

Perancangan dan Analisis Rangka Body Mobil Listrik Kompetisi Fakultas Vokasi "aurora"

¹⁾*Yusuf Eko Nurcahyo, ²⁾ Wisnu Yulianto Nugroho

^{1,2)}Program Studi Teknologi Manufaktur, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Semolowaru 45
Surabaya, Indonesia

*Email: yusufekonurcahyo@untag-sby.ac.id

Diterima: 19.11.2023, Disetujui: 01.05.2024, Diterbitkan: 03.10.2024

ABSTRACT

The surge in demand for electric vehicles, including electric racing cars, has marked a significant pivot towards sustainable transportation, driven by the global imperative to reduce greenhouse gas emissions and urban air pollution. This study focuses on the structural design of a Formula Automotive Engineering (FAE) vehicle frame, which plays a crucial role in vehicle performance aspects like maneuverability, stability, and safety. With the objective of designing an efficient, lightweight, yet robust frame, this research utilizes Ansys, a leading finite element analysis software, to simulate structural static behavior and validate the frame design without the need for costly and time-consuming physical prototypes. Various simulations, including Torsion Test, Cornering Test, Aero+Cornering Test, and Frontal Impact Test, were conducted to assess the frame's response to different operational stress conditions. The results indicate that the frame withstands the imposed stresses while maintaining the necessary balance between strength and flexibility required for high-speed maneuvers and safety. This study concludes that, with advancements in engineering software, the iterative design process of electric vehicle frames can be significantly optimized, contributing to the development of competitive yet sustainable automotive technologies.

Keywords: *Electric Vehicles, Structural Design, Finite Element Analysis, Ansys, Stress Simulation, Sustainable Transportation*

ABSTRAK

Peningkatan permintaan terhadap kendaraan listrik, termasuk mobil balap listrik, telah menandai perubahan signifikan menuju transportasi berkelanjutan, didorong oleh keharusan global untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan polusi udara perkotaan. Penelitian ini berfokus pada desain struktural rangka kendaraan Formula Automotive Engineering (FAE), yang memainkan peranan penting dalam aspek kinerja kendaraan seperti kemampuan manuver, stabilitas, dan keamanan. Dengan tujuan mendesain rangka yang efisien, ringan, namun kuat, penelitian ini menggunakan Ansys, perangkat lunak analisis elemen hingga terkemuka, untuk mensimulasikan perilaku statis struktural dan memvalidasi desain rangka tanpa perlu prototipe fisik yang mahal dan memakan waktu. Berbagai simulasi, termasuk Torsion Test, Cornering Test, Aero+Cornering Test, dan Frontal Impact Test, dilakukan untuk menilai respons rangka terhadap berbagai kondisi stres operasional. Hasilnya menunjukkan bahwa rangka dapat menahan stres yang diberikan sambil mempertahankan keseimbangan yang diperlukan antara kekuatan dan fleksibilitas untuk manuver kecepatan tinggi dan keamanan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa, dengan kemajuan perangkat lunak rekayasa, proses desain iteratif rangka kendaraan listrik dapat dioptimalkan secara signifikan, berkontribusi pada pengembangan teknologi otomotif yang kompetitif namun berkelanjutan.

Kata kunci: *Kendaraan Listrik, Desain Struktural, Analisis Elemen Hingga, Ansys, Simulasi Stres, Transportasi Berkelanjutan*

I. Pendahuluan

Dalam dekade terakhir, revolusi kendaraan listrik telah mengubah lanskap industri otomotif secara global. Peningkatan kesadaran lingkungan dan kebutuhan mendesak untuk mengatasi perubahan iklim telah memacu

permintaan kendaraan dengan emisi karbon yang lebih rendah. Kendaraan listrik (EV) muncul sebagai kandidat kuat yang menjanjikan, tidak hanya karena kemampuan mereka untuk mengurangi emisi gas rumah kaca tetapi juga karena efisiensi energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kendaraan

bertenaga bahan bakar fosil. Khususnya, dalam bidang otomotif kompetitif, seperti balap *Formula Automotive Engineering* (FAE), desain dan pengembangan kendaraan listrik yang tidak hanya cepat dan efisien tetapi juga aman dan stabil menjadi sangat penting. (Albukrek, Doddegowda, Ivaldi, Amodeo, & Bardoscia, 2006; Kaya & Özyurt, 2022; Mane, Garde, Taru, & Jadhav, 2020; Mathijsen, 2016)

Studi literatur menunjukkan bahwa optimisasi struktural merupakan faktor kunci dalam pencapaian tujuan tersebut. Penelitian terbaru telah berfokus pada penggunaan bahan-bahan inovatif dan teknik rekayasa lanjutan untuk meningkatkan performa kendaraan. Misalnya, penggunaan serat karbon dan bahan komposit lainnya telah membawa kemajuan signifikan dalam mengurangi berat kendaraan sambil mempertahankan kekuatan struktural yang diperlukan. Lebih lanjut, penggunaan simulasi komputer dalam desain struktural telah menjadi tren yang berkembang, seperti yang digambarkan oleh studi yang menggunakan Ansys untuk analisis elemen hingga. Simulasi seperti Torsion Test, Cornering Test, dan Frontal Impact Test telah menjadi standar dalam menguji keandalan desain sebelum prototipe fisik dibuat.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengintegrasikan pendekatan-pendekatan terbaru dalam desain struktural dengan aplikasi praktis dalam konteks FAE. Dengan mengeksplorasi potensi teknologi simulasi canggih, seperti Ansys, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah framework desain yang dapat mengevaluasi dan memvalidasi performa struktural kendaraan listrik dalam kondisi operasional yang beragam. Melalui simulasi statis struktural yang komprehensif, studi ini berusaha memastikan bahwa desain rangka kendaraan tidak hanya memenuhi standar keamanan yang ketat tetapi juga mengoptimalkan performa dan efisiensi energi. Hasilnya diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam pengembangan kendaraan listrik yang lebih aman, lebih efisien, dan lebih sesuai dengan aspirasi menuju transportasi berkelanjutan.

II. Bahan dan Metode

Bahan Penelitian:

Penelitian ini mengambil objek penelitian berupa struktur tube baja struktural dengan spesifikasi tertentu: tube berbentuk lingkaran dengan radius luar 16 mm dan radius dalam 12,5 mm. Material ini dipilih karena kekuatan dan fleksibilitasnya yang tinggi, serta kemampuannya untuk menahan berbagai jenis beban yang diterapkan dalam pengujian struktural.

Peralatan dan Teknologi:

Pengujian struktural akan dilakukan menggunakan software simulasi Ansys, yang memungkinkan analisis elemen hingga (FEM) terhadap struktur tube. Ansys dipilih karena kemampuannya yang luas dalam memodelkan dan menganalisis respons struktural terhadap beban, baik dalam kondisi statis maupun dinamis.

Metode Pengujian:

Pengujian dengan Simulasi: Melakukan simulasi digital menggunakan Ansys untuk menganalisis respons struktural tube terhadap berbagai skenario beban, termasuk beban aksial, tekanan internal, dan bending.

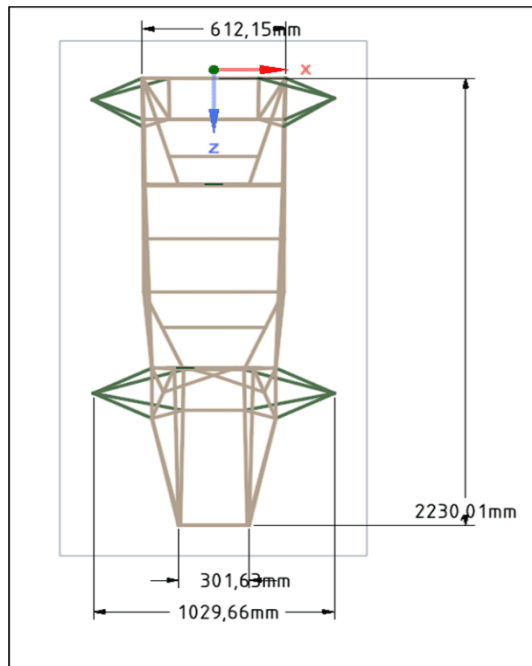
Lokasi dan Waktu Penelitian :

Penelitian ini akan dilakukan di laboratorium Proses Produksi Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya selama periode 6 bulan, dimulai dari Januari hingga Juni 2023.

III. Hasil dan Pembahasan

1. Desain

Dimensi yang digunakan disesuaikan dengan dimensi dari desain bodi kendaraan dan regulasi Kompetisi Mobil Kompetisi "AURORA". Dari sket manual dan gambar 2 dimensi maka didapatkan dimensi keseluruhan rangka yaitu ukuran panjang 2230 mm, lebar 612 mm, dan tinggi 954,8 mm dengan ukuran profil pipa Rluar 16 mm dan Rdalam 12,5 mm. Dari rancangan diperoleh desain 3 dimensi seperti pada gambar di bawah.



Gambar 1 Desain 2D

2. Hasil Simulasi ANSYS 2022 R2

a. Analisis Torsion Test

Torsion Test: Torsion test atau uji torsi adalah metode eksperimental untuk mengukur sifat mekanik bahan, khususnya kekuatan torsi dan modulus geser. Dalam uji ini, spesimen diletakkan di antara dua klem dan ditorque hingga pecah. Keuntungan dari uji torsi adalah memberikan gambaran yang jelas tentang perilaku bahan dalam kondisi beban torsi murni. (Macikowski, Warda, Mitukiewicz, Dimitrova, & Batory, 2022; Patane & Vesmawala, 2023; Wan, Huang, & Mahendran, 2021)

1. Total Deformation

Analisis deformasi total struktur dengan nilai deformasi maksimum sebesar 0.002628 meter, yang ditandai dengan warna yang lebih terang pada struktur.

2. Direct Stress

Analisis tegangan langsung dengan nilai maksimum sebesar $1.1176e7$ Pascal, sementara nilai minimalnya adalah $-1.1174e7$ Pascal.

3. Minimum dan Maximum Combined Stress

Analisis tegangan gabungan minimum dengan nilai tertinggi $1.0384e7$ Pascal dan terendah $-2.0120e8$ Pascal. Sementara itu, tegangan gabungan maksimum dengan nilai puncak $2.0204e8$ Pascal dan nilai minimum $-1.0371e7$ Pascal.

b. Cornering Test

Cornering Test merupakan salah satu uji simulasi yang penting untuk kendaraan, khususnya dalam konteks Formula Automotive Engineering (FAE). Saat kendaraan melalui tikungan, ia mengalami beban lateral yang dapat menyebabkan deformasi pada struktur rangkanya. Dalam software analisis seperti ANSYS, kita dapat mensimulasikan beban ini untuk memahami seberapa besar total deformasi yang terjadi pada rangka saat kendaraan melakukan cornering. (Bagherzadeh, Murugesan, & Deka, 2020; Ismail, Chiang, & Chieng, 2022; Kocabicak & Firat, 2001)

1. Total Deformation

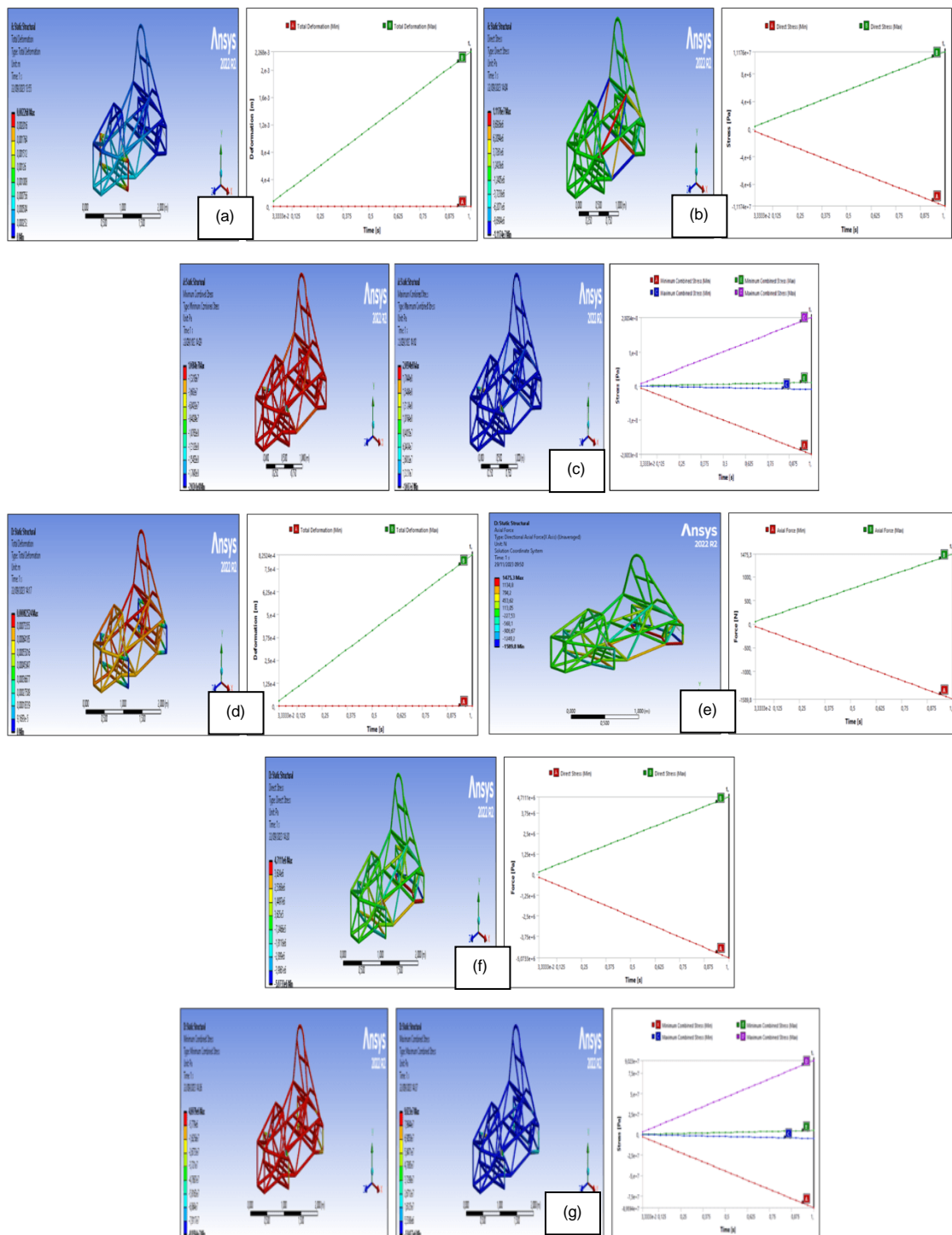
Simulasi menunjukkan deformasi total struktur dengan nilai maksimum deformasi sebesar 0.00082524 meter. simulasi distribusi gaya aksial dalam struktur dengan nilai maksimum 1145.8 Newton dan nilai minimum -1180.8 Newton

2. Direct Stress

Simulasi Ansys menampilkan tegangan langsung dengan nilai maksimum $4.7111e6$ Pascal dan minimum $-5.0733e6$ Pascal.

3. Minimum dan Maximum Combined Stress

Hasil simulasi Ansys yang menampilkan tegangan gabungan Minimum dan maksimum pada sebuah struktur dengan nilai tegangan gabungan minimum dengan nilai tertinggi $4.6979e6$ Pascal dan terendah $-7.9117e7$ Pascal. Puncak maksimum pada sebuah struktur $9.023e7$ Pascal dan nilai terendah $-5.0477e6$ Pascal



Gambar 2 (a) Total Deformation Analisis Torsion Test , (b) Direct Stress Analisis Torsion Test, (c) Minimum dan Maximum Combined Stress Torsion Test, (d) Total Deformation Cornering Test, (e) Axial Force Cornering Test (f) Direct Stress Cornering Test, (g) Minimum dan Maximum Combined Stress

c. Analisis Aero+Cornering Test

Torsion Test: Torsion test atau uji torsi adalah metode eksperimental untuk mengukur sifat mekanik bahan, khususnya kekuatan torsi dan modulus geser. Dalam uji ini, spesimen diletakkan di antara dua klem dan ditorque hingga pecah. Keuntungan dari uji torsi adalah

memberikan gambaran yang jelas tentang perilaku bahan dalam kondisi beban torsi murni.

1. Total Deformation

Analisis deformasi total struktur dengan nilai deformasi total dengan nilai maksimum deformasi sebesar 0.00089808 meter, yang

ditandai dengan warna yang lebih terang pada struktur.

2. Direct Stress

Analisis tegangan langsung dengan nilai maksimum sebesar nilai maksimum sebesar $5.2027e6$ Pascal, sementara nilai minimalnya adalah $-5.4501e6$ Pascal.

3. Minimum dan Maximum Combined Stress

Analisis tegangan gabungan minimum dengan nilai tertinggi $5.1187e6$ Pa (merah) dan minimum $-9.8801e7$ Pa (biru). Sementara itu, tegangan gabungan maksimum dengan nilai tertinggi $9.6849e7$ Pa (merah) dan terendah $-5.4032e6$ Pa (biru).

d. Analisis Frontal Impact Test

Analisis Frontal Impact Test adalah suatu prosedur pengujian yang bertujuan untuk menilai bagaimana kendaraan menanggapi benturan dari depan, yang sering kali merupakan simulasi dari tabrakan kendaraan dengan kendaraan lain atau objek yang tidak bergerak. Dalam rekayasa otomotif, analisis ini penting untuk memastikan keamanan penumpang dalam kasus kecelakaan. (Adolph et al., 2014; Lee & Lim, 2014; Lim, 2021; Mizuno, Wani, & Yonezawa, 2003)

1. Total Deformation

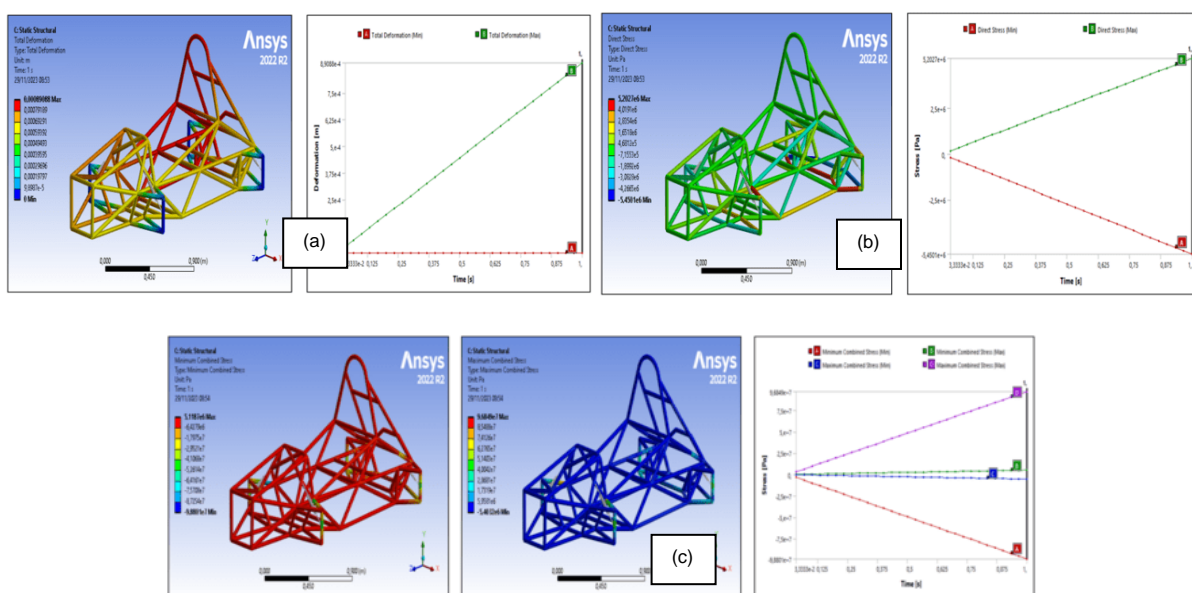
Deformasi ditunjukkan dengan skala warna, bergerak dari minimum 0 m (biru) ke maksimum 0.01052 m (merah). Grafik di bagian atas kanan menggambarkan peningkatan linier deformasi terhadap waktu dengan puncak dekat 0.01052 m. Bagian bawah kiri menunjukkan momen lentur dengan skala warna dari 1.3582e-13 Nm (biru) hingga 682.11 Nm (merah), dan grafik bawah kanan menunjukkan peningkatan linier momen lentur terhadap waktu dengan puncak 682.11 Nm

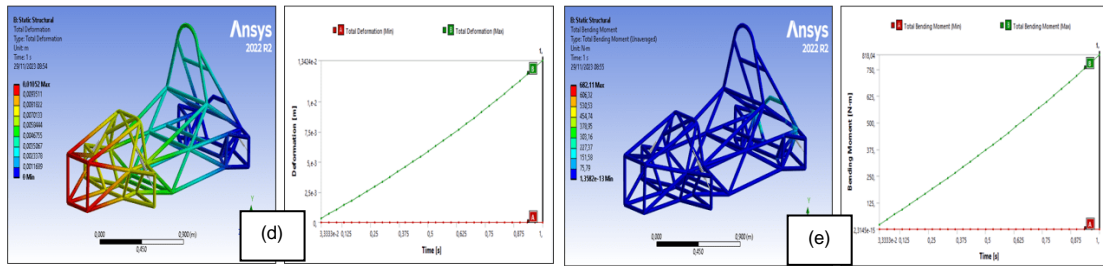
2. Direct Stress

Struktur ditampilkan dengan distribusi tegangan langsung. Skala warna menunjukkan besar tegangan dari nilai minimum $-3.587e2$ Pa (warna biru) hingga nilai maksimum $7.043e6$ Pa (warna merah)

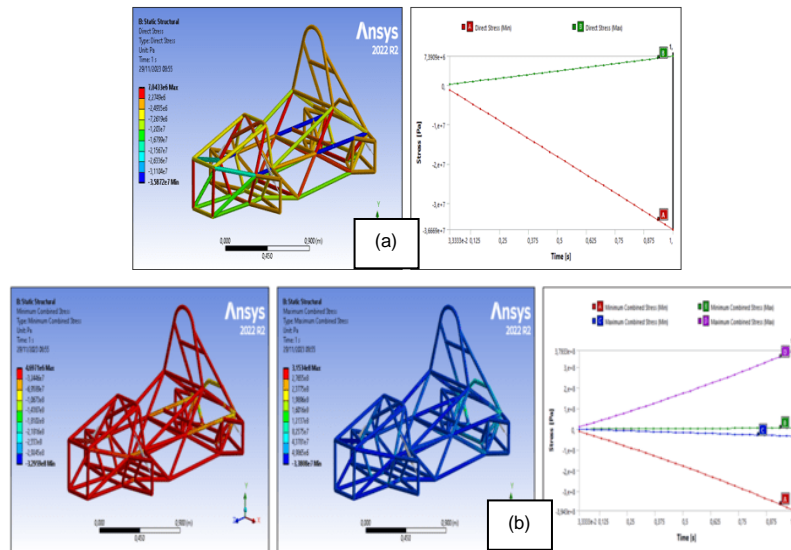
3. Minimum dan Maximum Combined Stress

Struktur yang sama ditampilkan dengan skala warna untuk tegangan gabungan. Nilai tegangan bergerak dari minimum $-3.329e8$ Pa (biru) hingga maksimum $4.697e6$ Pa (merah). Distribusi tegangan gabungan maksimum yang diwarnai berdasarkan tingkat tegangannya. Skala warna berkisar dari minimum $-3,3808e7$ Pascal (warna biru) hingga maksimum 3,1534e8 Pascal (warna merah) *Tabel 1. Data Hasil Penelitian*





Gambar 3 (a) Total Deformation Analisis Aero+Cornering Test, (b) Direct Stess Analisis Aero+Cornering Test, (c) Minimum dan Maximum Combined Stress Analisis Aero+Cornering Test, (d) Total Deformation Analisis Frontal Impact Test, (e) bending moment Frontal Impact Test



Gambar 4 (a) Direct Stess Analisis Frontal Impact Test (b) Minimum dan Maximum Combined Stress Analisis Frontal Impact Test

IV. Kesimpulan

Berdasarkan simulasi Ansys, struktur yang dianalisis menunjukkan nilai tegangan gabungan minimum dan maksimum yang signifikan. Untuk tegangan gabungan minimum, nilai tertinggi yang tercatat adalah 4.6979×10^6 Pascal dan yang terendah adalah -7.9117×10^7 Pascal. Dalam hal tegangan gabungan maksimum, struktur mencapai puncak sebesar 9.023×10^7 Pascal dan nilai terendah sebesar -5.0477×10^6 Pascal. Dalam Torsion Test, khususnya pada rangka Formula Automotive Engineering, fokus utama biasanya pada tegangan geser yang dihasilkan oleh torsi. Namun, dalam kondisi atau desain tertentu, direct stress juga dianggap relevan. Analisis Frontal Impact Test mengungkapkan distribusi tegangan langsung dengan besar tegangan dari nilai minimum -3.587×10^2 Pascal hingga maksimum 7.043×10^6 Pascal. Hasil ini menekankan pentingnya memahami respons struktural terhadap berbagai jenis beban, baik dalam kondisi torsi murni maupun dalam

skenario beban gabungan, untuk memastikan integritas dan keamanan struktural dalam desain kendaraan kompetisi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Hibah Penelitian Dosen Tahun Anggaran 2023. Ucapan terima kasih ini bisa dihilangkan, apabila dalam penulisan artikel ilmiah ini tidak didanai oleh sponsor.

Daftar Pustaka

Adolph, T., Schwedhelm, H., Lazaro, I., Versmissen, T., Edwards, M., Thomson, R., & Johannsen, H. (2014). Development of compatibility assessments for full-width and offset frontal impact test procedures in FIMCAR. *International Journal of Crashworthiness*, 19(4). Retrieved from

- <https://doi.org/10.1080/13588265.2014.909562>
- Albukrek, C., Doddegowda, P., Ivaldi, A., Amodeo, J., & Bardoscia, E. (2006). Unsteady flow analysis of a formula type open wheel race car in cornering. In SAE Technical Papers. Retrieved from <https://doi.org/10.4271/2006-01-3661>
- Bagherzadeh, F., Murugesan, S., & Deka, P. (2020). Material comparison of dynamic cornering fatigue test (iso3006) for automotive wheel rim. *International Journal of Engineering & Technology*, 9(4). Retrieved from <https://doi.org/10.14419/ijet.v9i4.31206>
- Ismail, H., Chiang, C. H., & Chieng, W. H. (2022). Onboard Sensor and Actuator Calibration of a Tripod Electric Vehicle Using Circular, Linear, and Cornering Motion Tests. *SAE International Journal of Commercial Vehicles*, 16(1). Retrieved from <https://doi.org/10.4271/02-16-01-0006>
- Kaya, D., & Özyurt, E. (2022). Design and optimization of impact attenuator for a Formula SAE racing car. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 40(2). Retrieved from <https://doi.org/10.14744/sigma.2022.00041>
- Kocabicak, U., & Firat, M. (2001). Numerical analysis of wheel cornering fatigue tests. *Engineering Failure Analysis*, 8(4). Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S1350-6307\(00\)00031-5](https://doi.org/10.1016/S1350-6307(00)00031-5)
- Lee, K. W., & Lim, J. M. (2014). Comparison on rating methods for female dummy in NCAP frontal impact test. *International Journal of Automotive Technology*, 15(6). Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s12239-014-0096-5>
- Lim, J. M. (2021). A Method for Predicting HIC15, Chest G's and Chest Deflection Based on Results of USNCAP Frontal Impact Tests. *International Journal of Automotive Technology*, 22(3). Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s12239-021-0061-z>
- Macikowski, K., Warda, B., Mitukiewicz, G., Dimitrova, Z., & Batory, D. (2022). Change in the Torsional Stiffness of Rectangular Profiles under Bending Stress. *Materials*, 15(7). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/ma15072567>
- Mane, R., Garde, S., Taru, O., & Jadhav, P. (2020). Design and Manufacturing of Aerodynamic Bodyworks for Formula Student Cars. *International Research Journal of Engineering and Technology*.
- Mathijssen, D. (2016). Formula student electric: Checking out the future of automotive engineering. *Reinforced Plastics*, 60(3). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.repl.2016.04.070>
- Mizuno, K., Wani, K., & Yonezawa, H. (2003). Vehicle crashworthiness in full and offset frontal impact tests. *JSAE Review*, 24(2). Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0389-4304\(03\)00004-3](https://doi.org/10.1016/S0389-4304(03)00004-3)
- Patane, A., & Vesmawala, G. (2023). Experimental and analytical investigation of the behaviour of reinforced concrete beam under pure torsion. *Materials Today: Proceedings*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.539>
- Wan, H. X., Huang, B., & Mahendran, M. (2021). Experiments and numerical modelling of cold-formed steel beams under bending and torsion. *Thin-Walled Structures*, 161. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.107424>