

ANALISIS TEGANGAN VON MISES, DEFORMASI, DAN *SAFETY FACTOR* PADA RANGKA SEPEDA MOTOR MATIC 110 CC MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

*Faizal Rizky Susilo¹, Rifky Ismail², Budi Setiyana²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: faizalrizky2636@gmail.com

Abstrak

Rangka sepeda motor merupakan komponen struktural utama yang berfungsi menopang berat kendaraan, pengendara, serta beban dinamis lainnya yang terjadi selama berkendara. Kekuatan dan kekakuan rangka sangat mempengaruhi keamanan serta kenyamanan pengguna. Penelitian ini mengkaji kekuatan struktural rangka sepeda motor kapasitas 110 cc ketika diberi variasi pembebanan, menggunakan pendekatan metode elemen hingga. Simulasi dilakukan pada pembebanan kondisi diam (tidak bergerak). Simulasi yang dilakukan diberikan ke model rangka yang disimulasikan dengan beban sebesar 140 kg. Setelah disimulasikan, didapatkan hasil bahwa nilai deformasi, tegangan von Mises, dan *safety factor* berturut turut ialah. Dari semua hasil simulasi, nilai *safety factor* yang mengindikasikan keamanan rangka saat diberikan beban semuanya berada diangka lebih dari satu yang dapat diartikan bahwa rangka ini kokoh dan aman ketika digunakan pada kondisi seperti simulasi yang telah dilakukan.

Kata kunci: deformasi; faktor keamanan; rangka sepeda motor 110 cc; tegangan von mises

Abstract

The motorcycle frame is the main structural component that supports the weight of the vehicle, the rider, and other dynamic loads that occur during riding. The strength and stiffness of the frame greatly affect user safety and comfort. This study examines the structural strength of a 110 cc motorcycle frame under various loading conditions using the finite element method approach. The simulation was carried out under a static (non-moving) load condition. The frame model was subjected to a load of 140 kg. The simulation results show the values of deformation, von Mises stress, and safety factor respectively. From all simulation results, the safety factor values—which indicate the frame's safety under load—are all greater than one, meaning that the frame is strong and safe when used under the simulated conditions.

Keywords: 110 cc motorcycle frame; deformation; safety factors; von mises stress

1. Pendahuluan

Pada sepeda motor, komponen dengan kontribusi terbesar pada berat adalah rangka. Rangka, yang dalam istilah teknik sering disebut *body frame*, adalah struktur fundamental pada sepeda motor. Perannya tidak hanya sebagai penopang mesin, tetapi juga sebagai penghubung antara mesin, sistem suspensi, dan kelistrikan, sehingga terbentuk satu kesatuan kendaraan yang dapat bergerak. Selain itu, rangka juga berfungsi sebagai penahan beban dan tumpuan bagi pengendara maupun penumpang [1]. Sementara itu, supaya dapat bekerja sebagaimana mestinya, rangka sepeda motor dituntut memiliki karakteristik tertentu. Rangka harus cukup kuat dan kokoh untuk mendukung mesin beserta komponen lainnya, sekaligus menahan beban pengendara maupun penumpang tanpa mengalami deformasi. Di sisi lain, bobot rangka harus ringan agar tidak mengurangi efisiensi tenaga mesin. Kelenturan juga diperlukan agar rangka mampu mereduksi guncangan atau vibrasi berlebih ketika melewati permukaan jalan yang tidak rata.

Sepeda motor matik berkapasitas mesin 110 cc keluaran tahun 2020 umumnya menggunakan rangka tipe *underbone*, yang saat ini menjadi konstruksi rangka paling banyak diterapkan. Desainnya menghubungkan bagian depan rangka dengan area dudukan pengendara. Dibandingkan model rangka generasi sebelumnya, rancangan *underbone* memiliki jumlah komponen lebih sedikit, sehingga bobotnya berkurang sekitar 8% atau setara ± 4 kg. Proses pembuatannya dilakukan dengan membentuk pelat baja melalui teknik tekuk dan *press*. Plat baja itu lalu dilas laser, sehingga ada lipatan tulang di sisi-sisinya. Rangka ini dikembangkan untuk meningkatkan stabilitas *handling* pengendara. Sehingga, sepeda motor akan terasa mudah dikendarai dan ringan. Kemudian, rangka *underbone* yang disematkan pada sepeda motor akan menyisakan ruang lebih yang dapat digunakan untuk menambah kapasitas tangki bahan bakar. Selain itu, penggunaan rangka *underbone* yang relatif ringan memberikan keuntungan bagi pengendara karena dapat meningkatkan efisiensi konsumsi bahan bakar. Hal ini disebabkan berat kendaraan berpengaruh langsung terhadap kebutuhan bahan bakar, di mana semakin besar bobot maka semakin tinggi pula konsumsi yang diperlukan [2].

Pendekatan yang umum digunakan dalam analisis struktur adalah *finite element method*, yaitu metode simulasi berbasis komputer yang memungkinkan evaluasi perilaku suatu komponen. Hal ini dilakukan untuk mencari tahu besar tegangan, deformasi, dan *safety factor* yang berhubungan dengan kekuatan rangka tersebut. Diharapkan setelah dilakukannya analisis pada kekuatan rangka motor ini dengan *software*, kekuatan rangka dapat ditentukan dan dikaji untuk mencari tahu apakah pembebanan merupakan salah satu penyebab patah pada rangka atau tidak.

2. Landasan Teori

Struktur *underbone* pada sepeda motor berfungsi menghubungkan bagian depan kendaraan dengan posisi duduk pengendara. Rangka terbaru tipe ini diperkenalkan pada generasi sepeda motor matik modern sekitar tahun 2019, dan dikenal memiliki jumlah sambungan yang lebih sedikit dibandingkan desain sebelumnya. Saat ini, rangka tersebut digunakan secara luas pada berbagai model matik generasi terbaru [3].



Gambar 1. Rangka *underbone* versi terbaru

Analisis rangka dilakukan dengan mensimulasikan model rangka yang hasil simulasinya berupa *von mises stress*, deformasi, dan *safety factor*.

Tegangan von Mises

Tegangan von Mises merupakan kriteria kegagalan material yang menyatakan bahwa deformasi plastis terjadi ketika kombinasi tegangan triaksial menghasilkan energi regangan yang mendekati energi pada saat material mencapai tegangan luluh (*yield strength*).

Untuk berbagai alasan, Ketika mendesain elemen struktural, tegangan ijin (*allowable stress*) harus ditetapkan lebih rendah daripada kekuatan ultimit yang diperoleh dari pengujian statis [4]. Untuk menjamin keamanan, tegangan von Mises pada desain harus selalu berada di bawah nilai tegangan luluh. Persamaan 1 di bawah ini memberikan formulasi matematis tegangan von Mises [5].

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (1)$$

Deformasi

Deformasi merupakan perubahan posisi atau bentuk, hal ini disebabkan karena adanya gaya yang diterima [6]. Saat diberikan beban, benda akan mengalami perubahan bentuk ataupun ukurannya. Deformasi dapat didefinisikan sebagai hubungan dari tegangan dan regangan yang dikenal sebagai modulus elastisitas. Modulus elastisitas atau sering disebut Modulus Young, merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan aksial pada kondisi deformasi elastis. Besaran ini menunjukkan kemampuan material untuk mengalami perubahan bentuk sementara dan kembali ke kondisi semula setelah beban dilepas. Modulus elastisitas juga merepresentasikan tingkat kekakuan suatu material; semakin tinggi

nilainya, semakin kecil deformasi yang terjadi ketika gaya diberikan. Dengan demikian, pertambahan panjang tiap benda berbeda-beda sesuai dengan sifat elastisitas materialnya [7].

Safety Factor

Safety factor adalah faktor yang mengindikasikan tingkat kemampuan suatu bahan teknik untuk menahan beban luar, seperti beban tekan atau tarik. Gaya yang diperlukan agar bahan tersebut mencapai tingkat optimal dalam menahan beban luar sampai akhirnya pecah disebut sebagai beban *ultimate* (*ultimate load*). Dengan membagi beban *ultimate* dengan luas penampang, kita dapat menghitung kekuatan *ultimate* (*ultimate strength*) atau tegangan *ultimate* (*ultimate stress*) dari suatu bahan. Untuk material yang elastis, faktor keamanan seringkali didasarkan pada tegangan *yield point* (tegangan titik luluh). Faktor keamanan merupakan perbandingan antara tegangan maksimum dengan tegangan kerja seperti yang tercantum pada persamaan 2 [8].

$$\text{faktor keamanan} = \frac{\text{yield point stress}}{\text{working stress}} \quad (2)$$

Software FEA

Pada penelitian ini digunakan software ANSYS 2023 R1, yaitu perangkat lunak berbasis *finite element analysis* (FEA) yang berfungsi untuk melakukan simulasi di bidang teknik. Berdasarkan metode elemen hingga, ANSYS dapat memprediksi sifat-sifat suatu struktur dalam kondisi nyata. Penggunaan perangkat lunak ini sangat efektif karena mampu menghemat biaya dan waktu dibandingkan dengan pengujian langsung di laboratorium. Selain itu, struktur dengan bentuk yang kompleks juga dapat dianalisis secara detail menggunakan ANSYS. Objek penelitian dan kondisi batas (*boundary condition*) dapat diatur serta disesuaikan dengan kebutuhan analisis. Tidak hanya pada analisis perilaku struktural, ANSYS juga memiliki kemampuan untuk melakukan analisis termal, dinamika fluida, dan berbagai bidang rekayasa lainnya.

3. Metodologi Penelitian

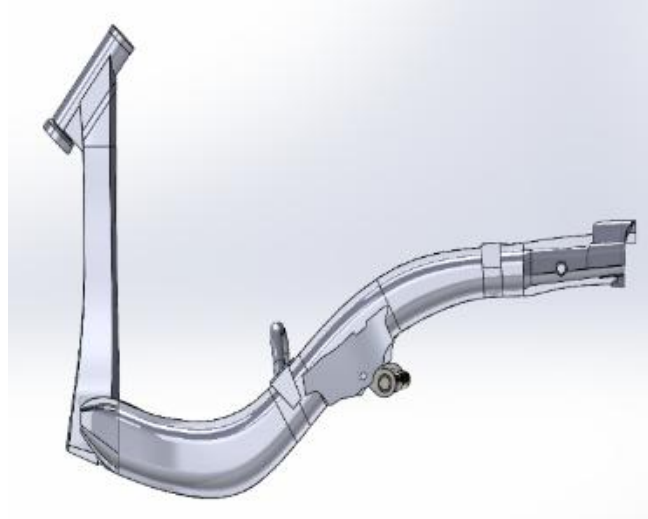
Penelitian yang dilakukan pada kali ini menggunakan bantuan aplikasi *Finite Element Analysis* (FEA) bernama Ansys 2023 R1. *Software* ini digunakan untuk melakukan simulasi statik pada rangka *underbone* sepeda motor.

Langkah awal dalam proses analisis rangka sepeda motor ini adalah melakukan pemindaian 3D terhadap rangka asli dari sepeda motor Honda Genio 2020. Tujuan dari pemindaian ini adalah untuk memperoleh model digital tiga dimensi (3D) dari rangka secara akurat, yang kemudian akan digunakan dalam proses pemodelan dan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak CAE (*Computer Aided Engineering*).



Gambar 2. Alat 3D scan (Einscan Pro 2x Plus)

Model rangka dibuat ulang secara manual di SolidWorks 2023 dengan merekonstruksi geometri hasil 3D *scan* melalui metode *reverse engineering*. Proses ini menyesuaikan ketebalan, bentuk, dan dimensi sesuai kebutuhan analisis sekaligus menyederhanakan geometri untuk mengurangi beban komputasi pada simulasi FEA di ANSYS. Hasil *scan* menunjukkan rangka asli rumit dan asimetris, terutama pada sambungan dan kurva, sehingga dilakukan desain ulang agar lebih bersih dan ideal, namun tetap mempertahankan bentuk umum serta dimensi penting rangka asli.



Gambar 3. Desain model rangka dengan *software* Solidwork 2023

Geometri yang digunakan pada simulasi adalah geometri rangka sepeda motor tanpa komponen lain seperti *fork*, roda, *cover body*, *handlebar*, dll. Geometri rangka yang selanjutnya digunakan dalam proses simulasi tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi desain rangka sepeda motor

Parameter	Dimensi
<i>Wheelbase</i>	1256 mm
<i>Caster angle</i>	26,37°
Panjang antara pusat roda depan dengan bagian ujung bawah <i>seat tube</i>	±410 mm
Ketebalan bagian horizontal rangka	±1,5 mm
Ketebalan bagian vertikal rangka	±2 mm
Tinggi rangka	±570,87 mm
Panjang rangka	±983 mm
Lebar maksimum rangka	±270 mm

Material yang digunakan pada simulasi rangka ini adalah Aisi 4130 dengan spesifikasi material yang dapat dilihat pada Tabel 2. Material ini akan di-*input* pada Ansys Workbench 2023 R1 sehingga material memiliki spesifikasi yang sama sesuai referensi.

Tabel 2. Sifat-sifat Material AISI 4130 [9]

Parameter	Nilai
<i>Density</i>	7850 kg/m ³
<i>Yield strength</i>	435 MPa
<i>Ultimate tensile strength</i>	670 MPa
<i>Shear modulus</i>	205 GPa
<i>Modulus of elatisity</i>	80 GPa
<i>Poisson ratio</i>	0,29

Setelah memasukkan *input* material rangka sepeda motor, tahap selanjutnya adalah mempersiapkan *running* simulasi yang dimulai dengan melakukan *meshing*. Proses *meshing* ialah proses distrikitisasi atau membagi suatu geometri menjadi bagian-bagian kecil yang dinamakan *grid/element*. *Grid/element* ini juga merupakan tempat dimana *solver* menghitung simulasi berdasarkan persamaan persamaan penyusunnya.

Meshing menjadi salah satu tahapan penting karena memengaruhi hasil simulasi yang akan dilakukan. Semakin baik proses *meshing*, maka akan semakin akurat hasil yang didapatkan.

Oleh karena itu, prosedur ini dijalankan dengan menyesuaikan parameter acuan yang sesuai dengan kebutuhan penelitian. Sementara itu ukuran *meshing universal* yang digunakan ialah 2 mm dengan massa penumpang 70 kg untuk satu orang dan 140 kg untuk 2 orang. Detail informasi *meshing* dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Informasi *meshing*

Keterangan	Nilai
<i>Total geometry</i>	1 body
<i>Element size structures</i>	2 mm
<i>Nodes</i>	3085457
<i>Total elements</i>	1758395
<i>Mesh elements</i>	Tetrahedral – <i>Patch Conforming</i>

Setelah dilakukan proses *meshing*, dilakukan uji kualitas *meshing* terhadap desain yang sudah dirancang. Hal ini diperlukan untuk mengetahui apakah hasil dari proses *mesh* valid, sehingga kita dapat menyimpulkan bahwa bentuk *mesh* yang digunakan sudah dapat mengorientasikan domain fisik dari model. Validasi dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya yaitu metode *skewness*. *Skewness* mengukur seberapa jauh bentuk elemen *mesh* menyimpang dari bentuk idealnya, jika sudut elemen terlalu tajam atau terlalu tumpul maka *skewness* akan meningkat. Hasil *mesh* yang memiliki nilai *skewness* yang rendah akan membuat simulasi menjadi lebih akurat, stabil, dan efisien. *Meshing* yang sudah dilakukan dan perbandingannya dengan *skewness table* ditunjukkan pada Gambar 4, 5 dan 6 sebagai berikut.

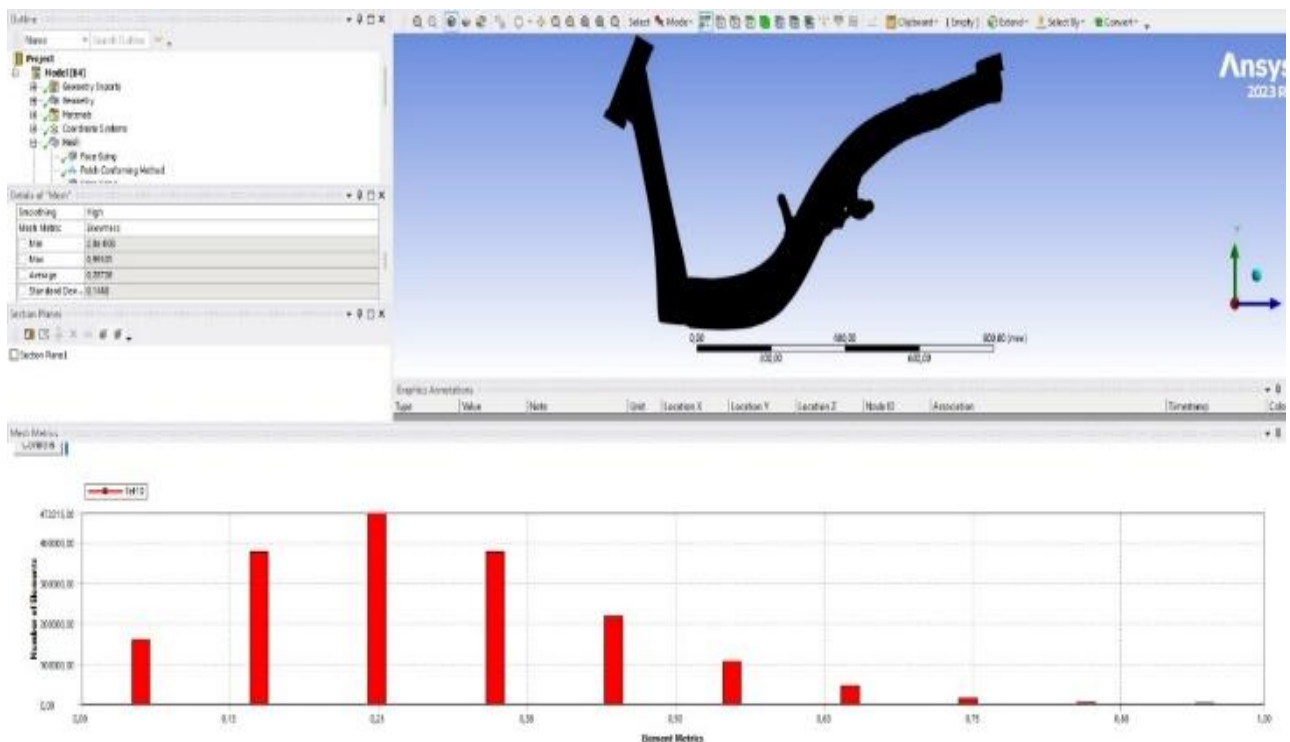
Skewness mesh metrics spectrum:

Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

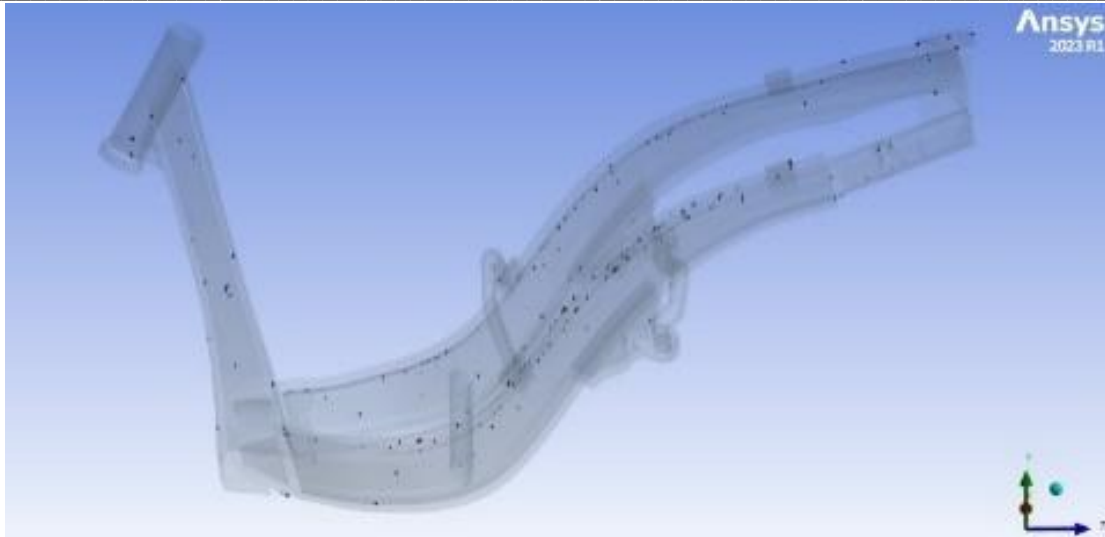
Orthogonal Quality mesh metrics spectrum:

Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

Gambar 4. Tabel *mesh skewness spectrum*



Gambar 5. *Skewness* pada rangka sepeda motor

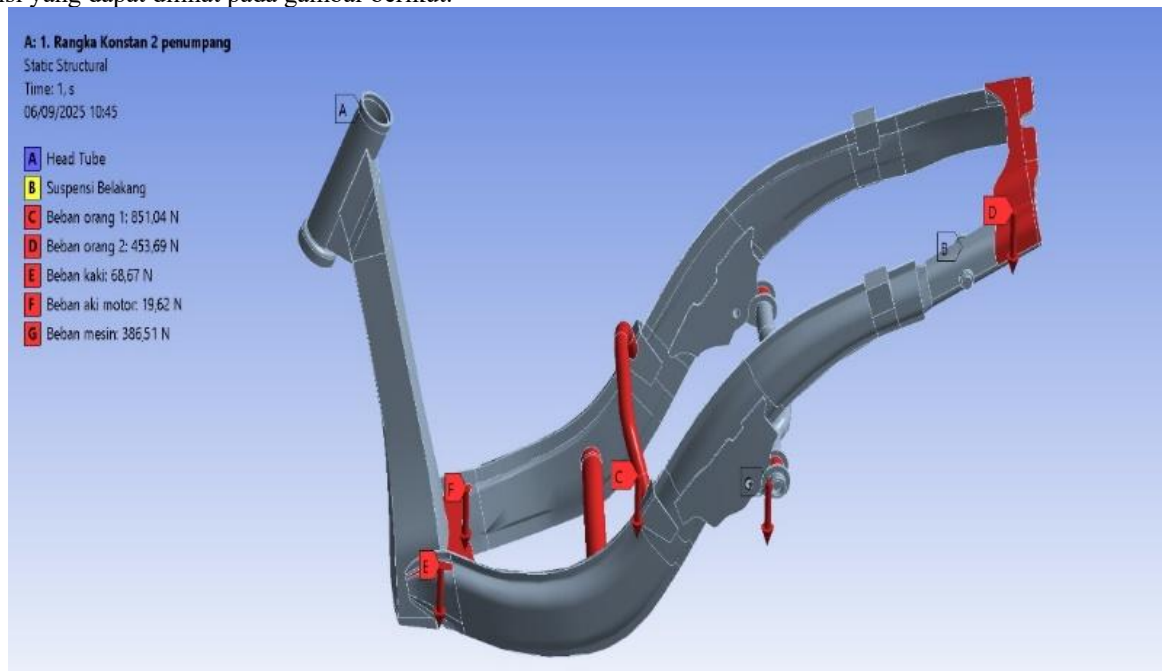


Gambar 6. Bagian *meshing* rangka dengan *skewness* lebih dari 0,9

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa hasil *meshing* rangka menunjukkan *average skewness* sebesar 0,28726. Dari nilai *skewness* tersebut, ukuran *meshing* model rangka *Underbone* dapat dikategorikan *very good*. Selain itu, jumlah elemen dengan nilai *skewness* di atas 0,9 - yang biasanya dianggap elemen berkualitas buruk, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 6 sangat sedikit sekali dan tidak signifikan terhadap keseluruhan *mesh*. Oleh karena itu, model ini dinilai cukup baik dan layak untuk digunakan dalam proses simulasi.

Dalam studi ini, metode konvergensi *mesh* tidak dilakukan karena proses tersebut membutuhkan waktu komputasi yang sangat lama dan tidak sebanding dengan peningkatan akurasi yang diperoleh. Mengingat keterbatasan waktu dan sumber daya, maka dilakukan pendekatan dengan mengoptimalkan kualitas mesh secara manual, terutama dengan mengacu pada parameter *skewness* untuk menjaga keseimbangan antara kualitas dan efisiensi simulasi.

Setelah dilakukan *meshing*, selanjutnya dapat dilakukan pemberian *constrain* dan pembebanan pada tiap kondisi yang dapat dilihat pada gambar berikut.



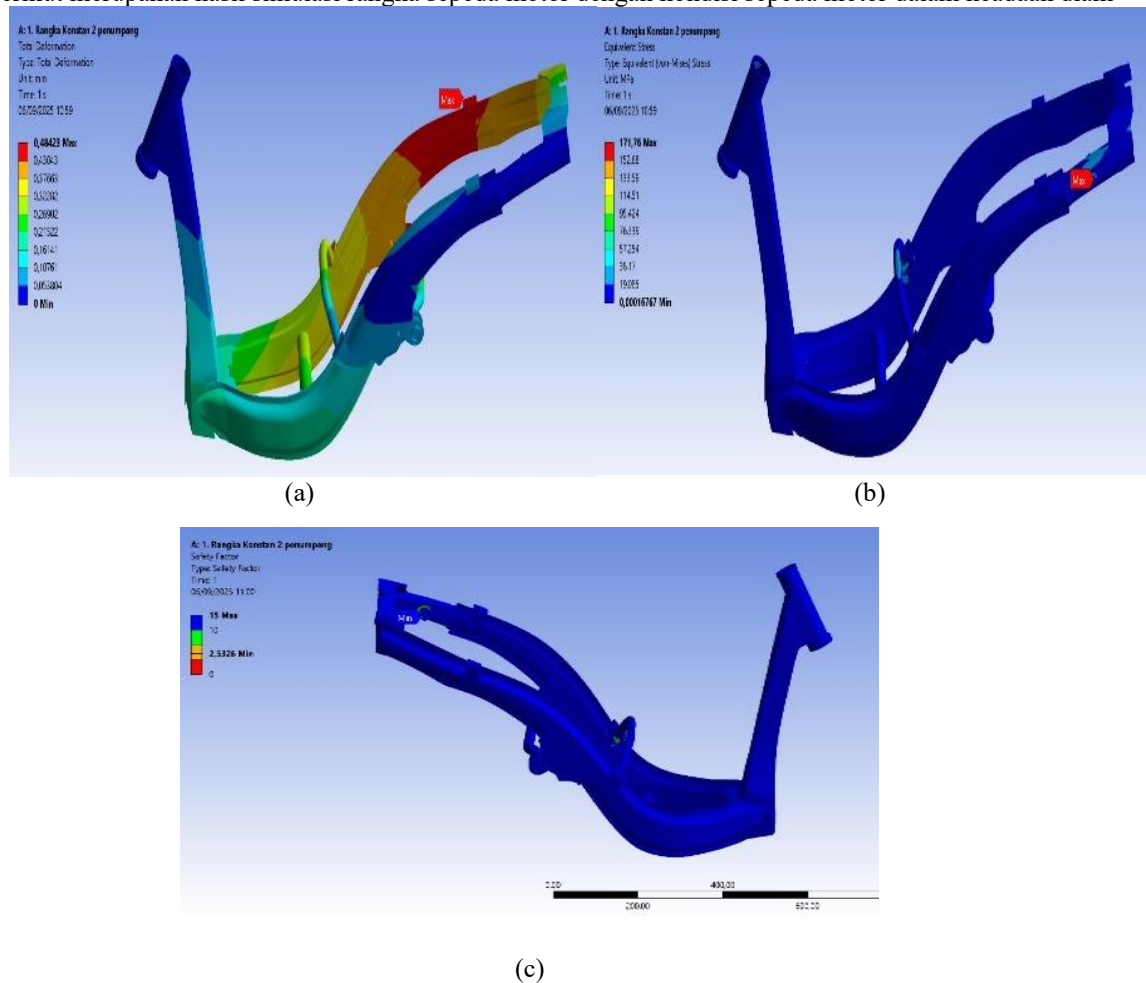
Gambar 7. Letak *constrain* dan pembebanan pada kondisi diam

4. Hasil dan Pembahasan

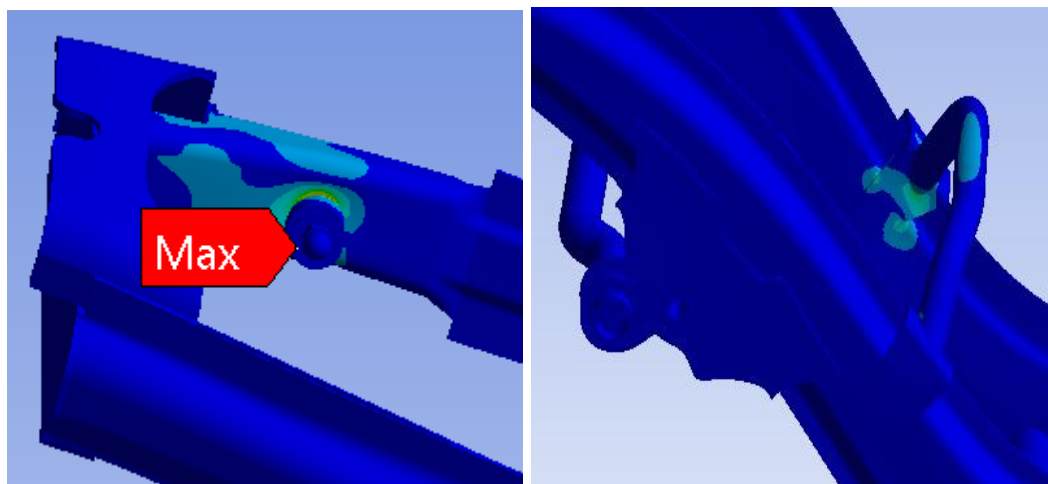
Hasil simulasi statik yang dilakukan dengan menggunakan pembebanan dan constrain yang telah diatur dan disesuaikan pada tiap kondisi simulasi.

a. Kondisi sepeda motor diam

Berikut merupakan hasil simulasi rangka sepeda motor dengan kondisi sepeda motor dalam keadaan diam



Gambar 8. Hasil simulasi kondisi sepeda motor diam (a) deformasi, (b) tegangan von Mises, (c) *safety factor*



Gambar 9. Perbesaran letak daerah tegangan maksimal hasil simulasi kondisi diam

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut untuk menjawab rumusan masalah penelitian. Saat rangka *underbone* dikenai pembebanan statik secara keseluruhan, rangka mampu menerima dampak yang dihasilkan oleh beban ini di berbagai kondisi, hal ini ditunjukkan dengan nilai *safety factor* dari semua simulasi yang telah dilakukan menunjukkan hasil yang masih berada diatas ambang batas *safety factor* dengan nilai lebih dari satu. Berdasarkan simulasi pada kondisi sepeda motor dalam keadaan diam, didapatkan hasil total deformasi, tegangan von Mises dan *safety factor* secara berturut-turut yaitu 0,48423 mm, 171,4 MPa, dan 2,5326. Selain itu, letak tegangan maksimal terbesar berada di daerah belakang bagian kiri rangka di sekitar *support* roda belakang.

6. Daftar Pustaka

- [1] Febritasari, R., Reza Agus Santoso, M., Arif Sutrisno, T., Adityo Pohan, G., Rahmadianto, F., Hari Prasawanto, D., Nani Prohatmi, T., & Yohanes Setyawan, E. (n.d.). Analisis Distribusi Tegangan Dan Deformasi Pada Rangka Motor Trail Dengan Metode Elemen Hingga.
- [2] Hastuti, S., Ramadhani, W., & Mulyaningsih, N. (n.d.). ANALISIS KEKUATAN PADA RANGKA SEPEDA MOTOR LISTRIK DENGAN METODE ELEMEN HINGGA. In *Jurnal Foundry: Politeknik Manufaktur Ceper 1 Jurnal Foundry* (Vol. 5, Issue 2).
- [3] Foysal Arnob, F., Shahnewaz Khan, M., & Humayun Kabir Bhuiyan, M. (2022). *Design, Fabrication and Analysis of Chassis for Electric Bike*.
- [4] Joseph Edward Shigley. (2015). *Mechanical Engineering Design Tenth Edition*.
- [5] Mott, R. L. 2009. Elemen-Elemen Mesin dalam Perancangan Mekanis. Edisi ke-4. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- [6] Ridho Sofyandi, M., Kurniawan, E., & Aldrian Wicaksono, R. (2022). Rancang Bangun 3D Scanner Sebagai 3D Metrologi Dengan Metode Fotogrametri Rentang Dekat (Vol. 3, Issue 1).
- [7] Jelani, K. M., Razip, M. H. M., Nazri, N. A., Sani, M. S. M., & Yasar, M. (2019). *Dynamics investigation on motorcycle chassis based on Finite Element (FE) modelling and updating*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 469(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/469/1/012103>
- [8] Kriswanto, dan W. Widayat. 2015. *Bahan Ajar Elemen Mesin*. Semarang: UNNES.
- [9] Wong, J. Y. (2001). *Theory of ground vehicles*. Wiley.
- [10] Cossalter, V. (2002). *Motorcycle Dynamics Second Edition*.