

ANALISIS DESAIN RANGKA SCOOTER LISTRIK TIPE MONOCOQUE TERHADAP KEKUATAN MATERIAL DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Firjatullah^[1], Sibut^[2], Rosadila Febritasari^[3]

Progam Studi Teknik Mesin S-1, Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknolgi Nasional Malang

Email : [Tullahfirja26.@gmail.com](mailto:Tullahfirja26@gmail.com)

ABSTRACT

Rangka atau frame yaitu merupakan komponen yang penting pada scooter. Rangka atau frame yang ada pada scooter harus mempunyai keamanan dan kekuatan yang baik agar tidak mencelakai pengendara scooter listrik. Tujuan penelitian kali ini bertujuan untuk merancang desain scooter listrik dengan tipe rangka monocoque dan dilanjutkan analisis finite element analysis (FEA) agar mendapatkan Nilai dari distribusi deformasi, faktor keamanan, dan nilai tegangan dengan menggunakan material aluminium 3003 dan material baja AISI 1018 dengan rangka tipe monocoque menggunakan Open CAD Software. Dari penelitian yang telah dilakukan untuk nilai equivalen stress maksimal rangka menggunakan material aluminium sebesar 85,131 MPa sedangkan untuk rangka scooter menggunakan material baja AISI 1018 yaitu 84,123 MPa. Untuk Nilai total deformasi maksimal yang ada pada rangka dengan material aluminium 3003 sebesar 13,876 mm, nilai total deformasi maksimal ini lebih besar dari rangka dengan material baja AISI 1018 sebesar 4,9761 mm. Untuk nilai angka keamanan minimal yang ada pada rancangan rangka scooter dengan menggunakan material baja AISI 1018 sebesar 4,3983, nilai ini lebih besar dari pada rancangan rangka scooter dengan material aluminium 3003 sebesar 2,1849. Rekomendasi dari peneliti Apabila ingin membuat rangka scooter listrik dengan tipe monocoque dengan bobot rangka yang lebih ringan maka material yang digunakan yaitu aluminium 3003.

Kata Kunci : Rangka Monoque, Rangka Scooter, Aluminium 3003, Baja AISI 1018, Scooter Listrik

PENDAHULUAN

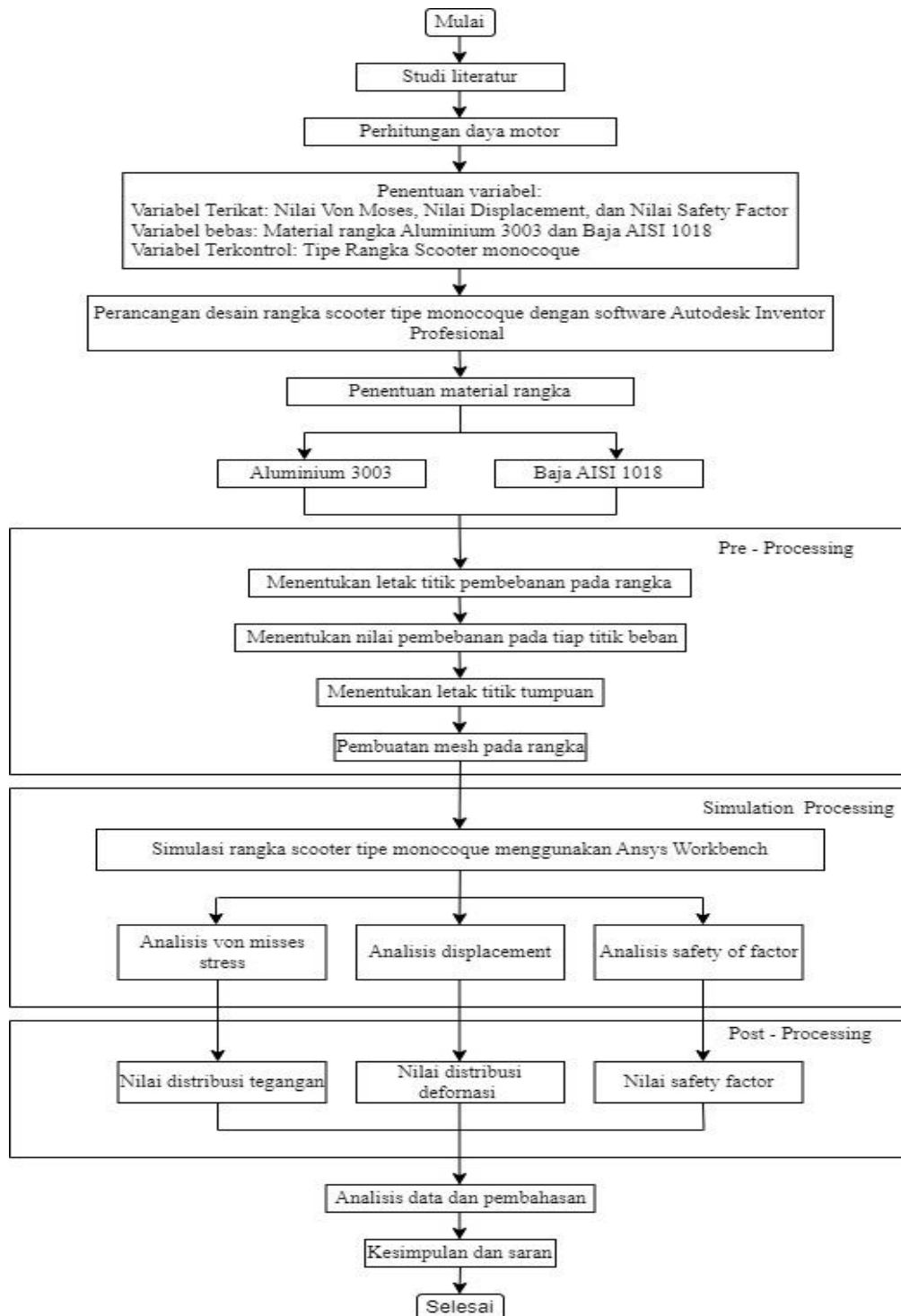
Scooter listrik yaitu transportasi sekarang ini Mulai di gemari dan telah banyak digunakan di indonesia. Scooter listrik masuk dalam kategori kendaraan roda dua yang menggunakan motor baterai sebagai bahan bakar dan motor listrik sebagai penggerak. Bagian-bagian terpenting yang ada pada scooter listrik yakni ada pada kekuatan pada rangka scooter.

Ajiman(2022) dengan profil rangka sepeda listrik rengtangular tube terhadap material Alumunium 6061 dan baja AISI 1020 dan setelah dilakukan analisis oleh peneliti Ajiman (2022) bahwa rancangan rangka dengan material baja lebih aman untuk dipakai dibandingkan rangka aluminium dikarenakan ketahanan dari rangka baja lebih besar. Penelitian ini bertujuan untuk merancang scooter listrik dengan tipe rangka monocoque dengan menggunakan material baja Alumunium 3003, Baja AISI 1018 dan melakukan analisis terhadap Perancangan rangka sepeda listrik dapat dilakukan melalui perhitungan manual atau menggunakan alat simulasi. (Setyono dkk., 2016)

Pada kali ini penelitian dilakukan untuk membuat desain frame/rangka scooter pada software Autodesk Inventor yang kemudian melakukan simulasi dan analisis untuk mendapatkan parameter distribusi displacement, nilai faktor keamanan dan tegangan dengan variasi material Baja AISI 1018 dan MATERIAL aluminium 3003 dengan desain dengan bentuk scooter tipe monocoque menggunakan software Ansys Workbench.

METHOD

Diagram Alir

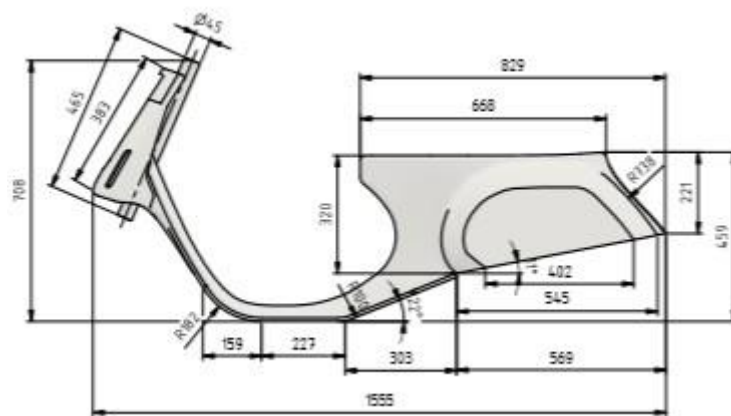


Gambar 1. Diagram Alir

ANALISIS DESAIN RANGKA SCOOTER LISTRIK TIPE MONOCOQUE TERHADAP KEKUATAN MATERIAL DENGAN METODE ELEMEN HINGGA



Gambar 2. Desain Model Scooter listrik



Gambar 3. Dimensi Sub Rangka Scooter Tipe Monoque Tampak Samping

➤ Alat dan Bahan

1. Alat

- Laptop
- Software Autodesk Inventor
- Software ANSYS Workbench

2. Bahan

- Aluminium 3003
- Baja AISI 1018

Rumus Yang Digunakan

1. Daya Motor

$$m_t = m_{pengendara} + m_{rangka} + m_{komponen}$$

2. Aerodynamic resistance

$$R_A = 0,5 \times p \times A_f \times C_d \times V^2$$

Dimana:

R_A = Gaya hambat angin pada pengendara dan sepeda

p = Massa jenis udara ($1,2 \text{ kg/m}^3$)

A_f = Luas frontal pengendara dan sepeda ($0,5\text{m}^2$)(Gromke and Ruck 2021)

C_d = Koefisien hambatan (1,0) (Gromke and Ruck 2021)

V^2 = Kecepatan relative antara kendaraan dengan udara m/s (30 km/h)

3. Rolling resistance

$$R_R = m_t \times g \times C_r$$

Dimana:

RR = Gaya rolling Resistance

m_t = masaa total

g = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

C_r = koefisien rolling resistance ban sepeda pada jalan aspal 0,004 dan pada jalan tana kasar 0,008

(Pratama et al.2017)

4. Slope resistance

$$R_s = m_t \times g \times \sin \theta$$

Dimana:

R_s = Gaya slope resistance

m_t = massa total

g = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data hasil yang dilakukan sebagai salah satu tahapan proses dari simulasi metode elemen hingga yang dilakukan pada software ANSYS Workbench. Beban yang ada pada pengendara kemudian didistribusikan ke rangka scooter sesuai dengan tubuh pada pengendara scooter. Nilai ergonomi dari tubuh pengendara dipisahkan menjadi bagian-bagian terpisah, seperti kepala, leher, lengan, tangan, batang tubuh, paha, betis dan kaki.

ANALISIS DESAIN RANGKA SCOOTER LISTRIK TIPE MONOCOQUE TERHADAP KEKUATAN MATERIAL DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

➤ Data Hasil Estimasi Segment Massa Pada Tubuh Manusia

Segment	Empirical equation	Standard error of estimate
Head	0.0306W + 2.46	0.43
Head and neck	0.0534W + 2.33	0.60
Neck	0.0146W + 0.60	0.21
Head, neck and torso	0.5940W - 2.20	2.01
Neck and torso	0.5582W - 4.26	1.72
Total arm	0.0505W + 0.01	0.35
Upper arm	0.0274W - 0.01	0.19
Forearm and hand	0.0233W - 0.01	0.20
Forearm	0.0189W - 0.16	0.15
Hand	0.0055W + 0.07	0.07
Total leg	0.1582W + 0.05	1.02
Thigh	0.1159W - 1.02	0.71
Shank and foot	0.0452W + 0.82	0.41
Shank	0.0375W + 0.38	0.33
Foot	0.0069W + 0.47	0.11

Pada tabel diatas menjelaskan bahwa gaya yang akan digunakan dalam pengujian kekuatan material rangka scooter dihitung menggunakan perhitungan empiris tersebut.

Pembebanan yang ada pada tubuh pengendara yang ditempatkan pada rangka scooter untuk di simulasi dengan metode elemen hingga yang ditempatkan yaitu pada 3 titik yaitu berat pengendara scooter yang ditetapkan sebesar $W = 80$ kg, berikut perhitungan yang ada pada tiap titik pembebanan:

- a. Titik pertama yaitu gaya F_{p1} , dimana gaya F_{p1} bagian tubuh kepala, leher dan batang tubuh. Untuk Perhitungan gaya F_{p1} yaitu gaya head, neck and torso ($0.5940W - 2.20$) dikali gravitasi:

$$F_{p1} = (0.5940W - 2.20) \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{p1} = 561,132 N$$

- b. Titik kedua adalah gaya F_{p2} , dimana gaya F_{p2} terdiri dari berat bagian tubuh lengan atas, lengan bawah dan tangan. Perhitungan gaya F_{p2} yaitu gaya total arm ($0.0505W + 0.01$) dikali gravitasi:

$$F_{p2} = (0.0505W + 0.01) \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{p2} = 49,638 N$$

- c. Titik ketiga adalah gaya F_{p3} , dimana gaya F_{p3} terdiri dari berat bagian tubuh paha, betis dan kaki. Perhitungan gaya F_{p3} yaitu gaya total leg ($0.1582W+0.05$) dikali gravitasi:

$$F_{p3} = (0.1582W + 0.05) \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{p3} = 155,684 N$$



Gambar 4. Titik Pembebanan pada Rangka scooter listrik

➤ Tabel Analisa Data dan Pembahasan Hasil Berat Komponen yang Ditopang Rangka scooter

No	Komponen scooter	Berat	Jumlah	Berat Total
1	Bagian depan keseluruhan dari bagian stir sampai bagian bawah pengereman dan shock	12597 g	1	12.597 kg
2	Controller dan arm	3391 g	1	3.391 kg
3	reducer	107 g	1	0.107 kg
4	Box cover	2142 g	1	2.142 kg
5	shock	238 g	1	0.238 kg
6	velg	2673 g	2	5.346 kg
7	Aki	1280 g	4	5.12 kg
8	spion	582 g	2	1.164 kg
9	Sadel/jok	500 g	1	0.500 kg
10	spakbor	438 g	1	0.438 kg
	Total	24274 g	15	31.043 kg

Pada table diatas menjelaskan bahwa Pembebanan komponen scooter ditempatkan pada bagian rangka scooter untuk melakukan simulasi static structural ditempatkan pada 2 titik letak pembebanan. Titik pembebanan untuk berat (BK) komponen pada rangka scooter ditempatkan pada permukaan seat tube bagian atas dengan komponen meliputi jok. Untuk Pembebanan komponen pada titik yang kedua dua ditempatkan pada permukaan head pipe pada komponen seperti handle rem, batok kepala dan throttle.

Berat total pada letak titik pembebanan yang ada pada komponen rangka scooter yaitu berat setiap komponen scooter yang ada pada setiap titik pembebanan dikalikan gravitasi yaitut:

$$F_{BK} = (m_{komponen}) \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

- Berat Komponen 1

ANALISIS DESAIN RANGKA SCOOTER LISTRIK TIPE MONOCOQUE TERHADAP KEKUATAN MATERIAL DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

$$F_{BK1} = m_{sadel/jok} \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{BK1} = 0,500 \text{ kg} \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{BK1} = 4,905 \text{ N}$$

- Berat Komponen 2

$$F_{BK2} = m_{komponen\ depan} \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{BK2} = 12,597 \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{BK2} = 123,576 \text{ N}$$

➤ Proses Pemrograman Simulasi

1. Engineering Data
2. Geometry
3. Model

Pada simulasi kali ini didapatkan proses *meshing* dengan ukuran *mesh* sebesar 5,0 mm dengan *nodes*.

4. Setup

➤ Data Hasil Tumpuan Pada Rangka

Pembebanan	Nilai	Lokasi
F_A	566,037 N	permukaan <i>seat rail</i> bagian atas
F_B	173.214 N	Bagian head pipe
F_C	155,6847 N	permukaan pijakan bagian atas

5. Solution

Tahapan berikutnya yaitu memasukkan parameter solusi dimana bentuk hasil dari perhitungan yang diinginkan untuk diproses pada simulasi ini.

6. Result

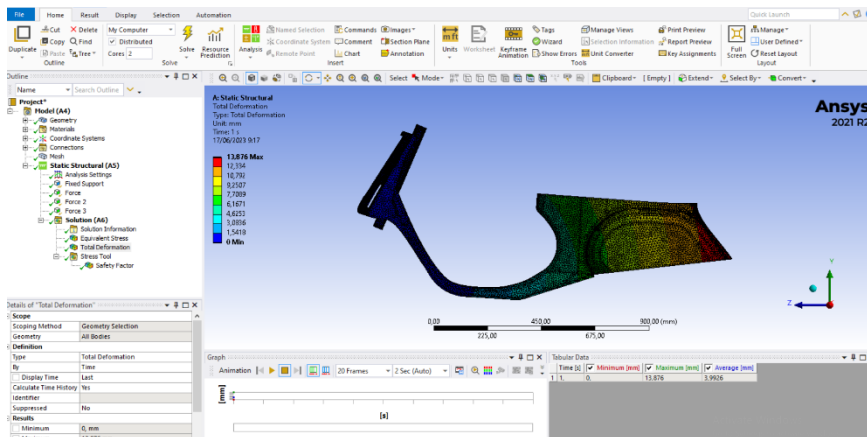
Pada tahap ini menampilkan data hasil perhitungan sesuai dengan yang telah diprogram dalam *solution*. Data hasil berupa geometri dan *report preview* yang dapat diambil sebagai hasil perhitungan simulasi pada rancangan rangka.

➤ Hasil Simulasi

Untuk data yang dapat dihasilkan pada proses simulasi seperti gambaran fenomena statika struktur yang ada pada perancangan rangka scooter kemudian dibagi menjadi pergeseran struktur, distribusi tegangan, dan faktor keamanan.

➤ Nilai Jarak Titik Pergeseran

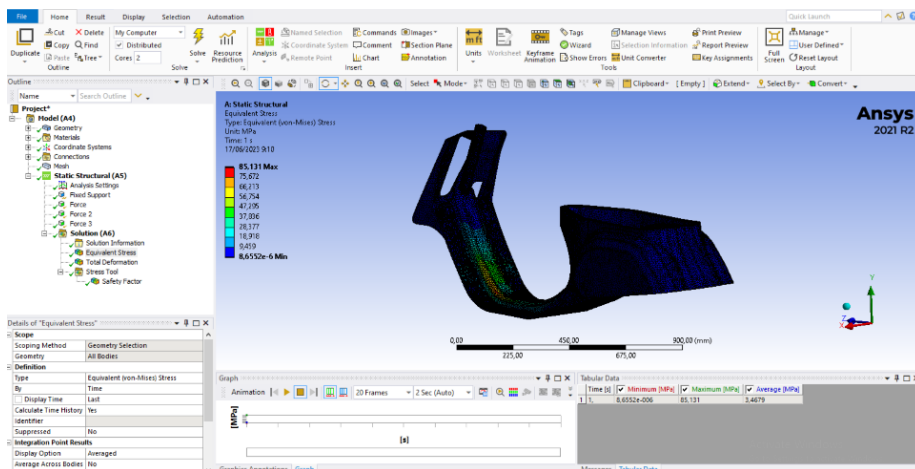
1. Rangka scooter menggunakan Aluminium 3003



Gambar 5. Data nilai deformasi tampak isometri dengan material Aluminium 3003

Pada gambar di atas data menunjukkan pergeseran struktur rangka scooter dengan menggunakan aluminium 3003 mengalami pergeseran pada struktur rangka scooter dengan nilai total deformation maksimal sebesar 13.876 mm pada bagian paling belakang body scooter. Untuk nilai minimal deformation sebesar 0 mm pada Seat rail bagian depan dan Untuk nilai total deformation yaitu dengan rata-rata sebesar 3.9926 mm.

2. Rangka scooter menggunakan Baja AISI 1018



Gambar 6. Data nilai distribusi tampak isometri dengan material Baja AISI 1018

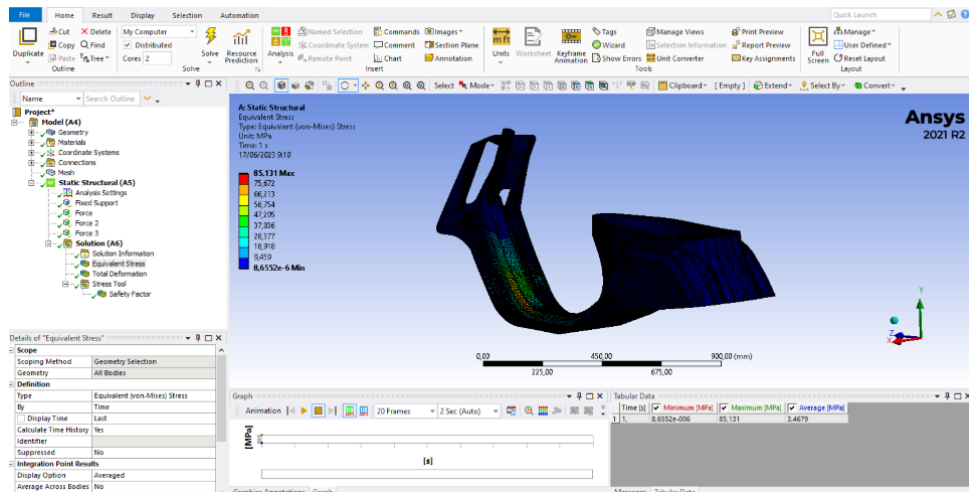
Pada gambar di atas data menunjukkan pergeseran struktur rangka scooter dengan menggunakan Baja AISI 1018 mengalami pergeseran struktur rangka scooter yaitu dengan nilai total deformasi maksimal sebesar 4.9761 mm yang ada pada bagian paling belakang body scooter. Untuk nilai total

deformasi minimal yaitu sebesar 0 mm pada Seat rail bagian depan dan nilai total deformasi rata-rata yaitu 1.4317 mm.

- Nilai Distribusi Tegangan

ANALISIS DESAIN RANGKA SCOOTER LISTRIK TIPE MONOCOQUE TERHADAP KEKUATAN MATERIAL DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

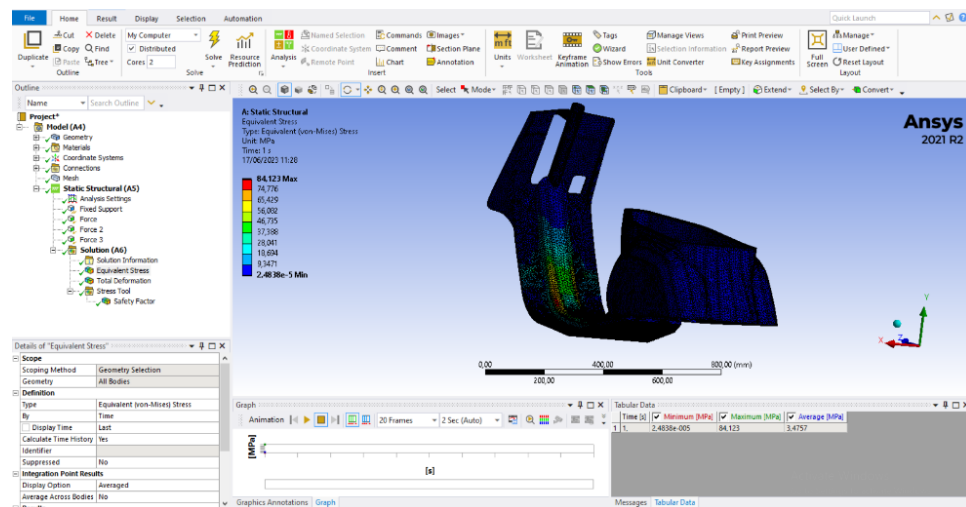
1. Rangka scooter menggunakan material Aluminium 3003



Gambar 7. Data nilai distribusi tegangan tampak isometri dengan material Aluminium 3003

Pada gambar di atas data menunjukkan rangka scooter menggunakan aluminium 3003 mendapatkan tegangan dengan nilai equivalent stress maksimal 85,131 MPa pada rangka utama sedangkan untuk nilai equivalent stress minimal 8,6552e-006 MPa dan untuk nilai equivalent stress rata-rata 3,4679 MPa.

2. Rangka scooter menggunakan material Baja AISI 1018

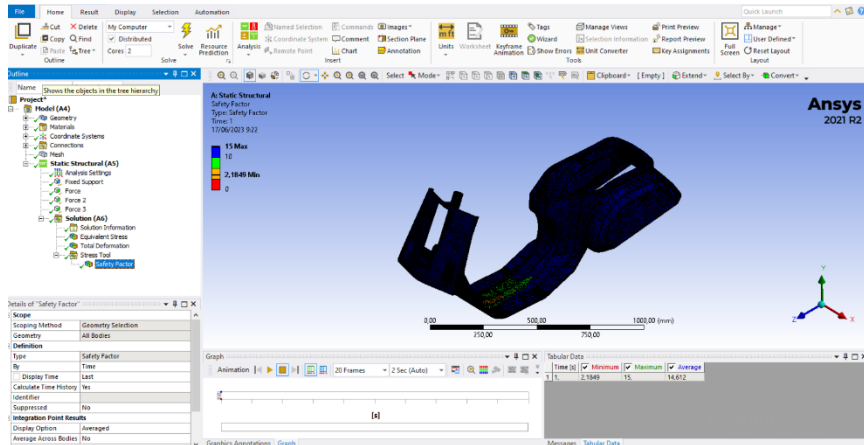


Gambar 8. Data nilai distribusi tegangan tampak isometri dengan material Aluminium 3003

Pada gambar di atas data menunjukkan rangka scooter menggunakan material Baja AISI 1018 untuk tegangan nilai equivalent stress maksimal yaitu 84,123 MPa terdapat di rangka utama untuk nilai equivalent stress minimal yaitu 2,4838e-005 MPa dan nilai equivalent stress rata-rata sebesar 3,4757 MPa.

➤ Nilai Faktor Keamanan

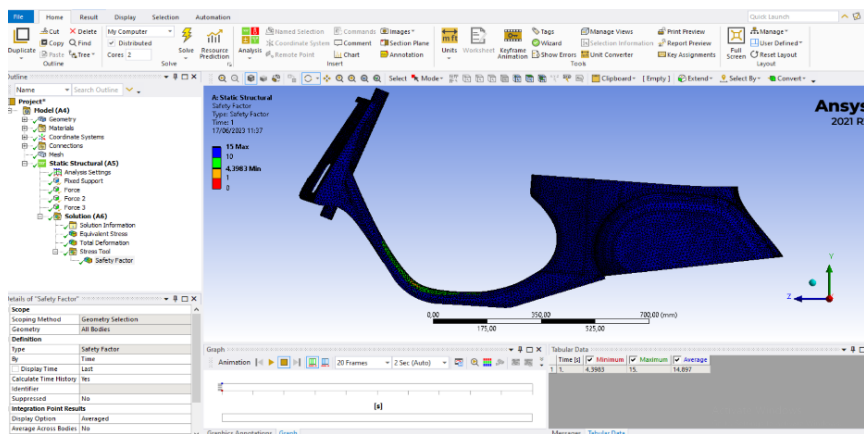
1. Rangka scooter menggunakan material aluminium 3003



Gambar 9. Data nilai factor keamanan tampak isometri dengan material Aluminium 3003

Pada gambar di atas data menunjukkan rangka scooter dengan menggunakan baja aluminium 3003 mendapatkan nilai faktor keamanan 15 pada bagian rangka scooter seat rail dan rangka scooter bagian depan dan permukaan pijakan, nilai safety factor minimal 2,1849 pada bagian seat stay bagian atas dan nilai faktor keamanan rata-rata 14,612. Nilai ini menunjukkan bahwa desain rangka mampu menahan gaya yang ditopang maksimal 2,1849 kali dari gaya semula.

2. Rangka scooter menggunakan material Baja AISI 1018



Gambar 10. Data nilai factor keamanan tampak samping dengan material Baja AISI 1018

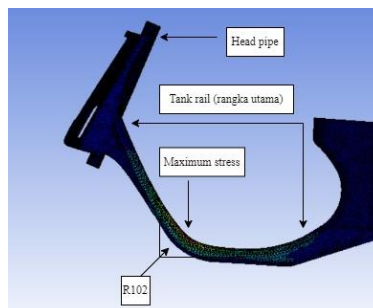
Pada gambar di atas data menunjukkan rangka scooter menggunakan baja AISI 1018 mendapatkan nilai faktor keamanan rangka scooter maksimal 15 pada bagian seat rail dan rangka scooter bagian depan dan permukaan pijakan, nilai faktor keamanan minimal 4,3983 pada bagian seat stay bagian atas dan nilai faktor keamanan rata-rata 14,897. Nilai ini menunjukkan bahwa desain rangka mampu menahan gaya yang ditopang maksimal 4,3983 kali dari gaya semula.

- Pembahasan Hasil Simulasi
- Tabel Data Hasil Simulasi

ANALISIS DESAIN RANGKA SCOOTER LISTRIK TIPE MONOCOQUE TERHADAP KEKUATAN MATERIAL DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

	Baja AISI 1018			Aluminium 3003		
	Distribusi Tegangan (Mpa)	Total Deformasi (mm)	Faktor Keamanan	Distribusi Tegangan (Mpa)	Total Deformasi (mm)	Faktor Keamanan
Maks	84,123	4,9761	15	85,131	13,876	15
Min	2,4838e-005	0	4,3983	8,6552e-006	0	2.1849
Rata-rata	3,4757	1,4317	14,897	3,4679	3,9926	14,612

Terdapat stress maksimum Di bagian tank rail atau (rangka utama) pada rangka scooter dengan menggunakan material aluminium 3003 dibandingkan rangka dengan material Baja AISI 1018 yang mendapat distribusi tegangan lebih kecil. Maksimum stress di bagian tank rail (rangka utama) terjadi dikarenakan di bagian tank rail (rangka utama) memiliki ketebalan material 3 mm dengan radius 102 mm dari tank rail (rangka utama) ke permukaan rangka depan dan menuju ke arah head pipe yang merupakan titik pembebanan komponen yang menyebabkan distribusi tegangan maksimal terjadi di bagian tersebut. Sedangkan untuk nilai stress rata rata baja AISI 1018 lebih besar dengan nilai rata-rata 3,4757 Mpa di bandingkan dengan nilai rata-rata aluminium 3003 sebesar 3,4679 Mpa. Seperti penelitian rangka scooter yang dilakukan oleh Puguh Santoso.(2012) tegangan maksimum terjadi pada rangka yang memiliki lengkungan radius dan karena adanya pembebanan.



Sedangkan untuk defomasi perubahan bentuk atau dimensi suatu benda deformasi maksimal terjadi di bagian seat real dan rangka body belakang, seperti ditunjukkan pada gambar 4.26. Rangka scooter dengan aluminium 3003 memiliki deformasi maksimal di bandingkan rangka scooter dengan material baja AISI 1018 yang mendapatkan deformasi lebih kecil. Deformasi maksimal terjadi di bagian Seat real dan body belakang sebesar 13,876 mm karena bagian ini yang terkena langsung dengan beban pengendara dan komponen sebesar 566,037 N. Deformasi yang terjadi pada rangka scooter bersifat elastis dan untuk jenis deformasi yang terjadi pada rangka scooter yaitu translasi material yang bersifat kaku.

Nilai faktor keamanan (safety factor) minimal yaitu 4,3983 dimiliki oleh rangka scooter dengan material baja AISI 1018 di bandingkan dengan rangka scooter dengan material aluminium 3003 dengan factor keamanan minimal sebesar 2.1849.faktor keamanan minimal terdapat pada bagian tank rail (rangka utama) yang memiliki lengkungan radius 102 mm yang ditunjukkan pada gambar 4.47. Hal tersebut di karenakan tingkat lengkungan rangka pada bagian tank rail (rangka utama) dengan radius 102

mm dengan ketebalan material yang digunakan hanya sebesar 3 mm. Rangka scooter listrik dapat dikatakan aman karena nilai dari safety factor minimal pada rangka aluminium 3003 sebesar 2,1849 dan untuk nilai safety factor minimal pada rangka scooter menggunakan baja AISI 1018 sebesar 4,3983.

Keunggulan atau manfaat dari pemakaian material baja AISI 1018 pada rangka scooter adalah memiliki kekuatan yang tinggi dan kekakuann yang baik untuk menahan beban, hal ini dapat meningkatkan kestabilan dan keamanan pada saat berkendara. Sedangkan aluminium 3003 memiliki bobot yang lebih ringan di bandingkan dengan baja AISI 1018, hal ini dapat memberikan keuntungan untuk mengurangi bobot dari rangka scooter listrik dan mempunyai ketahanan korosi lebih baik dengan iklim cuaca Indonesia yang tropis.

Kesimpulan

1. Perancangan ini dilakukan menggunakan software Autodesk Inventor lalu dianalisis dengan Ansys Workbench untuk mengetahui nilai ekuivalen stress, nilai deformasi dan nilai safety factor yang ada pada rangka scooter tipe monocoque dengan material aluminium 3003 dan baja AISI 1018
2. Nilai distribusi tegangan maksimal yang terjadi pada rangka scooter listrik menggunakan material aluminium 3003 yaitu sebesar 85,131 MPa dan pada material baja AISI 1018 sebesar 84,123 MPa, hal ini terjadi dikarenakan di bagian tank rail (rangka utama) memiliki ketebalan material 3 mm dengan radius 102 mm dari tank rail (rangka utama) ke permukaan rangka depan dan menuju ke arah head pipe yang merupakan titik pembebanan komponen yang menyebabkan distribusi tegangan maksimal terjadi di bagian tank rail (rangka utama)
3. Nilai total deformasi maksimal terbesar terjadi pada rangka scooter listrik menggunakan material aluminium 3003 yaitu sebesar 13,876 mm dan pada baja AISI 1018 sebesar 4,9761 mm. Deformasi maksimal terjadi di bagian seat real dan rangka body belakang dikarenakan bagian seat rail dan rangka body belakang yang terkena langsung dengan beban pengendara dan komponen.
4. Setelah dilakukan analisis dapat disimpulkan bahwa rangka scooter dengan material Baja AISI 1018 sangat bagus diaplikasikan pada rangka scooter. Di karenakan sifat pada material baja AISI 1018 sangat tinggi, dengan massa jenis pengukuran massa setiap satuan volume benda yang sangat tinggi pada density 7.87 g/cc, Memiliki sifat ketahanan bahan untuk mengalami deformasi pada modulus elastisitas 200 GPa, kekuatan luluh berat atau beban dalam suatu tegangan pada yield strength 370 MPa, kekuatan tarik tegangan maksimum material dapat menahan saat sedang diregangkan atau ditarik pada ultimate strength 440 MPa. Sedangkan pada material aluminium 3003 memiliki sifat material yang sedikit rendah, dengan masa jenis pengukuran massa setiap satuan volume benda yang sedikit rendah pada density 2.73 g/cc, Memiliki sifat ketahanan bahan untuk mengalami deformasi pada modulus elastisitas 69.5 GPa, kekuatan luluh berat atau beban dalam suatu tegangan pada yield strength 186 MPa, kekuatan tarik tegangan maksimum yang material dapat menahan saat sedang diregangkan atau ditarik pada ultimate strength 200 MPa.

Saran

1. Saran kepada peneliti selanjutnya yaitu mencari material yang lebih baik di banding baja AISI 1018 dengan berat material yang lebih ringan.
2. Saran ditujukan kepada Teknik Mesin S1 ITN Malang yaitu menambahkan mata kuliah tentang simulasi dan desain agar mahasiswa dapat mengikuti perkembangan mengenai teknologi desain *engineering* .
3. Saran ditujukan pada rekan-rekan yang sedang memprogram skripsi agar selalu berusaha dan memperjuangkan cita-citanya.

REFRENSI

- [1] Ajiman, B. (2022). Analisa Pengaruh Kekuatan Material pada Rangka Sepeda Listrik dengan Profil Rectangular Tube terhadap Material Aluminium 6061 dan Baja Aisi 1020 menggunakan Software Ansys Workbench Doctoral dissertation, ITN Malang.
- [2] Ariyansah, R., & Gamayel, A. (2021). Analisis Kekuatan Struktur Rangka Pembangkit Listrik Sepeda Statis Menggunakan Perangkat Lunak ANSYS Workbench. *Teknobiz: Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 11(1), 20-25.
- [3] Balaguru, S., Elango Natarajan, S. Ramesh, and B. Muthuvijayan. 2019. "Analisis Struktural Dan Modal Rangka Skuter Untuk Desain Peningkatan." 16:1106– 16.
- [4] Budiman, F. A., Septiyanto, A., Sudiyono, S., Musyono, A. D. N. I., & Setiadi, R. (2021). Analisis Tegangan von Mises dan Safety Factor pada Chassis Kendaraan Listrik Tipe In-Wheel. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(1), 100-108.
- [5] Cook, R. D., & Suryoatmono, B. (1990). *Konsep dan aplikasi metode elemen hingga*. ERESKO.
- [6] Fajri, M. H. 2018. "Desain Sepeda Listrik Dengan Style Motor Boardtrack Sebagai Sarana Mobilitas Di Perkotaan Yang Cepat Dan Efisien."
- [7] Hastuti, S., Ramadhani, W., & Mulyaningsih, N. (2022). ANALISIS KEKUATAN PADA RANGKA SEPEDA MOTOR LISTRIK DENGAN METODE ELEMEN HINGGA. *JURNAL FOUNDRY*, 5(2), 1-11.
- [8] Hidayat, M. A., Pramono, G. E., & Waluyo, R. (2022). Perancangan dan Simulasi Desain Rangka Sepeda Motor Listrik Tipe Trellis Menggunakan Finite Element Metode (FEM). *Almikanika*, 4(2), 58-66.
- [9] Hutomo, W. A. (2021). Analisis Struktur Kekuatan Rangka Sepeda Motor Listrik Menggunakan Metode Elemen Hingga. Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- [10] Ikram, F. D., & Erik, E. (2022). Analisis Kekuatan Frame Sepeda Listrik Ngebut Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 13(3), 857-865.
- [11] Ismail, I. (2020). Perancangan Sepeda Manual Menjadi Sepeda Listrik menggunakan Komponen Penggerak Motor Listrik, Baterai dan Kontroler Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- [12] Setyono, Bambang, and Abdul Hamid. n.d. "PERANCANGAN DAN ANALISIS KEKUATAN FRAME SEPEDA HIBRID ' TRISONA ' MENGGUNAKAN SOFTWARE AUTODESK INVENTOR." 37–46.
- [13] Sukoco, D. T. (2012). Perancangan Dan Pembuatan Sepeda Listrik (Rangka).
- [14] Yudistira Seotika Putra, Agung. 2015. "Pengembangan Rangka Sepeda Its."
- [15] Yulianto, Nano, and Rochmad Winarso. 2013. "Analisa Tegangan Pada Rangka Prototype Kendaraan Buge Menggunakan Elemen Hingga." *Journal of Chemical Information and Modeling* 53(9):1689–99.