disebut sebagai “mesh”. Selanjutnya, di tiap mesh dilakukan perhitungan dengan dasar persamaan kesetimbangan dan matriks kekakuan dari elemen tersebut. Dari perhitungan yang dijalankan secara numerik ini dapat dihasilkan berbagai parameter yang penting untuk analisis suatu struktur, seperti tegangan, regangan, deformasi/defleksi, dan lain-lain [7]. Melalui metode elemen hingga, diharapkan rancangan yang mengakomodasi kemampuan struktur dalam menanggung beban dapat diperoleh dengan baik.

Berangkat dari latar belakang yang sudah dijelaskan sebelumnya, dibuatlah suatu rancangan rangka sepeda motor listrik melalui perangkat computer-aided design (CAD) dengan struktur penyusun profil baja persegi. Tebal profil penyusun rangka yang digunakan adalah sebesar 2.2 mm. Terdapat dua desain yang akan dibandingkan dalam studi ini, yaitu struktur rangka dengan tambahan *stiffener* yang melintang secara vertikal pada rangka, serta rancangan rangka tanpa *stiffener* sebagai pembanding. Penambahan *stiffener* dimaksudkan untuk mengurangi defleksi yang dialami oleh rangka saat mengalami pembebanan, terutama pada bagian rangka penyangga jok yang diduduki oleh penumpang. Rancangan rangka ini selanjutnya akan disimulasikan dengan menggunakan metode elemen hingga untuk memperoleh parameter-parameter tegangan dan deformasi total rangka. Nilai faktor keamanan dari kedua jenis rangka berdasarkan beban yang diterimanya juga dihitung sebagai informasi tambahan di penelitian ini.

2. METODE PENELITIAN

Rangka yang hendak disimulasikan dalam studi ini terbuat dari profil persegi dengan material baja ASTM A36. Ukuran penampang profil baja yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1, sementara data material baja ASTM A36 terdapat pada Tabel 1. Keseluruhan data material inilah yang akan digunakan untuk menjalankan simulasi.

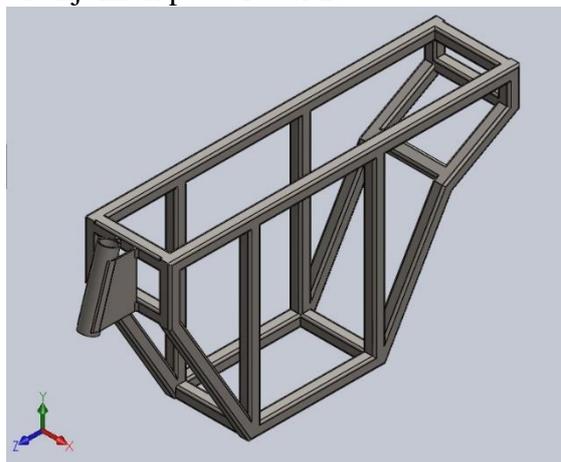


Gambar 1. Dimensi penampang profil persegi dalam mm

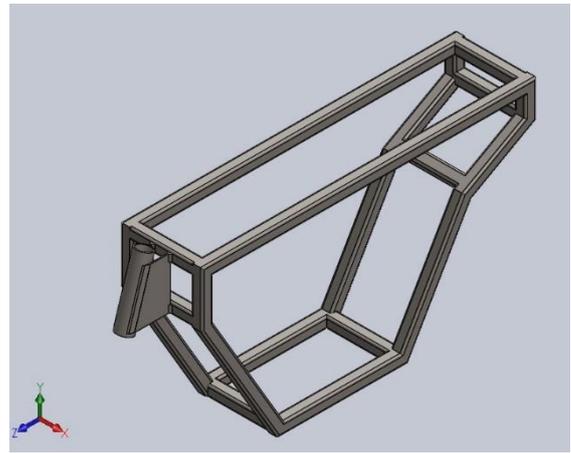
Tabel 1. Spesifikasi material baja ASTM A36

Sifat	Nilai
Density (massa jenis)	7850 kg/m ³
Young modulus (modulus elastisitas)	200 GPa
Shear modulus (modulus geser)	79.3 GPa
Poisson's Ratio	0.26
Yield strength (kekuatan luluh)	250 MPa
Tensile strength (kekuatan Tarik)	400 MPa

Terdapat dua jenis rancangan rangka sepeda motor listrik. Rancangan pertama dirancang dengan menggunakan *stiffener* yang melintang secara vertikal dan menyangga dudukan jok motor. Selanjutnya rancangan ini akan dinamai Desain STR. Sementara itu, rancangan kedua yang tidak ditambahkan *stiffener* dibuat sebagai pembandingan dan selanjutnya akan disebut sebagai Desain STN. Kedua jenis rancangan ini dibuat menggunakan profil dan material yang sama, dengan penambahan komponen komstir sebagai dudukan kemudi. Desain STR dan STN dapat dilihat pada Gambar 2. Dengan menggunakan material baja ASTM A36, diperoleh massa dari kedua rancangan rangka sesuai dengan yang ditunjukkan pada Tabel 2.



(a)



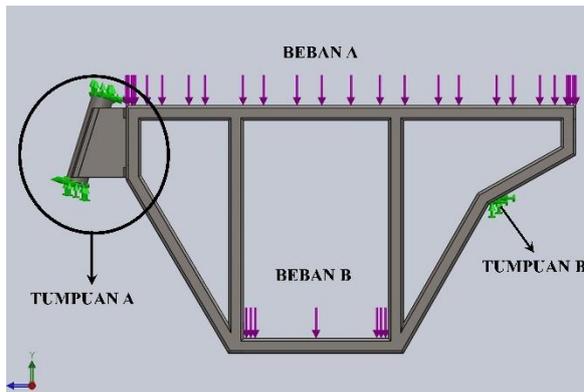
(b)

Gambar 2. (a) Desain STR dan (b) Desain STN

Tabel 2. Massa total kedua rancangan rangka sepeda motor listrik

Rancangan	Massa
Desain STR	14.65 kg
Desain STN	11.55 kg

Simulasi kedua jenis rancangan rangka dilakukan dengan menggunakan jenis analisis pembebanan *static* dengan beban yang diberikan sebesar 2000 N yang terdistribusi merata pada rangka penyangga jok sebagai muatan penumpang, dan beban sebesar 150 N yang terdistribusi merata pada rangka bagian bawah yang mewakili berat komponen baterai dan sistem kontrol sepeda motor listrik. Tumpuan yang diberikan berupa tumpuan jepit (*fixed support*) pada pangkal bagian bawah komstir dan pada satu poros *shockbreaker*, dikarenakan rancangan rangka ini dibuat dengan desain *monoshock* yang menggunakan satu buah *shockbreaker*. Posisi dari beban dan tumpuan pada kedua rancangan ini dapat dilihat pada Gambar 3, di mana Beban A mewakili beban penumpang, Beban B mewakili beban komponen baterai dan sistem kontrol, Tumpuan A mewakili tumpuan pada komstir, dan Tumpuan B mewakili tumpuan pada poros *shockbreaker*.



Gambar 3. Contoh posisi Beban A, Beban B, Tumpuan A, dan Tumpuan B pada Desain STR

Solusi yang diperoleh dari proses simulasi antara lain tegangan von mises, total defleksi/displacement, serta faktor keamanan/safety factor. Tegangan von mises merepresentasikan resultan nilai-nilai tegangan yang bekerja pada struktur., total defleksi merepresentasikan besarnya deformasi yang terjadi pada struktur akibat pembebanan, sementara faktor keamanan/safety factor dihitung dengan membandingkan antara kekuatan luluh bahan rangka dengan tegangan von mises yang terjadi pada rangka akibat pembebanan dan dapat dihitung pada Persamaan (1) [8].

$$\eta = \frac{\sigma_y}{\sigma_A} \dots \dots \dots (1)$$

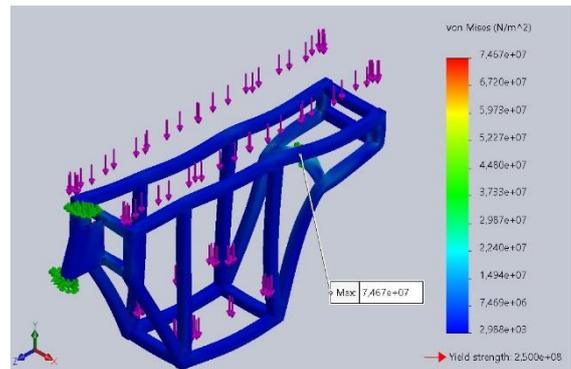
di mana η adalah faktor keamanan, σ_y adalah tegangan luluh material struktur, dan σ_A adalah tegangan yang diperbolehkan dialami oleh suatu struktur, dalam hal ini adalah tegangan *von mises* hasil dari simulasi. Faktor keamanan mengindikasikan seberapa jauh struktur yang dianalisis dari mengalami deformasi plastis, yang dapat merugikan struktur. Nilai faktor keamanan di bawah 1 mengindikasikan bagian struktur tersebut sudah mulai mengalami deformasi plastis [9]. Oleh karena itu, suatu struktur diharuskan memiliki nilai faktor keamanan minimum yang setinggi mungkin dengan memperhatikan batasan-batasan lain seperti ukuran struktur, sehingga struktur tersebut tidak terlalu berat dan dapat dioperasikan secara normal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

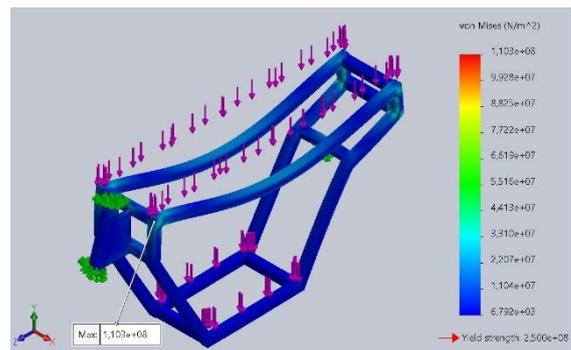
Terdapat tiga parameter hasil simulasi yang diambil dalam analisis ini, antara lain tegangan *von mises*, *total displacement*, dan *safety factor*.

3.1 Tegangan Von Mises

Distribusi tegangan *von mises* pada Desain STR dan STN akibat pembebanan yang diberikan melalui simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.



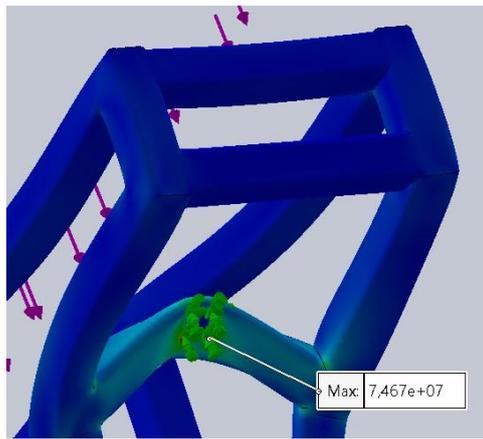
(a)



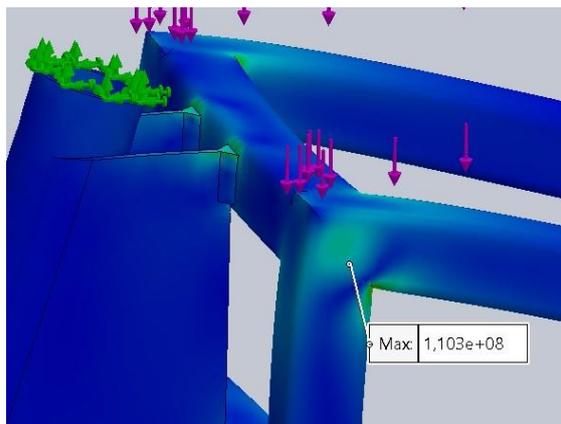
(b)

Gambar 4. Distribusi tegangan *von mises* pada (a) Desain STR dan (b) Desain STN

Dari ilustrasi di atas terlihat bahwa Desain STR mengalami tegangan *von mises* maksimum sebesar 7.467×10^7 N/m², atau setara dengan 74.67 MPa, pada bagian dudukan *shockbreaker*. Nilai ini lebih rendah apabila dibandingkan dengan Desain STN sebagai pembanding, yang memiliki nilai tegangan *von mises* maksimum sebesar 1.103×10^8 N/m² yang setara dengan 110.3 MPa pada bagian siku depan dudukan jok.



(a)

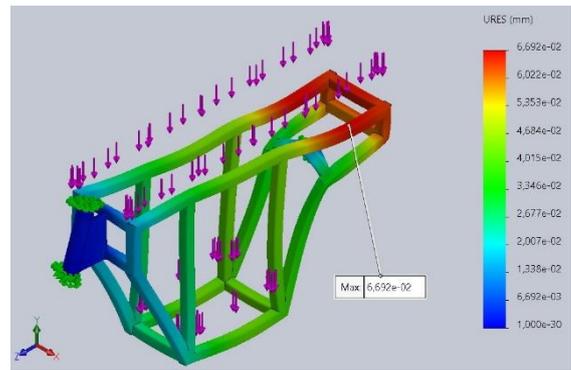


(b)

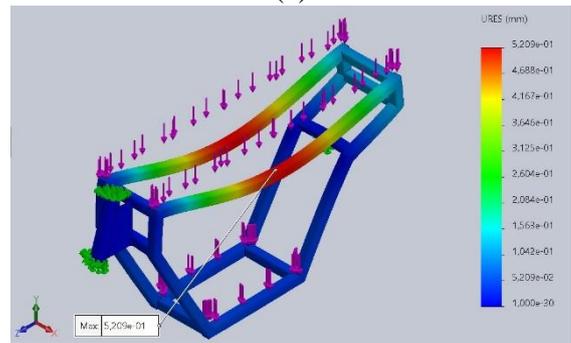
Gambar 5. Titik dengan konsentrasi tegangan tertinggi pada (a) Desain STR dan (b) Desain STN

3.2 Nilai Defleksi Total

Ketika mengalami pembebanan, struktur rangka mengalami deformasi atau perubahan bentuk, di mana pada studi ini, seberapa besar deformasi yang terjadi ditunjukkan melalui parameter Nilai Total Defleksi (total displacement). Dari hasil simulasi, diperoleh bahwa defleksi total maksimum yang dialami oleh Desain STR adalah sebesar 0.06692 mm pada bagian belakang dudukan jok. Sementara itu, dengan pembebanan yang sama, Desain STN mengalami defleksi total maksimum sebesar 0.5209 mm pada bagian tengah dudukan jok. Distribusi nilai total dari kedua rancangan dapat dilihat pada Gambar 6.



(a)

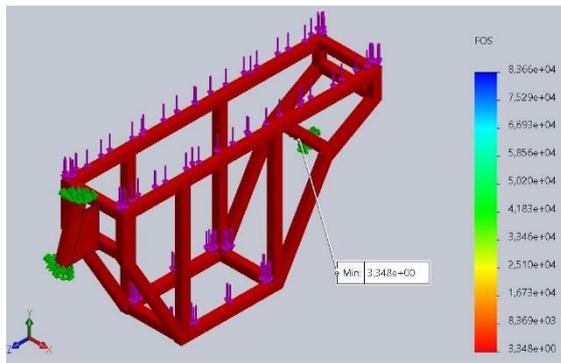


(b)

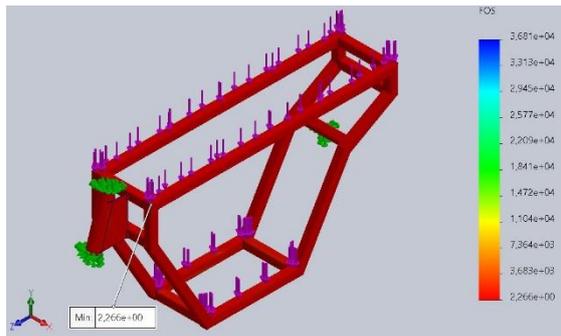
Gambar 6. Distribusi nilai defleksi total pada (a) Desain STR dan (b) Desain STN

3.3 Safety Factor

Nilai *safety factor* sangat dipengaruhi oleh nilai tegangan yang dialami oleh rangka, karena pada kasus ini *safety factor* sendiri merupakan perbandingan kekuatan luluh bahan rangka dengan nilai tegangan yang dialami oleh rangka. Diusahakan diperoleh nilai *safety factor* minimum sebesar mungkin yang mengindikasikan nilai tegangan yang dialami masih jauh dari nilai kekuatan luluhnya, yang menandakan bahwa rangka tersebut lebih aman dari deformasi plastis. Sesuai dengan pernyataan tersebut, diperoleh nilai *safety factor* minimum pada Desain STR yang lebih besar, yaitu 3.348, dibandingkan pada Desain STN sebesar 2.266.



(a)



(b)

Gambar 7. Nilai *safety factor* pada (a) Desain STR dan (b) Desain STN

3.4 Pembahasan

Hasil yang diperoleh dari simulasi pembebanan statis terhadap kedua rancangan rangka sepeda motor listrik dijabarkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Parameter-parameter hasil simulasi pembebanan statis pada kedua rangka

Parameter	Desain Rangka	
	STR	STN
Tegangan <i>von mises</i> maksimum	74.67 MPa	110.3 MPa
Defleksi total maksimum	0.06692 mm	0.5209 mm
<i>Safety factor</i> minimum	3.348	2.266

Dari hasil di atas, diketahui bahwa penambahan *stiffener* pada rancangan rangka sepeda motor listrik berpengaruh terhadap ketiga parameter di atas. Untuk tegangan *von mises* maksimum, penambahan *stiffener* menurunkan nilai tegangan pada dudukan jok, sehingga seperti pada hasil simulasi Desain STR, nilai tegangan maksimum terjadi pada dudukan *shockbreaker*, yang mana

nilainya lebih kecil apabila dibandingkan dengan tegangan *von mises* maksimum pada Desain STN pada dudukan jok (74.67 MPa dibandingkan dengan 110.3 MPa).

Sesuai dengan fungsi utamanya, *stiffener* berfungsi untuk menahan terjadinya deformasi pada rangka sepeda motor listrik. Hal ini sejalan dengan hasil simulasi pada studi, di mana pada Desain STR, defleksi total maksimum dapat dikurangi hingga pada nilai 0.06692 mm pada bagian belakang dudukan jok. Nilai ini jauh lebih kecil apabila dibandingkan dengan Desain STN yang tidak memiliki *stiffener*, di mana nilai defleksi total maksimum yang terjadi adalah sebesar 0.5209 mm pada bagian tengah dudukan jok. Mengenai lokasi nilai defleksi total maksimum, pemberian *stiffener* pada Desain STR membantu menahan terjadinya deformasi pada struktur dudukan jok bagian tengah, sehingga nilai defleksi maksimum tidak terjadi pada bagian ini, melainkan pada bagian belakang dudukan jok dengan nilai yang relatif lebih kecil.

Pada studi ini, nilai *safety factor* yang membandingkan nilai tegangan luluh bahan dengan nilai tegangan sebenarnya yang dialami oleh struktur menandakan seberapa aman struktur tersebut dari deformasi plastis. Dengan menetapkan nilai kekuatan luluh baja ASTM A36 sebesar 250 MPa, diperoleh nilai *safety factor* pada Desain STR yang lebih besar, yaitu 3.348, dibandingkan pada Desain STN, yaitu senilai 2.266. Kedua nilai ini sebenarnya masih di atas ambang aman untuk *safety factor* struktur yang mengalami pembebanan statis, yaitu sebesar 2.0 [10]. Namun secara umum dari keseluruhan hasil di atas dapat disimpulkan bahwa penambahan *stiffener* dengan konfigurasi seperti Desain STR dapat mengurangi tegangan serta defleksi pada rangka sepeda motor listrik secara signifikan.

4. Kesimpulan dan Saran

Analisis nilai-nilai tegangan *von mises*, defleksi total, dan *safety factor* pada

kedua rancangan rangka sepeda motor listrik melalui simulasi dengan metode elemen hingga telah dilakukan. Dari hasil simulasi, diperoleh bahwa penambahan *stiffener* pada rangka sepeda motor listrik dengan konfigurasi vertikal menyangga dudukan jok dapat menurunkan nilai tegangan *von mises* dan defleksi total maksimum secara signifikan. Pengurangan tegangan *von mises* pada struktur selanjutnya berdampak pada peningkatan nilai *safety factor* secara signifikan.

Referensi

- [1] Amrullah, U. S., Perkasa, R. E., Fakhrudin, M., 2023, *Prototype Design Of E-Bmx 2000 Watt Electric Motorcycle*, Journal of Engineering Design and Technology, Vol. 23, No. 1, 55-61
- [2] <https://migas.esdm.go.id/post/read/tekan-emisi-karbon-indonesia-naikkan-target-e-ndc-jadi-32-persen> “Tekan Emisi Karbon, Indonesia Naikkan Target E-NDC Jadi 32 Persen”, diakses pada tanggal 14 April 2023 pukul 14.02 WIB
- [3] Saga, M., Blatnicky, M., Vasko, M. *et al.*, 2020, *Experimental Determination of the Manson-Coffin Curves for an Original Unconventional Vehicle Frame*, Materials, Vol. 13
- [4] Hibbeler, R. C., 2018 *Mechanics of Materials in SI Units*, Tenth Edition, Pearson
- [5] Irshad, K., Krishna, M., V., 2014, *Analysis of Chassis With & Without Stiffener using FEM*, International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, Vol. 3, No. 2
- [6] Setiawan, R., Sugiyanto, D., Daryus, A., 2022, *Analisis Simulasi Kekuatan dan Pembuatan Rangka Kendaraan Sepeda Motor Listrik*, Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur, Vol. 8, No. 1, 58-66
- [7] Hadipratomo, W., 2005, *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*, PT. Danamartha Sejahtera Utama (anggota IKAPI), Bandung
- [8] Mustaqiem, A. D., Nurato, 2020, *Analisis Perbandingan Faktor Keamanan Rangka Scooter Menggunakan Perangkat Lunak Solidworks 2015*, Jurnal Teknik Mesin, Vol. 9, No. 3 164-172
- [9] Wibawa, L. A. N., 2020, *Studi Numerik Pengaruh Radius Fillet dan Ketebalan Cap terhadap Tegangan Von Mises dan Faktor Keamanan Silinder Berdinding Tipis untuk Tabung Motor Roket*, Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 15, No. 1, 1-9
- [10] Setyono, B., Mrihenaningtyas, Hamid, A., 2016, *Perancangan dan Analisis Kekuatan Frame Sepeda Hibrid “Trisona” Menggunakan Software Autodesk Inventor*, Jurnal IPTEK, Vol. 20, No. 2, 37-46