JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Vol. 5, No. 2, Desember 2020, Hal. 319-326
Terakreditasi "**Peringkat 3"** oleh Kemenristek/BRIN, Nomor SK: 85/M/KPT/2020
DOI: 10.31544/jtera.v5.i2.2020.319-326
p-ISSN 2548-737X
e-ISSN 2548-8678

Perancangan dan Simulasi Desain Rangka Sepeda Motor Listrik Tipe *Trellis* Menggunakan *Finite Element Analysis*

Gatot Eka Pramono[#], Ari Hidayat, Roy Waluyo
Program Studi Teknik Mesin, Universitas Ibn Khaldun Bogor
Jl. K. H. Soleh Iskandar KM. 2 Kedung Badak, Bogor 16161, Indonesia
[#]Gatot@uika-bogor.ac.id

Abstrak

Sepeda motor listrik merupakan salah satu kendaraan yang memanfaatkan tenaga listrik sebagai sumber tenaganya. Listrik sebagai sumber energi disimpan di dalam baterai. Energi listrik yang tersimpan diubah menjadi energi gerak menggunakan motor listrik. Salah satu komponen penting dalam motor adalah rangka. Rangka berfungsi untuk mendukung keberadaan komponen-komponen diantaranya motor listrik, transmisi, baterai, pegas dan lain-lain. Pada rangka pulalah dipasangkan *body* kendaraan. Dalam penelitian ini dilakukan perancangan rangka sepeda motor listrik tipe *trellis.* Tipe *trellis* dipilih karena mudah didesain dan dapat menyokong dan memberi dudukan yang kuat. Analisis kekuatan rangka menggunakan *Finite Element Analysis* (FEM). *Software* yang digunakan adalah *Autodesk Inventor-Simulation Mechanical*. Penelitian ini bertujuan mendapatkan distribusi tegangan, regangan, dan *displacement* sebagai pertimbangan dalam menentukan dimensi dan material yang tepat, yang akan digunakan pada rangka sepeda motor listrik. Pengujian statik dari kedua model desain rangka dengan memberi beban 120 kg, 130 kg, 140 kg, 150 kg, dan 170 kg. Untuk menentukan desain terbaik dari hasil pengujian *static* dengan nilai hasil tegangan maksimal dari pembebanan terbesar 170 kg adalah 16,15 N/mm^2, defleksi 0,05 mm, dan nilai *safety factor* 19,6 E+ 02, maka dipilih desain rangka 2 untuk sepeda motor listrik. Berdasarkan hasil analisa dari kedua desain rangka sepeda motor listrik mendapatkan hasil simulasi kekuatan dan *safety factor* terbaik sehingga aman digunakan.

Kata kunci: FEM, rangka, *trellis*, sepeda motor listrik, tegangan

Abstract

The electric motorcycle is one of the vehicles that use electricity as a source of energy. In a battery as a source of energy is stored. Electrical power converted into motion point using an electric motor. The frame an essential component of an electric motor. The frame functions to support the existence of elements, including; electrical motor, transmissions, batteries, springs, and others. on the framework also paired the vehicle body. In this study, the design motorcycle frame using the trellis type. It chooses because easy to design and can support and provide a firm stand. Frame strength analysis uses the finite element method. The software used is Autodesk Inventor Simulation Mechanical. This study aims to get the distribution of stress, strain, and displacement. The simulation result uses as determining the exact dimensions and that the framework material used. Static testing by giving a load of 120 kg, 130 kg, 140 kg, 150 kg, and 160 kg. The best design of the results, with the maximum stress value from the highest loading 160 kg = 1.615 N /mm^2. The maximum deflection is 0.0050 mm, and the value of the safety factor is 1.96E+02. It selected frame design 2 for the electric motorcycle. Optimization of stress distribution and deflection is at the end of the frame. Conclusion: Based on the results of the analysis of the two electric motorbike frame designs, get the best power and safety simulation results, so it is safe to use.

Keywords: *FEM, Frame, Trellis, electric motorcycle, stress*

I. PENDAHULUAN

Masalah polusi dari penggunaan sepeda motor merupakan salah satu faktor penting yang harus diperhatikan dalam menjalankan aktivitas sehari-hari, karena salah satu faktor penyumbang polusi udara yang paling besar adalah kendaraan [1]. Asap kendaraan yang diproduksi oleh milyaran

Diterima: 9 Agustus 2020; Direvisi: 29 Agustus 2020; Disetujui: 22 September 2020
JTERA, Vol. 5, No. 2, Desember 2020
© 2020 JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Politeknik Sukabumi

kendaraan setiap harinya akan menyebabkan polusi udara. Oleh karena itu, perlu mencari kendaraan alternatif yang cukup potensial untuk menggantikannya, salah satunya dengan mengembangkan sepeda motor listrik yang relatif lebih ramah lingkungan [2]. Sepeda motor listrik merupakan salah satu kendaraan yang memanfaatkan tenaga listrik sebagai sumber tenaganya. Energi listrik disimpan dalam baterai yang kemudian diubah menjadi energi mekanik menggunakan motor listrik [3].

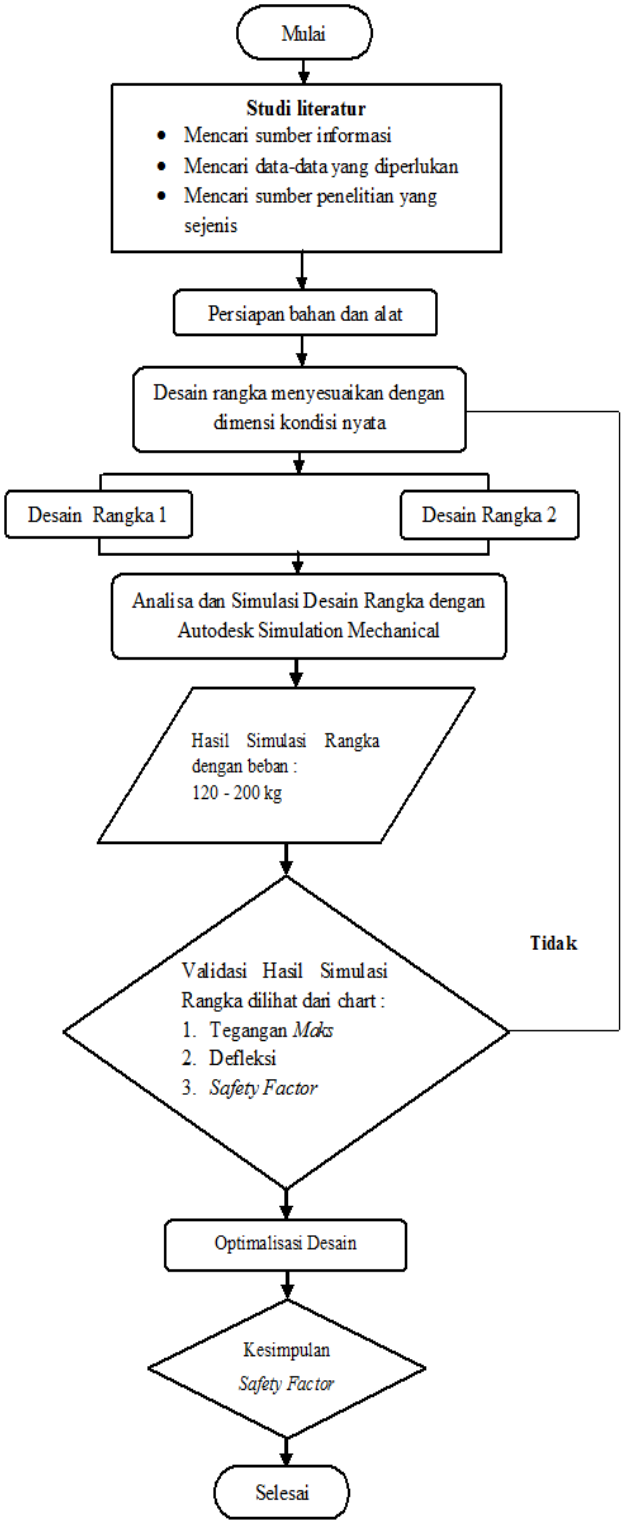
Beberapa peneliti telah melakukan upaya pengembangan sepeda motor listrik diantaranya; Nurhadi mendesain sepeda motor listrik yang dibuat menggunakan penggerak motor DC, serta menguji kecepatan kendaraan terhadap arus baterai yang digunakan dan pengaruh variasi berat pengemudi. Dari penelitian diperoleh hasil berupa proptipe sepeda motor listrik mini dengan kecepatan maksimal 20 km/jam. Berat pengemudi 19,5 – 29,4 kg dan kecepatan motor 10-20 km/jam [2]. Suwandi dkk. melakukan penelitian tentang manufaktur prototipe konstruksi rangka sepeda motor listrik kapasitas 1 kW dengan penggerak roda belakang [4].

Pada kendaraan bermotor, rangka merupakan bagian terpenting yang akan menahan dan sebagai tempat dudukan berbagai macam komponen-komponen, serta mendukung beban komponen tersebut pada sistem kendaraan. Perhitungan kekuatan rangka merupakan hal yang sangat penting unuk memastikan rangka mampu menahan beban. Perhitungan kekuatan rangka dapat dilakukan secara manual (*hand calculation*) atau dengan menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA). Banyak *software* yang bisa digunakan seperti Solidworks [5], Autodesk Inventor [6], CATIA [7], dan Ansys [8]. FEA telah banyak digunakan sebagai *tool analysis* untuk memperoleh gambaran distribusi tegangan dan memprediksi kekuatan struktur [9]. Penggunaan FEA dalam memprediksi kekuatan suatu konstuksi sistem mekanikal dapat menekan biaya desain bila dibandingkan dengan eksperimen [10].

Dalam penelitian ini, akan dilakukan perancangan rangka dan simulasi rangka sepeda motor listrik. Rangka yang akan dibuat menggunakan rangka tipe *trellis frame*, karena tipe ini mudah didesain. Selain itu, rangka tipe ini dapat menyokong dan memberi dudukan yang kuat dari beban yang akan diterima oleh rangka [11]. Penelitian ini bertujuan mendapatkan hasil imulasi terbaik. Simulasi dilakukan dengan memvariasikan dua model rangka dan variasi beban simulasi. Dari hasil simulasi akan dipilih model rangka yang memiliki tegangan, *displacement*, dan *strain* paling rendah serta memiliki *safety factor* paling tinggi. Proses simulasi model rangka menggunakan software *Autodesk Simulation Mechanical* 2017.

II. METODE PENELITIAN

Diagram alir penelitian seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan analisis kekuatan rangka menggunakan *tool FEA Autodesk Simulation Mechanical*. Dua desain model rangka disimulasikan menggunakan *static analysis*. Dalam simulasi akan membandingkan distribusi dan besarnya *tegangan*, *displacement*, *regangan*, serta nilai *safety factor*. Material yang digunakan dalam simulasi disesuaikan dengan material yang tersedia dipasaran yaitu AISI 1015.

Desain rangka ini menggunakan konsep sepeda motor jenis Supermoto yang mampu digunakan hampir di segala medan jalan yang terjal. Setelah didapatkan model desain terbaik, dilakukan optimasi untuk dapat menguragi tegangan dan *displacement* yang terjadi dengan menambahkan memberi radius pada bagian yang dianggap perlu. Tahapan yang dilakukan dalam perancangan ini adalah membuat dua desain perancangan rangka tipe *trellis frame* dan menentukan jenis bahan yang dipakai, melakukan *static analyis* kontruksi rangka menggunakan *Autodesk Simulation Mechanical*, dan analisis data hasil simulasi.

Desain rangka yang akan dibandingkan seperti terlihat pada Gambar 2. Material yang digunakan dalam pembuatan rangka ini adalah besi Hollow AISI 1015.

Dengan komposisi kimia:
- Karbon *max*. = 0,13 – 0,18 %
- *Iron* (Fe) = 99,13 – 99,57 %
- Sulfur (S) = ≤ 0,050 %
- Posfor *max*. = ≤ 0,040 %
- Belerang *max*. = 0,01 – 0,06 %

Sifat mekanik:
- Tegangan luluh = 325 Mpa
- Tegangan tarik = 385 Mpa
- *Elongation* = 21 %

Desain rangka 1 menggunakan Hollow ukuran 30 x 30 x 3 mm dengan material AISI 1015. Spesifikasi desain sebagai berikut:
- Panjang rangka = 800,37 mm
- Lebar rangka = 226 mm
- Total Hollow = 8 pcs

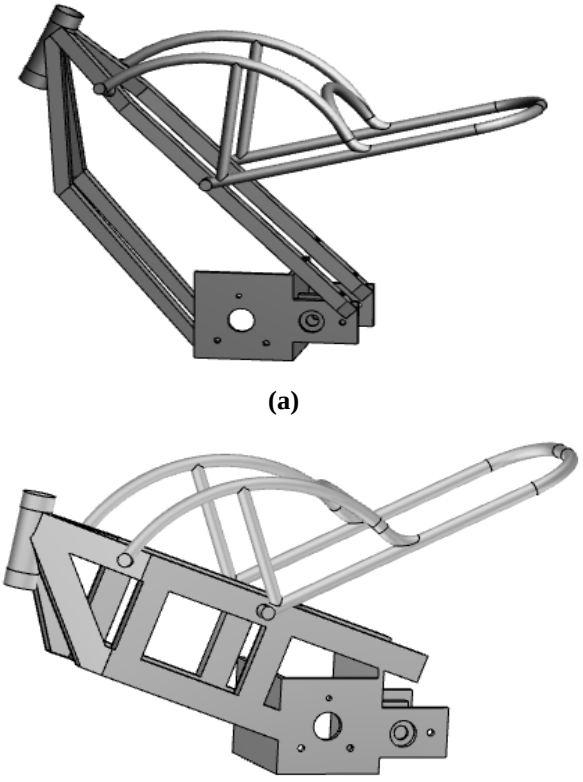
Desain rangka 2 menggunakan Hollow ukuran 50 x 25 x 1,4 mm dengan tipe material AISI 1015. Spesifikasi desain rangka 2 adalah sebagai berikut:
- Panjang rangka = 761,29 mm
- Lebar rangka = 220 mm
- Total Hollow = 15 pcs

Dari dua model desain rangka yang telah dibuat, maka proses selanjutnya melakukan simulasi *static analysis* menggunakan Simulation Mechanical. Kedua desain rangka akan diberikan beban keseluran total rangka dengan beban 120 kg, 130 kg, 140 kg 150 kg dan 170 kg. Optimasi desain rangka akan dilakukan jika model desain sudah terpilih. Maka akan dilakukanya proses desain selanjutnya dengan memberi radius pada kedua ujung rangka yang terpilih sebesar 1,64 mm untuk mengurangi tegangan dan defleksi pada rangka.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Tegangan pada Desain Rangka 1

Setelah semua parameter simulasi diatur, dilakukan simulasi dengan pembebanan secara berturut-turut 120 kg, 130 kg, 140 kg, 150 kg, dan 170 kg, maka nilai tegangan maksimum dan minimum rangka 1 pada berbagai pembebanan dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil simulasi menunjukan nilai tegangan bertambah seiring bertambahnya beban.



(a)

(b)

Gambar 2. Desain rangka (a) 1 dan (b) 2

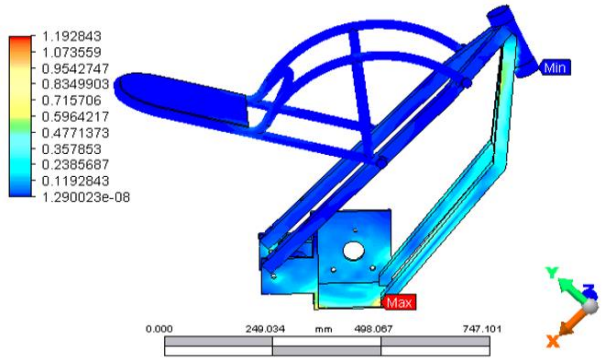
Tabel 1. Tegangan yang terjadi pada rangka 1

No	Beban (kg)	Tegangan min. (N/mm²)	Tegangan maks. (N/mm²)
1	120	6,352E-09	12,19392
2	130	6,352E-09	12,19517
3	140	6,352E-09	12,19583
4	150	6,352E-09	12,19649
5	170	6,352E-09	12,19715

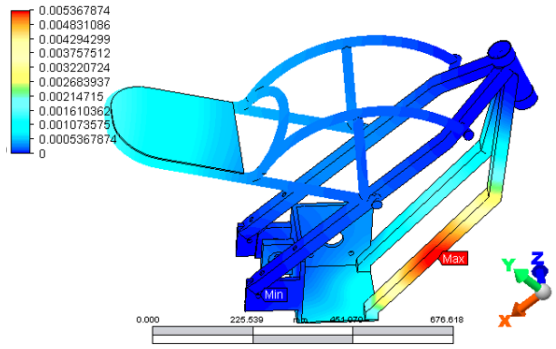
Distribusi tegangan hasil simulasi *static* pada rangka 1 seperti dapat dilihat pada Gambar 3, dimana tegangan maksimum terjadi pada bagian bawah rangka.

B. Defleksi pada Desain Rangka 1

Defleksi maksimum terjadi pada *frame* bagian bawah seperti ditunjukan ditunjukan pada Gambar 4. Nilai defleksi pada berbagai pembebanan dapat dilihat pada Tabel 2. Dari data terlihat defleksi semakin besar seiring bertambahnya beban. Defleksi maksimum terjadi pada beban 170 kg yaitu sebesar 0,060088 mm.



Gambar 3. Tegangan pada rangka 1



Gambar 4. Defleksi terhadap beban rangka 1

Tabel 2. Defleksi pada rangka 1

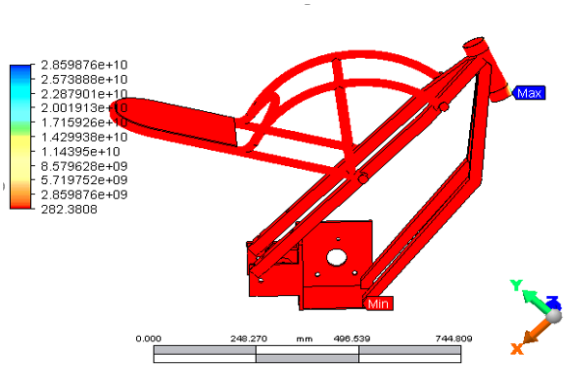
No	Beban (kg)	Defleksi Min. (mm)	Defleksi Max. (mm)
1	120	0	0,060056
2	130	0	0,060068
3	140	0	0,060075
4	150	0	0,060082
5	170	0	0,060088

C. Safety Factor pada Desain Rangka 1

Hasil simulasi *safety factor* seperti terlihat pada Gambar 5. Rangka memiliki *safety factor* yang sangat tinggi. Seperti ditunjukkan Tabel 3, secara keseluruhan *safety factor* memiliki nilai paling rendah 28. Dengan nilai ini dapat dikatakan rangka sangat aman.

D. Tegangan pada Desain Rangka 2

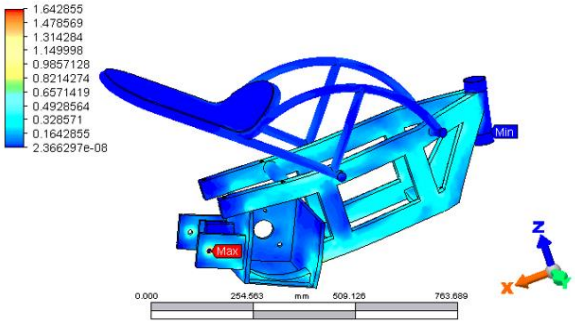
Distribusi tegangan hasil simulasi *static* pada rangka 2 seperti terlihat pada Gambar 6. Tegangan maksimum terjadi pada bagian bawah rangka yaitu pada daerah di dekat *swing arm* dengan nilai ditampilkan pada Tabel 4.



Gambar 5. *Safety factor* pada rangka 1

Tabel 3. *Safety factor* pada rangka 1

No	Beban (kg)	*Safety factor* max. (mm)	*Safety factor* min. (mm)
1	120	4,9414 E+10	28,052
2	130	4,9436 E+10	28,050
3	140	4,9458 E+10	28,049
4	150	4,9479 E+10	28,047
5	170	4,9520 E+10	28,046



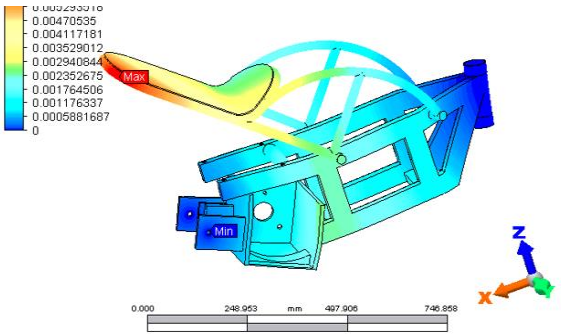
Gambar 6. Tegangan pada rangka 2

E. Defleksi pada Desain Rangka 2

Defleksi maksimum terjadi pada bagian tempat duduk penumpang seperti pada Gambar 7. Nilai defleksi pada berbagai pembebanan seperti terlihat pada Tabel 5. Dari data terlihat defleksi semakin besar seiring bertambahnya beban. Defleksi maksimum terjadi pada beban 170 kg yaitu sebesar 0,062 mm.

Tabel 4. Hasil tegangan pada rangka 2

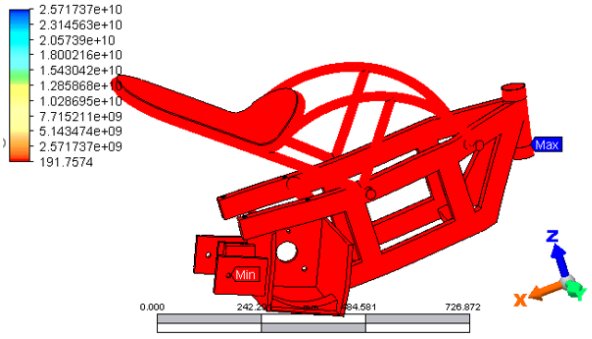
No	Beban (kg)	Tegangan min. (N/mm²)	Tegangan max. (N/mm²)
1	120	1,31E-09	12,39
2	130	1,28E-09	12,40
3	140	1,29E-09	12,42
4	150	1,30E-09	12,43
5	170	1,31E-09	12,45



Gambar 7. Defleksi terhadap beban rangka 2

Tabel 5. Hasil defleksi pada rangka 2

No	Beban (kg)	Defleksi min. (mm)	Defleksi max. (mm)
1	120	0	0,059
2	130	0	0,060
3	140	0	0,060
4	150	0	0,061
5	170	0	0,062



Gambar 8. *Safety factor* rangka 2

F. Safety Factor pada Desain Rangka 2

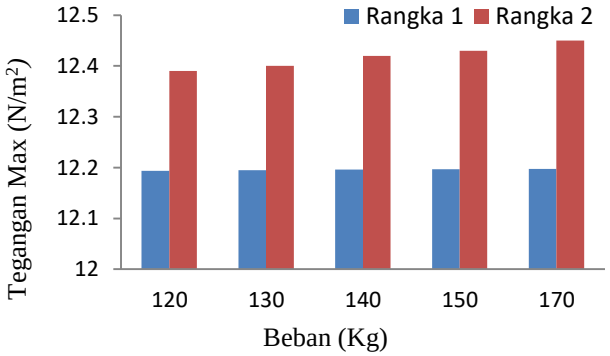
Nilai *safety factor* untuk berbagai pembebanan seperti terlihat pada Gambar 8 dan Tabel 6. Secara keseluruhan *safety factor* memiliki nilai paling rendah 25. Dengan nilai ini dapat dikatakan rangka sangat aman.

G. Perbandingan Hasil Pengujian Desain

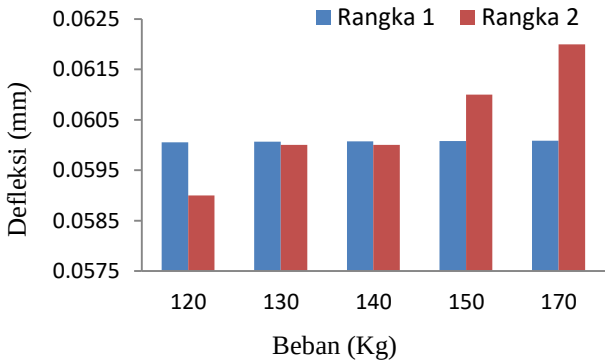
Seluruh desain yang telah dibuat dan dihitung kekuatan serta massanya kemudian dilakukan pemilihan desain menurut kriteria yang telah ditentukan. Dari kedua desain rangka yang memiliki hasil berbeda. Dimana dari hasil simulasi semua desain akan dipilih dari hasil simulasi kekuatan terbaik. Data simulasi kedua desain rangka ditunjukan pada Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11.

Tabel 6. Hasil *safety factor* pada rangka 2

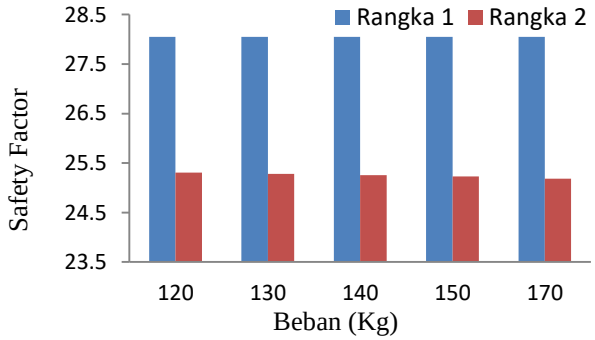
No	Beban (kg)	*Safety factor* min. (mm)	*Safety factor* max. (mm)
1	120	2,411E+11	25,304
2	130	2,437E+11	25,280
3	140	2,432E+11	25,256
4	150	2,406E+11	25,232
5	170	2,399E+11	25,186



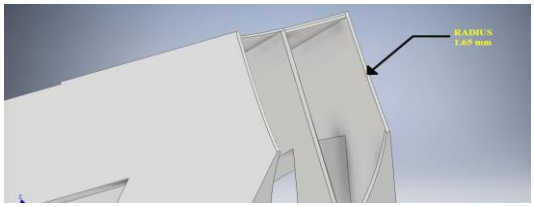
Gambar 9. Grafik perbandingan tegangan rangka



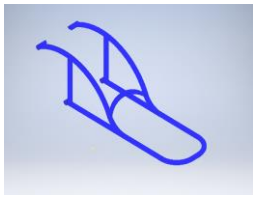
Gambar 10. Grafik defleksi kedua rangka



Gambar 11. Grafik *safety factor* kedua rangka



Gambar 12. Penambahan radius



Gambar 13. Dudukan pengemudi

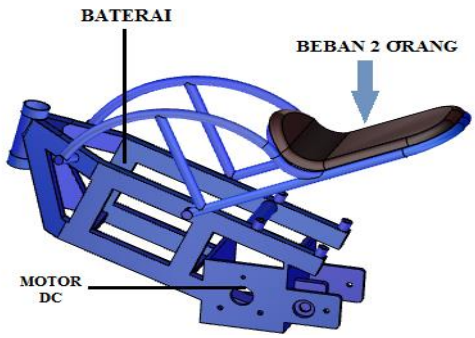


Gambar 14. Dudukan rangka

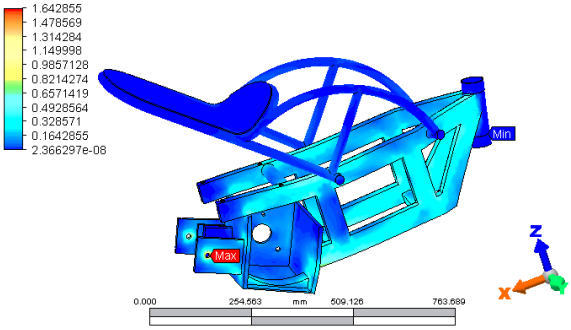
Nilai tegangan desain rangka 1 lebih rendah dari desain rangka 2. Namun, kedua desain memiliki perbedaan nilai tegangan yang tidak terlalu signifikan. Nilai defleksi terendah sampai dengan beban 170 kg adalah desain rangka 2. Dimana dari desain rangka 2 mempunyai nilai defleksi yang baik dari pada desain rangka pertama. Hasil dari perhitungan simulasi desain rangka 2 dari beban 170 kg nilai defleksi yaitu 0,062 mm. *Safety factor* kedua rangka memiliki nilai yang tinggi. Pada beban simulasi maksimum rangka 1 memiliki nilai 28,046 dan rangka 2 sebesar 25,18.

H. Optimasi Desain

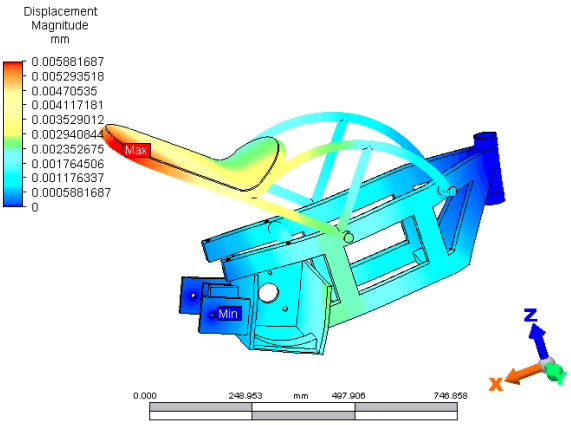
Optimasi desain rangka yang terpilih untuk mendapatkan dimensi, kekuatan, dan defleksi yang lebih baik. Selain dari itu, optimasi desain dilakukan untuk mendapatkan posisi pengemudi yang nyaman, dudukan motor yang tepat, dan suspensi yang stabil. Perbaikan desain dilakukan dengan memberi radius pada ujung rangka dekat komstir (Gambar 12) untuk kemudian dilakukan kembali simulasi untuk melihat distribusi tegangan, *displecment*, dan *safety factor* pada rangka. Adapun penambahan *part* pada rangka yaitu dudukan pengemudi dan dudukan rangka seperti pada Gambar 13 dan Gambar 14.



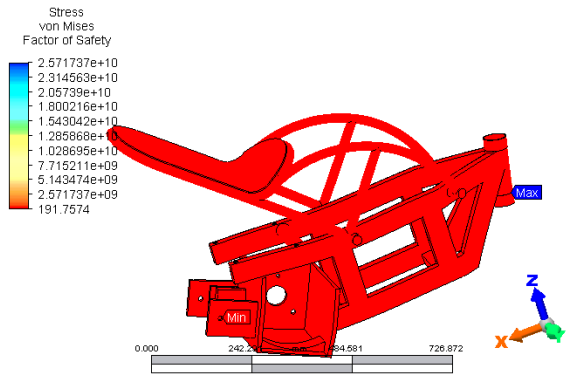
Gambar 15. Rangka hasil penambahan *part*



Gambar 16. Hasil simulasi tegangan



Gambar 17. Hasil simulasi defleksi optimasi



Gambar 18. Hasil simulasi *safety factor*

Dari *part* yang telah ditambahkan, maka terbentuk sebuah desain rangka sepeda motor listrik seperti Gambar 15.

I. Simulasi Hasil Optimasi

Nilai tegangan maksimum dan minimum serta distribusi tegangan pengujian statik pada desain rangka yang sudah dilakukan optimasi dengan menambahkan radius, dapat dilihat pada Gambar 16. Hasil simulasi menunjukan secara keseluruhan penambahan radius telah meningkatkan nilai tegangan. Menjadi 16,15 N/mm² meskipun nilai tegangan di dekat komstir menurun. Nilai defleksi yang terjadi pada rangka dapat dilihat pada Gambar 17. Penambahan *support* telah menurunkan defleksi menjadi 0,05 mm. Nilai *safety factor* yang terjadi pada rangka dapat dilihat pada gambar 18. Modifikasi pada rangka tidak meningkatkan nilai safety factor secara signifikan. Hal ini dikarenakan modifikasi dilakukan bukan pada bagian yang mengalami tegangan maksimum.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi *static* kedua rangka memiliki nilai tegangan yang terjadi di bawah kekuatan material. Kedua rangka memiliki *safety factor* yang tinggi sehingga keduanya aman untuk digunakan. Dari hasil simulasi dengan material yang sama bentuk rangka berpengaruh terhadap distribusi tegangan. Dimensi rangka akan berpengaruh terhadap nilai *safety factor*. Desain rangka 2 dipilih berdasarkan alasan kenyamanan pengemudi, kemudahan penempatan komponen dan kemudahan maufaktur.

REFERENSI

[1] Greeners.co, "Greeners.co," 16 Februari 2015. [Online]. Available: https://www.greeners.co. [Accessed 17 Oktober 2019].

[2] N. Nurhadi, "Pengembangan Sepeda Motor Listrik Sebagai Solusi Kendaraan ramah Lingkungan," in *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri 2018*, Malang, 2018.

[3] A. D. Zainuri Fuad, "Optimalisasi Rancang Bangun Mobil Listrik Sebuah Studi Kendaraan Hemat Energi Sebagai Solusi Alternatif," *Poli-Teknologi*, pp. 1-2, 2015.

[4] A. Suwandi, M. M. Wibisana, and D. Dahmir, "Manufaktur Prototipe Konstruksi Rangka Sepeda Motor Kapasitas 1 kW dengan Penggerak Roda Belakang," *SEMRESTEK*, 2018.

[5] M. A. Hendrawan, P. I. Purboputro, M. A. Saputro, and W. Setiyadi, "Perancanganchassis Mobil Listrik Prototype "Ababil" dan Simulasi Pembebanan Statik dengan Menggunakan Solidworks Premium 2016," *Proceeding of The URECOL*, 2018, pp. 96-105.

[6] M. H. A. Setyono Bambang, "Perancangan dan Analisis Kekuatan Frame Sepeda Hibrid "TRISONA" Menggunakan Software Autodesk Inventor," *IPTEK*, pp. 37-44, 2016.

[7] S. P. Sari and P. Santoso, "Analisis Tegangan Statik Pada Rangka Sepeda Motor Jenis Matic Menggunakan Software CATIA P3 V5R14," *Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri*, 2014.

[8] A. Imran, S. Samhuddin, and L. Hasanuddin, "Perancangan, Analisa dan Simulasi Rangka Sepeda Sepeda Listrik Untuk Masyarakat Perkotaan," *DINAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 52-58, 2018.

[9] A. Fahrudin, M. Rahmat, and R. Waluyo, "Rancang Bangun Tabung Udara Dingin Terkompresi dengan Tekanan 5 Bar," *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, vol. 4, no. 2, pp. 175-184, 2019.

[10] R. Waluyo, A. Ahmad, G. Pramono and F. Rizal, "Perancangan dan Analisis Kekuatan Rangka Cetakan Komposit Kayu-Plastik Menggunakan Finite Element Analysis," *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, vol. 5, no. 1, pp. 63-72, 2020.

[11] D. Darojat, *Sistem Rangka Pada Sepeda Motor*, Bandung: Direktorat Pembinaan Kursus dan Pelatihan, 2016.