Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X **(Printed)**
5 (3) 2025, Page : 29309-29317

Analisis Benturan Depan dan Benturan Samping terhadap Kinerja Struktur Rangka Tubular mobil Buggy Menggunakan Metode Elemen Hingga

Muhammad Aulia Anugrah[1], Zainal Abadi[2], Waskito[3], Delima Yanti Sari[4]
[1,2,3,4]Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Corresponding Author: Muhammad Aulia Anugrah, e-mail: auliaanugrah13@gmail.com

Published: October, 2025

ABSTRAK

Rangka tubular merupakan komponen utama pada kendaraan off-road tipe buggy yang berfungsi sebagai penopang beban statis dan dinamis serta menentukan keselamatan pengemudi dan performa kendaraan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh beban benturan depan (frontal) dan benturan samping (lateral) terhadap kinerja struktural rangka tubular buggy menggunakan Metode Elemen Hingga (Finite Element Method/FEM) dengan bantuan perangkat lunak ANSYS Workbench. Variasi material yang digunakan meliputi baja karbon AISI 1018, baja ASTM A572 Grade 50, dan aluminium 6061 dengan variasi geometri diameter dan ketebalan pipa. Parameter yang dianalisis meliputi deformasi total, tegangan Von Mises, dan faktor keamanan (safety factor). Hasil simulasi menunjukkan bahwa benturan samping menghasilkan deformasi dan tegangan maksimum yang lebih tinggi dibandingkan benturan depan, terutama pada material dengan ketebalan pipa yang lebih kecil. Aluminium 6061 memberikan performa terbaik dilihat dari faktor keamanan tertinggi dan tegangan terendah, menandakan potensi penggunaannya sebagai material optimal untuk rangka buggy. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pemilihan material dan desain geometri yang tepat sangat krusial dalam meningkatkan kekuatan dan keselamatan rangka tubular untuk aplikasi off-road di medan ekstrem. Temuan ini dapat menjadi acuan dalam pengembangan desain rangka kendaraan off-road yang ringan, kuat, dan aman.

Kata Kunci: Rangka Tubular, Benturan Depan, Benturan Samping, Metode Elemen Hingga, Kendaraan Off-Road, ANSYS Workbench.

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

Perkembangan kebutuhan mobilitas di medan berat seperti area berbukit, berbatu, dan jalur off-road mendorong pengembangan kendaraan ringan yang mampu beroperasi optimal di luar jalan raya. Salah satu kendaraan yang banyak digunakan untuk tujuan tersebut adalah mobil buggy, yang dikenal dengan kemampuannya menaklukkan medan ekstrem secara efisien. Mobil buggy sering digunakan dalam sektor kehutanan, pertambangan, dan aktivitas rekreasi off-road karena struktur rangka tubularnya yang ringan namun kuat (Edison & Delwita, 2019).

Rangka tubular merupakan struktur utama penopang beban statis dan dinamis pada mobil buggy, sehingga secara langsung berpengaruh pada keselamatan pengemudi dan kinerja kendaraan. Rangka ini harus mampu menahan tegangan dari berbagai arah dan menyerap energi beban yang dihasilkan selama operasi di medan berat (Ayyakkannu et al., 2024). Struktur tubular yang digunakan biasanya terbuat dari pipa baja atau aluminium yang disambung dengan teknik pengelasan untuk menjaga kekakuan dan stabilitas kendaraan.

Namun, rangka tubular buggy berisiko mengalami kegagalan struktural terutama dalam menghadapi benturan dari depan (frontal) dan samping (lateral), serta kondisi terguling (roll over). Benturan samping terbukti menjadi kondisi paling kritis yang mampu menimbulkan deformasi dan tegangan maksimum tinggi, yang dapat membahayakan keselamatan pengemudi (Rastogi et al.,

2018). Selain itu, pemilihan material seperti baja karbon AISI 1018, baja ASTM A572 Grade 50, dan aluminium 6061 sangat memengaruhi kekuatan struktural dan faktor keamanan rangka (Gowtham Rajan N, 2020).

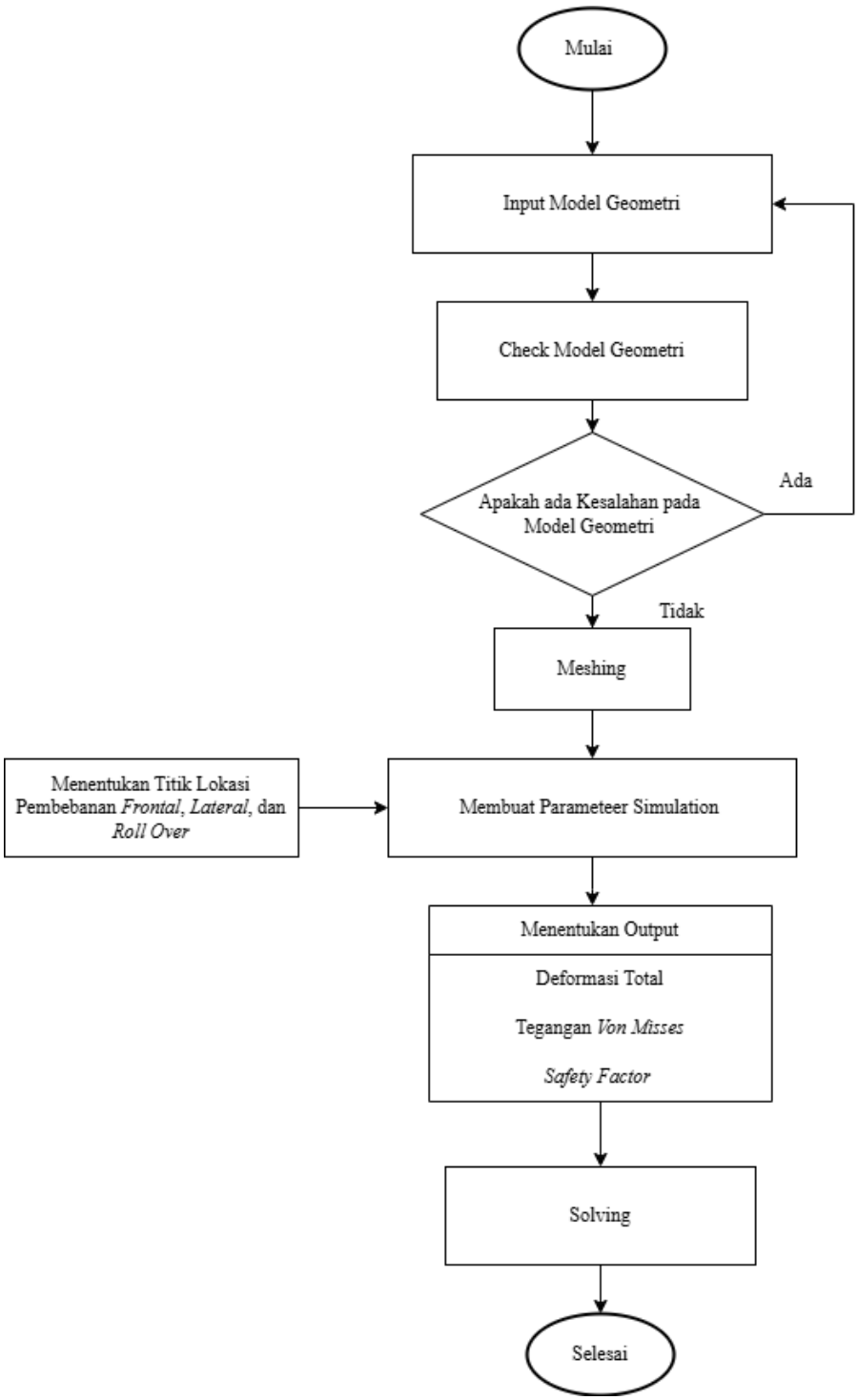
Geometri desain pipa tubular, seperti diameter dan ketebalan, juga memiliki peran penting dalam ketahanan rangka terhadap beban benturan. Ketebalan pipa yang lebih besar dapat meningkatkan kemampuan menahan beban, mengurangi risiko kegagalan struktural selama tabrakan (Seelam et al., 2020). Oleh karena itu, pemodelan numerik menggunakan Metode Elemen Hingga (Finite Element Method/FEM) merupakan pendekatan efektif untuk menganalisis distribusi tegangan, deformasi, dan kekakuan rangka tubular dalam berbagai skenario pembebanan (Isworo Ansyah, 2018).

Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja struktural rangka tubular mobil buggy terhadap benturan depan dan benturan samping dengan variasi jenis material dan geometri pipa menggunakan metode elemen hingga. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi desain rangka yang optimal dari sisi kekuatan, kekakuan, dan efisiensi bobot untuk kendaraan off-road di medan ekstrem.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang dilakukan adalah kuantitatif karena berfokus pada analisis numerik untuk mengevaluasi kekuatan dan deformasi rangka tubular space frame mobil *buggy* Pendekatan ini dilakukan dengan menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) yang dijalankan dengan bantuan perangkat lunak ANSYS. Jenis analisis yang digunakan adalah static structural. Model desain yang digunakan adalah model rangka mobil *buggy* yang sudah di desain oleh mahasiswa D3 Teknik Mesin Universitas Negeri Padang sebelumnya. Model tersebut dirancang menggunakan *software* SolidWorks. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil tegangan *von mises* berdasarkan 2 software yang berbeda yaitu ANSYS Workbench Version Student R1 2025 dan Solidworks Research License 2024. Rangkaian proses penelitian secara rinci digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 1.

Objek penelitian adalah rangka tubular kendaraan off-road tipe buggy yang didesain dengan pipa berlilinier geometri diameter 21,3 mm dan ketebalan 3,7 mm. Pemilihan geometri ini didasarkan pada pertimbangan keseimbangan antara kekuatan dan bobot kendaraan untuk medan off-road. Variabel Penelitian dengan variabel bebas jenis pembebanan benturan depan (frontal) dan benturan samping (lateral) pada rangka tubular. Variabel kontrol yaitu material rangka tubular berupa baja karbon AISI 1018, baja ASTM A572 Grade 50, dan aluminium 6061. Variabel terikat denagan parameter hasil simulasi meliputi tegangan Von Mises, deformasi total, dan faktor keamanan rangka.



Gambar 1. Diagram Simulasi Rangka Mobil *Buggy*

Desain dan Material Rangka Mobil *Buggy*

Desain rangka mobil *buggy* yang diterapkan dalam penelitian ini mengadaptasi rancangan dari mahasiswa D3 teknik mesin Universitas Negeri Padang sebelumnya dapat di lihat pada gambar 2. Material yang digunakan dalam analisis mobil *buggy* ini yaitu ASTM A572, AISI 1018, dan Aluminium 6061. Data *material properties* yang digunakan dapat di lihat pada tabel 1, 2 dan 3

Tabel 1. *Material Properties* Baja ASTM A572

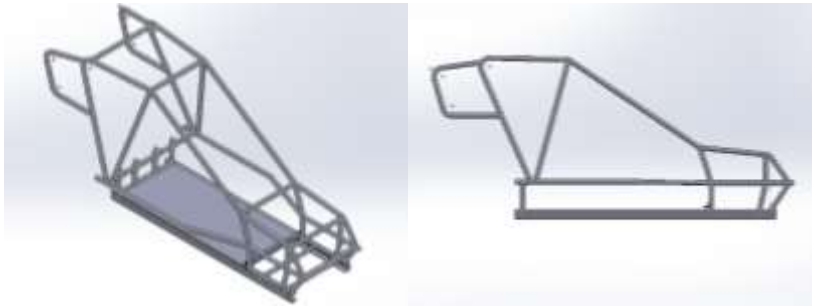
Properties	Value	Units
Tensile Strength	450	Mpa
Yield Strength	345	Mpa
Young Modulus	200	Gpa
Shear Modulus	80	Gpa
Poisson Ratio	0,3	-
Density	7,80	g/cm^3

Tabel 2. *Material Properties* Baja AISI 1018

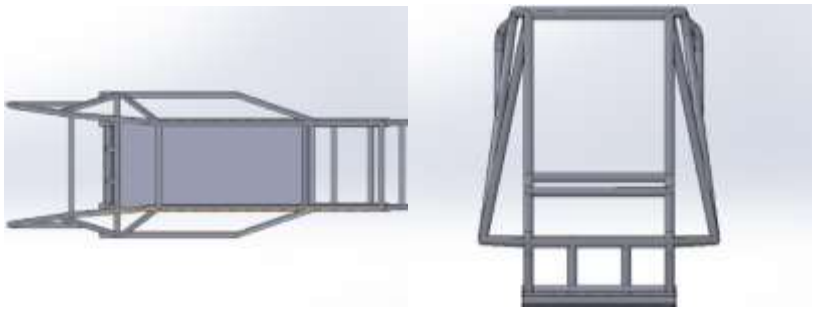
Properties	Value	Units
Tensile Strength	440	Mpa
Yield Strength	370	Mpa
Young Modulus	205	Gpa
Shear Modulus	80	Gpa
Poisson Ratio	0,29	-
Density	7,87	g/cm^3

Tabel 3. *Material Properties* Aluminium 6061

Properties	Value	Units
Tensile Strength	310	Mpa
Yield Strength	276	Mpa
Young Modulus	69	Gpa
Shear Modulus	26	Gpa
Poisson Ratio	0,33	-
Density	2,71	g/cm^3



a) Tampak Isometri b) tampak Samping



c) Tampak Atas d) Tampak Depan

Gambar 2. Desain Rangka Mobil *Buggy*

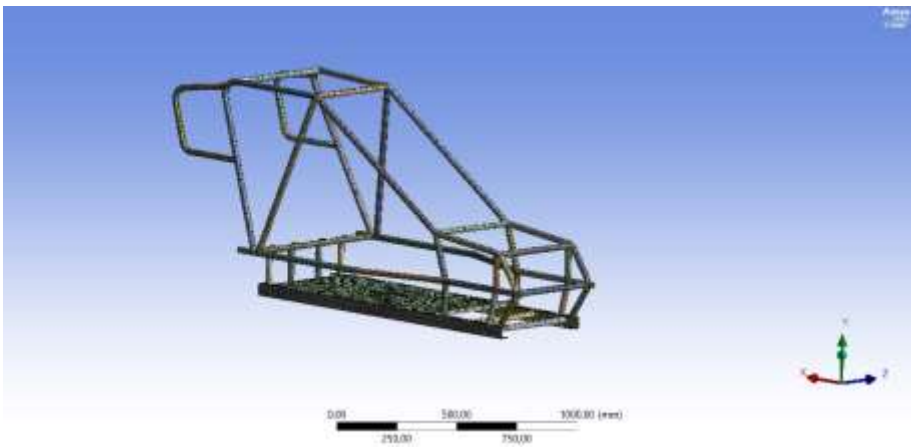
Simulasi Numerik Menggunakn Finite Element Analysis

Finite Element Analysis (FEA) merupakan metode numerik yang memecah objek menjadi bagian-bagian kecil yang disebut elemen untuk dianalisis secara mendetail. Tahapan awal dari proses ini dimulai dengan merancang model rangka mobil *buggy* , yang visualisasinya ditampilkan pada Gambar 2. Setelah desain dibuat, model kemudian di impor ke dalam *software* ANSYS untuk dilakukan simulasi numerik. Tahap awal sebelum simulasi adalah proses *meshing*. Parameter *mesh* yang digunakan disajikan pada Tabel 4. sedangkan hasil meshing ditampilkan pada gambar 3

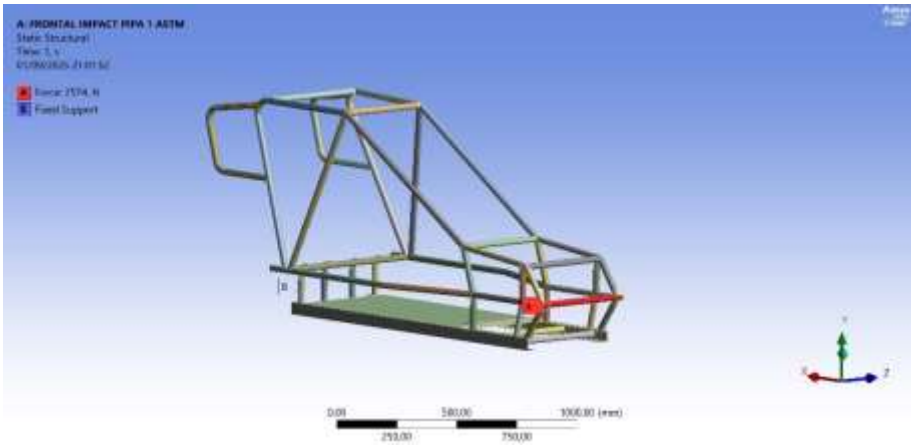
Tabel 4. Parameter Simulasi

Parameter	Kategori	Keterangan
Jenis material	ASTM A572, AISI 1018, Aluminium 6061	Variabel bebas dalam penelitian
Diameter Pipa	21,3 mm	Ukuran seragam pada semua bagian rangka
Tebal pipa	3,7 mm	Ukuran seragam pada semua bagian rangka
Metode simulasi	*Static structural*	Beban diberikan pada bagian samping, depan dan atas rangka
Tipe elemen	*Tetrahedrons*	
Jumlah elemen	124865	
Jumlah node	59756	

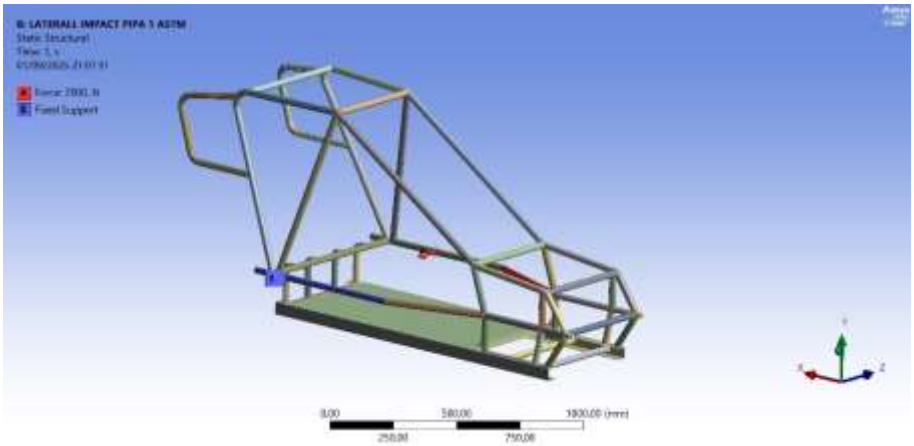
Setelah melakukan meshing tahap selanjutnya adalah menentukan penerapan beban dan fixed support pada rangka, beban yang diberikan pada frontal impact yaitu sebesar 2574 N, beban yang diberikan pada lateral impact yaitu 2000 N. Penerapan beban dan fixed support dapat dilihat pada gambar 4 sampai 6



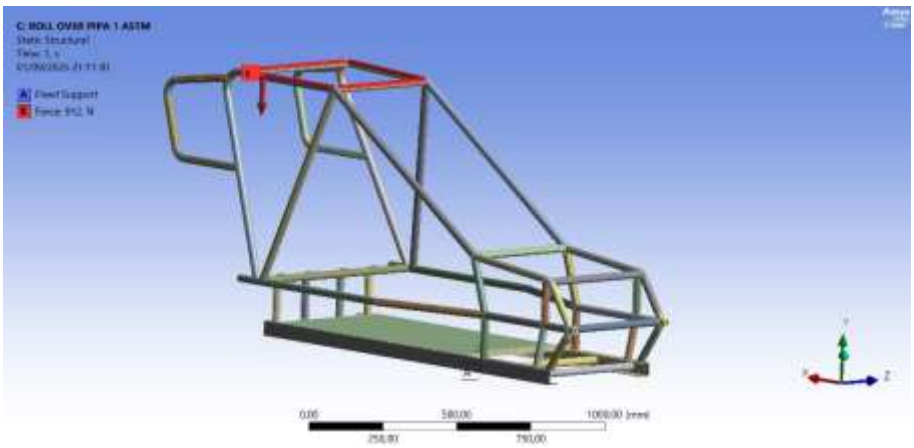
Gambar 3. *Meshing* Pada Rangka Mobil *Buggy*



Gambar 4. lokasi Penerapan Gaya dan *Fixed Support Frontal Impact*



Gambar 5. Lokasi Penerapan Gaya dan *Fixed Support Lateral Impact*



Gambar 6. Lokasi Penerapan Gaya dan *Fixed Support Roll Over*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan simulasi numerik Metode Elemen Hingga (FEM) di ANSYS Workbench untuk menganalisis respons rangka tubular mobil buggy terhadap pembebanan benturan depan (frontal impact) dan benturan samping (lateral impact) dengan geometri pipa diameter 21,3 mm dan ketebalan 3,7 mm pada tiga material berbeda: baja karbon AISI 1018, baja ASTM A572 Grade 50, dan aluminium 6061.

Hasil Simulasi

Simulasi menghasilkan data tridimensional berupa deformasi total, tegangan Von Mises, dan faktor keamanan (safety factor). Berikut ringkasan hasil utama pembebanan benturan frontal dan benturan samping untuk geometri pipa 21,3 x 3,7 mm:

Tabel 5. Hasil Utama Pembebanan Benturan Frontal dan Benturan Samping

Material	Pembebanan	Deformasi (mm)	Tegangan Von Mises (MPa)	Faktor Keamanan
ASTM A572	Frontal	3,94	505,69	0,6
ASTM A572	Lateral	7,9	1307	0,2
AISI 1018	Frontal	3,94	505,69	0,7
AISI 1018	Lateral	7,9	1092,9	0,3
Aluminium 6061	Frontal	4,42	194,49	1,3
Aluminium 6061	Lateral	8,25	414,68	0,6

Tabel di atas menunjukkan bahwa pada pembebanan frontal, deformasi total berkisar antara 3,94 sampai 4,42 mm, dengan tegangan tertinggi terjadi pada baja dan tegangan lebih rendah pada aluminium. Faktor keamanan untuk baja berada di bawah 1, sehingga dikategorikan tidak aman, sedangkan aluminium masih di atas 1 yang menunjukkan tingkat keamanan yang lebih baik.

Pada pembebanan lateral, terjadinya deformasi dan tegangan jauh lebih besar dibanding frontal, terutama pada baja yang mengalami tegangan hingga 1307 MPa, jauh melebihi batas luluh material sehingga faktor keamanan sangat rendah (<1). Aluminium 6061 meskipun juga mengalami peningkatan signifikan deformasi dan tegangan, tetap menunjukkan performa relatif lebih baik namun dengan faktor keamanan rendah 0,6 yang menandakan risiko kegagalan.

Pembahasan

Dari hasil simulasi, terbukti bahwa benturan samping memberikan dampak struktural paling kritis pada rangka tubular mobil buggy dibandingkan benturan depan, dengan deformasi dan

tegangan yang jauh lebih besar. Hal ini konsisten dengan studi terdahulu yang menunjukkan lateral impact sebagai beban paling berbahaya pada struktur kendaraan off-road.

Material aluminium 6061 menampilkan kinerja terbaik dengan tegangan dan deformasi yang lebih rendah dibanding baja karbon, terutama pada geometri pipa kecil 21,3 x 3,7 mm. Hal ini dapat dikaitkan dengan sifat mekanik aluminium yang memiliki modulus elastisitas lebih rendah namun rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, serta kemampuan menyerap energi benturan yang lebih baik.

Deformasi total yang meningkat pada pipa berdiameter kecil dan ketebalan 3,7 mm menandakan penurunan kekakuan struktural rangka, yang berpengaruh langsung terhadap peningkatan tegangan lokal dan potensi kegagalan. Faktor keamanan yang di bawah 1 pada material baja menunjukkan bahwa rangka tubular dengan dimensi pipa ini kurang mampu menahan beban benturan berat, terutama dari sisi lateral.

Untuk kondisi roll over (terguling), simulasi menunjukkan deformasi yang paling kecil dan faktor keamanan yang lebih tinggi (>1) pada semua material, menandakan beban roll over relatif lebih ringan dibanding beban benturan frontal dan lateral.

Implikasi Desain

Berdasarkan hasil dan pembahasan ini, desain rangka tubular mobil buggy yang menggunakan pipa dengan geometri 21,3 x 3,7 mm sebaiknya dipertimbangkan secara hati-hati terkait pemilihan material, terutama jika terekspos pada risiko benturan lateral. Aluminium 6061 memberikan alternatif material yang lebih aman dan efisien bobot, dibandingkan baja karbon tradisional untuk geometri pipa kecil tersebut.

Disarankan untuk meningkatkan dimensi pipa (diameter dan ketebalan) dan/atau meningkatkan kualitas sambungan las untuk memperbaiki distribusi tegangan dan mengurangi deformasi pada situasi benturan kritis. Simulasi FEM ini dapat menjadi alat bantu validasi awal desain sebelum prototipe direalisasikan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis menggunakan Metode Elemen Hingga pada rangka tubular mobil buggy dengan geometri pipa 21,3 mm diameter dan ketebalan 3,7 mm terhadap pembebanan benturan depan dan benturan samping, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pembebanan benturan samping memberikan pengaruh paling signifikan terhadap deformasi dan tegangan pada struktur rangka tubular dibandingkan dengan benturan depan, sehingga menjadi skenario terberat yang perlu diwaspadai dalam desain rangka mobil buggy untuk memastikan keselamatan struktural.
2. Material aluminium 6061 menunjukkan performa terbaik dari segi faktor keamanan dan tegangan Von Mises dibanding material baja karbon AISI 1018 dan ASTM A572 grade 50 pada dimensi pipa yang digunakan, khususnya pada pembebanan frontal dengan faktor keamanan di atas 1, meskipun pada pembebanan lateral faktor keamanan masih perlu ditingkatkan.
3. Material baja karbon meskipun memiliki tegangan Von Mises yang tinggi, menunjukkan faktor keamanan di bawah 1 pada pembebanan samping untuk geometri pipa 21,3 x 3,7 mm, mengindikasikan risiko kegagalan struktur pada kondisi tersebut.
4. Ketebalan dan diameter pipa sangat berpengaruh terhadap kapasitas rangka tubular dalam menyerap energi benturan dan menahan deformasi; penggunaan dimensi pipa yang lebih besar atau pemilihan material dengan kekuatan tahan benturan yang lebih tinggi direkomendasikan untuk meningkatkan performa struktural rangka.

Penelitian ini memberikan landasan penting bagi pengembangan desain rangka tubular mobil buggy yang kuat, aman, serta ringan melalui pemilihan material dan dimensi pipa yang optimal untuk menghadapi beban benturan frontal dan lateral pada medan off-road ekstrem.

DAFTAR PUSTAKA

Ayyakkannu, V., Sri Ram, P., & Vijayakumar, V. (2024). Analysis of the Roll Cage of an Electric All Terrain Vehicle (e-ATV) Using the Finite Element Method. *SAE Technical Papers*, *February*. https://doi.org/10.4271/2023-01-5178

Edison, E., & Delwita, D. (2019). Perancangan Rangka Body Mobil *Buggy* Untuk Satu Orang Penumpang. *Rang Teknik Journal*, *2*(2), 2–5. https://doi.org/10.31869/rtj.v2i2.1433

Gowtham Rajan N. (2020). Design and Analysis of All-Terrain Electric Vehicle. *International Journal of Engineering Research And*, *V9*(07), 270–276. https://doi.org/10.17577/ijertv9is070179

Isworo, H., & Ansyah, P. R. (2018). *Buku Ajar Metode Elemen Hingga*. 68.

Mulyati. (2014). Mekanikan Bahan, Tegangan dan Regangan. Mechanical Engineering, 1–20.

Nurcahyo, Y. E., Nugroho, W. Y., Studi, P., & Manufaktur, T. (2024). Perancangan dan Analisis Rangka Body Mobil Listrik Kompetisi Fakultas V okasi " aurora ". 8(2), 1–7.

Patil, H., & Jeyakarthikeyan, P. V. (2018). Mesh convergence study and estimation of discretization error of hub in clutch disc with integration of ANSYS. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 402(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/402/1/012065

Rastogi, P., Sharma, I., & Bindal, H. (2018). Design and structural analysis of an off road vehicle. 781–787.

Rupesh Patil. (2020). FEA Analysis of FSAE Chassis. International Journal of Engineering Research And, V9(07), 290–295. https://doi.org/10.17577/ijertv9is070148

Saputro, B., & Pranoto, H. (2022). Analisis kegagalan dengan metode elemen hingga pada chassis mobil listrik Geni Biru KMHE 2020. Journal of New Energies and Manufacturing (JONEM), 1(1), 32–40.

Satinder Singh & Beant Singh. (2014). Design Optimization and Statistical Crash Analysis of Chassis Frame for Off Road Vehicle. International Journal of Automobile Engineering Research and Development (IJAuERD), 4(6), 9–14. http://www.tjprc.org/view-archives.php?year=2014_48_2&id=1&jtype=2&page=2

Seelam, A. B., Aaqif Ahmed, A. K., & Sachidananda, K. H. (2020). Buggy role cage – Analysis and design. International Journal of Safety and Security Engineering, 10(5), 589–599. https://doi.org/10.18280/ijsse.100502

Seelam, A. B., Aaqif Ahmed, A. K., & Sachidananda, K. H. (2020). Buggy role cage – Analysis and design. International Journal of Safety and Security Engineering, 10(5), 589–599. https://doi.org/10.18280/ijsse.100502