

Analisis dan Modifikasi Rangka Mobil Antawiryra Menggunakan Metode Elemen Hingga

Budi Setiyana^{a,*}, Sugiyanto^a, R. Kurniawan^b

^a Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

^b Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: betiyana@yahoo.com

Abstract

The Antawiryra team is a team that is currently conducting research and development on cars to improve fuel efficiency. One of the efforts is to modify the car frame by reducing the weight of the car frame while still considering the safety aspect. In this study, the existing frame design will be analyzed to determine the stress distribution and the displacement with the Finite Element Method. From these data, the safety factor of the frame will be obtained. Simulation is performed by giving normal static load and rollbar static load. Normal static loading is the weight of the driver, body and engine components, while the rollbar static load is given from the top, right side, left side, front and rear direction. From the analysis obtained, the original frame of the Antawiryra 2019 car has a safety factor with a normal static load condition of 6.05, while the top, right side, left side, front and rear rollbar load conditions are 4.75, 1.17, 1.28, 2.17 and 5.18 respectively. This research produces a modified frame design for the Antawiryra 2019 car with a safety factor for normal static load conditions of 3.40 and safety factor for rollbar static load from the top, right side, left side, front and rear of 2.39, 1.31, 2.29 and 1.04 respectively. In frame car modification, the weight of the frame can be reduced by 30.76% from 9.1 kg to 6.3 kg.

Keywords: Antawiryra, car, frame, rollbar

Abstrak

Tim Antawiryra merupakan tim yang sedang melakukan riset dan pengembangan pada mobil untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar. Salah satu usahanya adalah memodifikasi rangka mobil dengan cara mengurangi berat rangka tetapi masih tetap mempertimbangkan aspek keamanan. Dalam penelitian ini akan dianalisis desain rangka yang sudah ada untuk mengetahui distribusi tegangan (*stress*) dan juga perpindahan (*displacement*) dengan Metoda Elemen Hingga. Dari data tersebut akan diperoleh faktor keamanan dari rangka tersebut. Simulasi dilakukan dengan memberikan beban statis normal dan beban statis *rollbar*. Pembebanan statis normal berupa berat dari komponen *driver*, bodi dan *engine*, sedangkan beban statis *rollbar* diberikan dari arah atas, samping kanan, samping kiri, depan dan belakang. Dari analisis didapat, rangka asli mobil Antawiryra 2019 memiliki faktor kamanan dengan kondisi beban statis normal sebesar 6.05, sedangkan pada kondisi beban *rollbar* atas, samping kanan, samping kiri, depan, dan belakang secara berurutan sebesar 4.75, 1.17, 1.28, 2.17, dan 5.18. Penelitian ini menghasilkan sebuah desain rangka modifikasi mobil Antawiryra 2019 dengan angka keamanan untuk kondisi beban statis normal sebesar 3.40 dan beban statis *rollbar* dari arah atas, samping kanan, samping kiri, depan, dan belakang secara berurutan sebesar 2.39, 1.31, 2.29 dan 1.04. Berat rangka dapat dikurangi sebesar 30,76 % dari rangka sebelumnya, yaitu dari 9.1 kg menjadi 6.3 Kg.

Kata kunci: antawiryra, mobil, rangka, *rollbar*

1. Pendahuluan

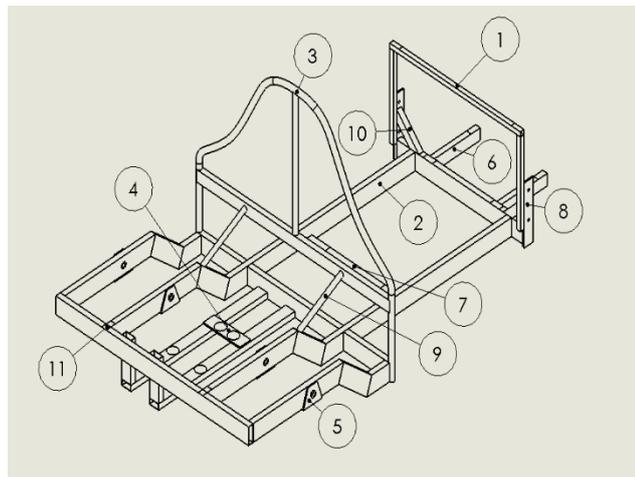
Indonesia harus ikut serta dalam mengembangkan teknologi terbaru pada kendaraan yang hemat bahan bakar atau menggunakan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan [1]. Tim Antawiryra merupakan sebuah tim riset mobil hemat bahan bakar dari Universitas Diponegoro. Setiap tahun tim Antawiryra melakukan riset dan pengembangan pada mobil untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar. Permasalahan paling utama dalam pengembangan mobil hemat bahan bakar adalah berat mobil. Setiap tahun mobil Antawiryra dilakukan pengembangan untuk menurunkan berat mobil agar dapat lebih efisien dalam konsumsi bahan bakar. Pada tahun 2018 tim Antawiryra membuat satu mobil dengan rangka dan juga bodi yang baru yang merupakan hasil riset dan pengembangan dari mobil sebelumnya.

Dalam perancangan rangka mobil Antawiryra Urban Konsep 2019 bisa dibilang desain dasar dan belum memiliki analisis yang mendalam yang dibutuhkan sebagai bahan pertimbangan. Analisis yang dimaksudkan adalah analisis tegangan pada desain mobil tersebut [2,3]. Pada rangka mobil Antawiryra Urban Konsep 2019 juga belum diketahui secara pasti nilai faktor keamanannya. Agar dapat memastikan performa rancangan rangka mobil Antawiryra Urban Konsep 2019, maka artikel ini berupaya menganalisa rangka tersebut untuk menjadi dasar pengembangan mobil selanjutnya. Penulis menggunakan software ABAQUS 6.14 untuk menganalisa rangka mobil Antawiryra [4]. Dalam penelitian ini akan

dianalisis desain rangka untuk mengetahui distribusi tegangan (*stress*) dan juga defleksi (*displacement*) yang terjadi pada rangka. Dari data tersebut akan diperhitungkan nilai dari faktor keamanan dari rangka tersebut. Berdasarkan nilai faktor keamanan yang diketahui nantinya akan diputuskan untuk dilakukan pengembangan lebih lanjut. Apabila rangka ini masih memiliki faktor keamanan yang cukup tinggi akan dilakukan modifikasi untuk desain rangka yang baru yang lebih ringan, sehingga dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar [5,6].

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, objek yang digunakan adalah struktur rangka mobil Antawirya urban konsep 2019. Struktur rangka terdiri dari beberapa bagian diantaranya struktur rangka tengah, belakang, roll bar depan, dan roll bar utama. Selain itu, pada pemodelan struktur rangka ini terdiri dari beberapa jenis material dengan ukuran dan dimensi yang berbeda-beda. Pemodelan struktur rangka ini dibuat dengan menggunakan bantuan software CAD SOLIDWORKS 2018 [7,8]. Adapun hasil pemodelan dari struktur rangka mobil Antawirya ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil pemodelan menunjukkan bagian-bagian rangka yang akan digunakan pada simulasi ini.

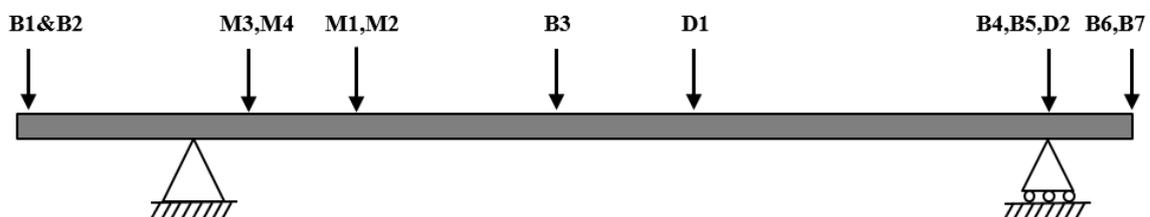


Keterangan gambar :

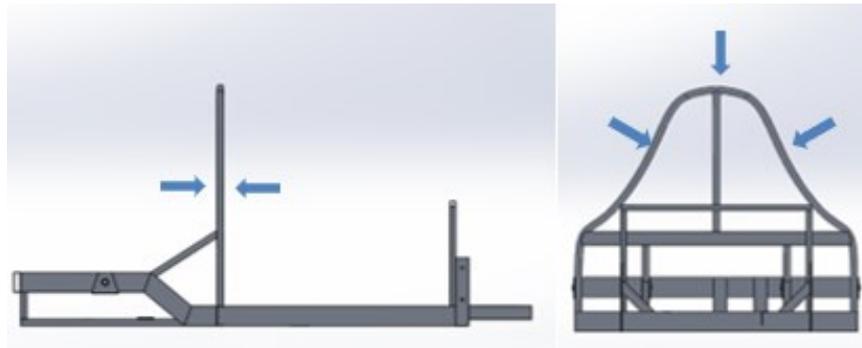
1. Rollbar depan
2. Main Rangka
3. Rollbar utama
4. Dudukan mesin
5. Axle Box belakang
6. Dudukan pedal dan bodi depan
7. Tumpuan driver
8. Tumpuan sistem kemudi depan
9. Main Rollbar Support
10. Front Rollbar Support
11. Dudukan bodi belakang

Gambar 1. Detail bagian rangka mobil Antawirya 2019

Metode simulasi yang digunakan dalam simulasi ini adalah simulasi statis [9,10]. Simulasi statis sendiri dibagi menjadi dua, yaitu statis normal dengan pembebanan akibat dari berat *driver*, bodi, dan *engine*. Untuk beban statis normal, dari gambar 2 terdapat 14 titik beban yang terdiri dari beban *driver* meliputi D1, D2, dan D3, beban bodi meliputi B1, B2, B3, B4, B5, B6, dan B7, dan beban *engine* meliputi M1, M2, M3 dan M4. Untuk simulasi beban statis pada *rollbar* diberikan dengan memberikan beban sebesar 70 kg (686 N) pada *rollbar* dari berbagai arah, yaitu dari atas, samping kanan, samping kiri, depan dan belakang, seperti terlihat di gambar 3.

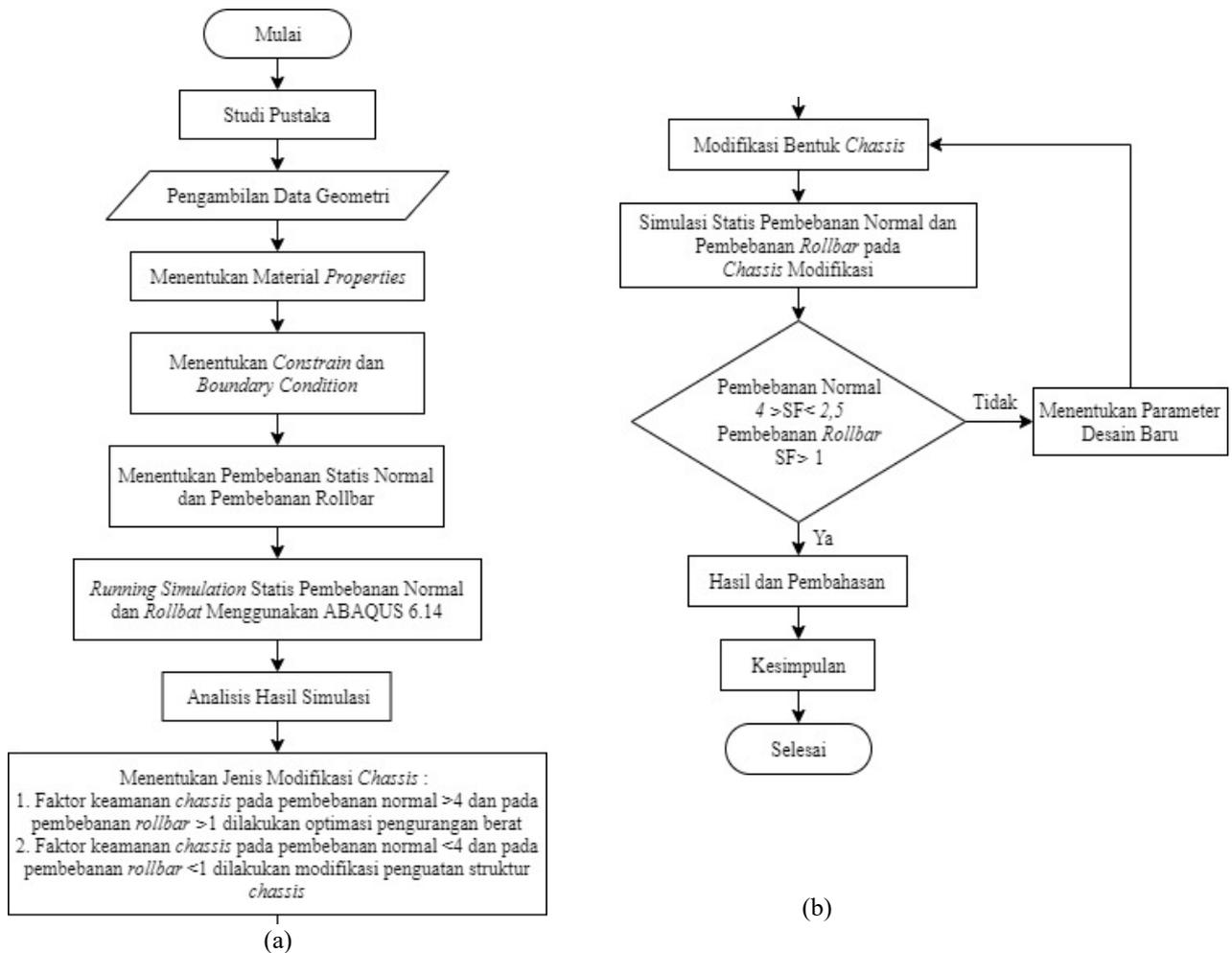


Gambar 2. Pemodelan pembebanan statis normal pada rangka



Gambar 3. Arah pemberian gaya Rollbar pada rangka

Dari desain struktur yang ada, akan dilakukan simulasi *stress* dan defleksi dengan melalui tahapan simulasi. Tahapan pertama adalah *import* desain ke *software* ABAQUS 6.14. Tahapan selanjutnya adalah memasukan data material yang digunakan dan memberikan pembebanan sesuai yang diinginkan. Tahapan terakhir adalah simulasi statis pada struktur *rangka* mobil Antawirya menggunakan *software* ABAQUS 6.14. Dari sini akan berguna untuk menentukan modifikasi rangka dengan mengurangi berat komponen rangka. Adapun alur analisis diberikan pada gambar 4.



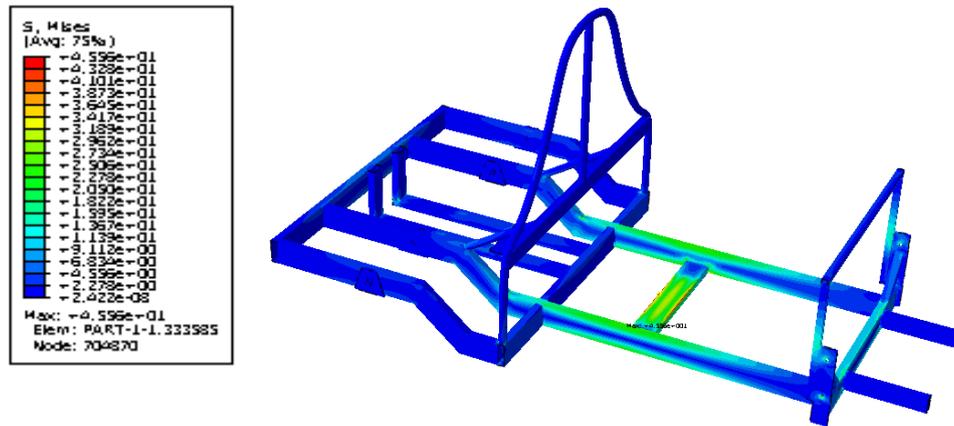
Gambar 4. Diagram alir analisis, tahap identifikasi (a) dan tahap modifikasi (b).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Simulasi Rangka Mobil Antawirya 2019

Salah satu output pada hasil analisis elemen hingga adalah tegangan *Von Mises* yang dapat digunakan untuk memperkirakan kemungkinan terjadinya deformasi plastis pada struktur [11,12]. Dari hasil analisis dapat diketahui plot tegangan *Von Mises* pada model yang digambarkan menggunakan kontur warna. Kontur tegangan terendah digambarkan dengan warna biru, sedangkan kontur tegangan tertinggi digambarkan dengan warna merah. Kontur warna yang ditampilkan pada model dapat digunakan untuk mengetahui distribusi tegangan pada model. Output selanjutnya yang dapat ditampilkan adalah *displacement*. *Displacement* merupakan perpindahan atau bergesernya elemen pada elemen hingga akibat dari gaya yang diberikan pada model.

Simulasi untuk model rangka mobil Antawirya 2019 dengan pembebanan normal menunjukkan bahwa tegangan maksimal yang terjadi sebesar 45,56 MPa dengan nilai *displacement* maksimal yang terjadi yaitu sebesar 2,77 mm.



Gambar 5. Kontur tegangan pada rangka Antawirya 2019

Setelah dilakukan simulasi rangka mobil Antawirya 2019 dengan pebebanan normal akibat beban dari *driver*, *bodi*, dan *engine* selanjutnya dilakukan pembebanan pada *rollbar*. Penambahan beban pada *rollbar* dilakukan bertahap dengan variasi 5 arah beban sebesar 70 kg (686 N) sesuai dengan regulasi perlombaan. Hasil simulasi pada rangka mobil Antawirya 2019 dengan pemberian beban pada statis normal dan *rollbar* ditampilkan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Nilai tegangan *von mises* dan *displacement* pada rangka mobil Antawirya 2019

Pembebanan	Tegangan Maksimal (MPa)	<i>Displacement</i> Maksimal (mm)	Faktor Keamanan
Statis normal	45,56	2,77	6,05
<i>Rollbar</i> atas	73,17	4,75	4,75
<i>Rollbar</i> samping kanan	235,40	5,72	1,17
<i>Rollbar</i> samping kiri	215,04	5,72	1,28
<i>Rollbar</i> depan	134,77	2,17	2,17
<i>Rollbar</i> belakang	113,40	5,18	5,18

Nilai faktor keamanan terendah dari rangka mobil Antawirya 2019 terjadi pada kondisi pembebanan *rollbar* samping kanan sebesar 1,17. Nilai tersebut masih dalam batas aman dimana tidak kurang dari 1 sehingga rangka tidak mengalami kegagalan atau deformasi plastis. Nilai faktor keamanan tertinggi terjadi pada kondisi pembebanan normal sebesar 6,05 yang merupakan kondisi yang dijadikan dasar dalam rancangan rangka mobil Antawirya. Berpedoman pada aturan nilai faktor keamanan menurut Mott dalam menentukan faktor keamanan suatu struktur yang akan dirancang maka struktur rangka Antawirya ditentukan nilai faktor keamanan antara 2,5 sampai 4,0. Sehingga ditentukan kriteria batas pada rangka mobil Antawirya urban konsep seperti pada table berikut [3].

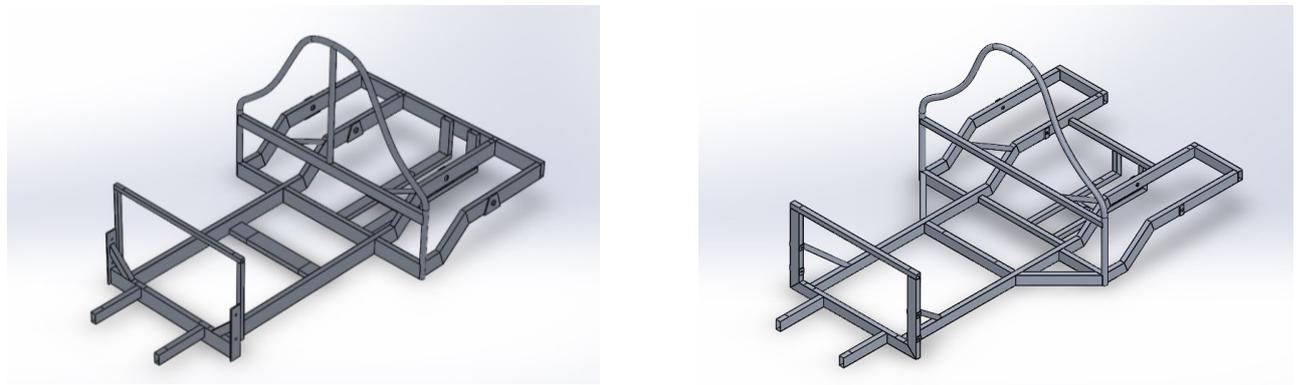
Tabel 2. Kriteria dasar desain rangka mobil Antawirya

Parameter	Kondisi Pembebanan	
	Normal	Rollbar
Displacement maksimal	5 mm	50 mm
Faktor keamanan	2,5 – 4,0	> 1

Berdasarkan kriteria desain rangka mobil Antawirya yang ditentukan dapat diketahui perbandingan dari hasil simulasi rangka mobil Antawirya 2019 yang masih masuk dalam kriteria yang diijinkan. Secara garis besar pada hasil analisis rangka mobil Antawirya 2019 masih cukup jauh dari batas kriteria yang ditentukan sehingga memungkinkan untuk dilakukan optimasi untuk membuat rangka modifikasi dengan berat yang lebih ringan dari rangka sebelumnya.

3.2 Modifikasi Rangka Antawirya

Setelah dilakukan simulasi statis dengan kondisi pembebanan normal dan pembebanan *rollbar* pada rangka mobil Antawirya 2019 menunjukkan hasil yang aman dan memungkinkan untuk dilakukan optimasi pengurangan berat dari rangka. Salah satu cara dalam mengurangi berat dari rangka adalah memodifikasi desain rangka mobil Antawirya [5]. Modifikasi yang dimaksudkan merupakan merubah desain dari rangka Antawirya 2019 dengan perubahan pada dimensi dan desain strukturnya [13]. Pada desain modifikasi yang dibuat harus sesuai desain rancangan dasar dari rangka sebelumnya sehingga dapat diaplikasikan dengan komponen mobil Antawirya seperti sebelumnya.



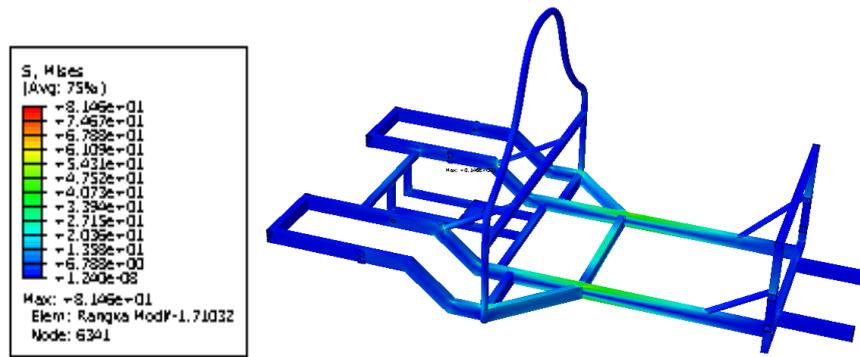
(a) (b)
Gambar 6. Desain rangka mobil Antawirya sebelum (a) dan sesudah modifikasi (b).

Desain rangka mobil Antawirya yang telah dimodifikasi tersebut merupakan hasil pengembangan dari rangka mobil sebelumnya. Pada penelitian ini dihasilkan pengembangan desain rangka untuk mengurangi berat. Desain modifikasi tersebut merupakan hasil akhir dari proses analisis dengan metode elemen hingga untuk memastikan desain rangka yang aman dan dapat diaplikasikan pada mobil Antawirya urban konsep.

3.3 Hasil Simulasi Rangka Modifikasi

Desain rangka modifikasi dilakukan simulasi pada Abaqus 6.14 dengan beban dan kondisi batas sama seperti pada rangka sebelumnya. Dari simulasi yang dilakukan menghasilkan data tegangan dan *displacement* yang dapat dijadikan perbandingan dari hasil simulasi pada rangka sebelumnya. Proses simulasi ini dilakukan secara bertahap untuk mendapatkan desain modifikasi yang paling baik dan sesuai dengan yang diinginkan [5]. Hasil simulasi pada rangka modifikasi menunjukkan bahwa nilai *displacement* maksimal yang terjadi yaitu sebesar 4,22 mm, sedangkan tegangan maksimal yang terjadi sebesar 81,46 MPa.

Setelah dilakukan simulasi rangka modifikasi dengan pembebanan normal akibat beban dari *driver*, *bodi*, dan *engine* selanjutnya dilakukan pembebanan pada *rollbar* seperti pada simulasi sebelumnya [13]. Hasil simulasi untuk model rangka modifikasi dengan penambahan beban *rollbar* dapat dilihat pada tabel 3.



Gambar 7. Hasil simulasi tegangan pada rangka Antawirya modifikasi

Selanjutnya dari data simulasi rangka modifikasi dihitung nilai faktor keamanan menggunakan perhitungan yang sama seperti yang telah dilakukan pada rangka sebelumnya. Nilai faktor keamanan dari rangka modifikasi dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Nilai tegangan *von misses* dan *displacement* pada rangka modifikasi

Pembebanan	Tegangan maksimal	Displacement maksimal	Faktor keamanan
	(MPa)	(mm)	
Normal	81,46	4,22	3,40
Rollbar atas	115,06	8,43	2,39
Rollbar Samping Kanan	210,88	10,17	1,31
Rollbar Samping Kiri	120,14	10,33	2,29
Rollbar Depan	263,28	3,47	1,04
Rollbar Belakang	185,21	10,47	1,49

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan diketahui tegangan terbesar terjadi pada rangka modifikasi pada kondisi pembebanan *rollbar* dari depan dengan tegangan sebesar 263,28 Mpa dan tegangan terkecil pada kondisi pembebanan normal sebesar 81,46 Mpa. *Displacement* terbesar pada rangka modifikasi terjadi pada kondisi pembebanan *rollbar* belakang sebesar 10,47 mm dan terkecil pada kondisi pembebanan *rollbar* depan dengan *displacement* yang terjadi sebesar 3,47 mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rangka hasil modifikasi telah memenuhi kriteria dari rangka mobil Antawirya yang memiliki batas defleksi maksimal sebesar 5 mm.

3.4 Perbandingan Hasil Akhir Simulasi

Setelah dilakukan rangkaian simulasi baik dalam kondisi pembebanan normal maupun pembebanan *rollbar* pada model rangka mobil Antawirya 2019 dan rangka hasil modifikasi, kemudian didapat hasil analisa. Hasil analisa kemudian dirangkai menjadi sebuah tabel perbandingan untuk mempermudah peninjauan. Hasil dari desain modifikasi yang telah dibuat akan menjadi rekomendasi untuk digunakan pada rangka mobil Antawirya selanjutnya.

Tabel 4. Perbandingan rangka Antawirya 2019 dan rangka modifikasi

No.	Hasil analisis	Model rangka	
		Rangka 2019	Rangka modifikasi
1.	Berat total	9,1 Kg	6,3 Kg
2.	Displacement Max	2,77 mm	4,22 mm
3.	Von Misses Max	45,56 MPa	81,46 MPa
4.	Faktor keamanan	Aman	Aman

Dari perbandingan hasil simulasi pada model rangka mobil Antawirya 2019 dan rangka modifikasi pada Tabel 4, maka disimpulkan bahwa rangka mobil Antawirya masih bisa direduksi berat dengan aman dengan pengurangan berat rangka sebesar 30,76 %. Rangka hasil modifikasi dalam penelitian ini telah memenuhi kriteria yang ditetapkan dan dapat dijadikan rekomendasi desain rangka untuk mobil Antawirya selanjutnya.

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut: (1) Pengujian simulasi statis dengan metode elemen hingga telah berhasil dilaksanakan dengan kondisi pembebanan statis normal dan statis *rollbar*; (2) Rangka mobil Antawirya 2019 memiliki faktor keamanan dengan kondisi beban statis normal dan pada kondisi beban statis *rollbar* cukup aman untuk dilakukan reduksi berat; (3) Penelitian ini menghasilkan sebuah desain pengembangan dari rangka mobil Antawirya 2019 dengan reduksi berat sebesar 30,76 %.

Daftar Pustaka

- [1] Tim Penyusun, KMHE, 2018, "*Regulasi Teknis Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE)*," Padang.
- [2] Fuad, A., Muhammad, F., 2015, "*Analisis Defleksi Rangka Mobil Listrik Berbasis Angkutan Massal Menggunakan Metode Elemen Hingga*," Semarang, Universitas Negeri Semarang.
- [3] Fadila, A., Syam, B., 2013, "*Analisis Simulasi Struktur Rangka Mobil Mesin Usu Berbahan Besi Struktur Terhadap Beban Statik Dengan Menggunakan Perangkat Lunak Ansys 14.5*," Medan, Universitas Sumatra Utara.
- [4] ABAQUS 6.11, 2011, "*Standard User's Manual, Dassault Systems Simulia Corp.*," USA.
- [5] Garud, R.Y., Shahid, C., Tamboli, S., Pandey, A., 2018, "*Structural Analysis of Automotive Chassis, Design Modification and Optimization*," International Journal of Applied Engineering Research, 13: 9887–9892.
- [6] Hariandja, B., 1996, *Mekanika Teknik: Statika dalam Analisa Stuktur berbentuk Rangka*, Jakarta: Erlangga.
- [7] Jensen, A., Harry H., 1989, "*Kekuatan Bahan Terapan (4th Ed.)*," diterjemahkan by Darwin Sebayang, Jakarta, Erlangga.
- [8] Wikipedia, 2019, "*Vehicle frame*," https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle_frame, diakses: 10 Agustus 2019.
- [9] Liang, C., Le, N, 2012, "*Lightweight optimization of bus frame structure considering rollover safety*," Conference: The Sustainable City, 155.
- [10] Chiandussi, G., Gaviglio, I., Ibb, A., 2004, "*Topology optimisation of an automotive component without final volume constraint specification*," *Advances in Engineering Software*, 35: 609–617.
- [11] Madenci, E., Guven, I., 2006, "*The Finite Element Method and Application in Engineering*," Springer Science-Business Media.
- [12] Logan, D.L., 2011, "*A First Course in the Finite Element Method*," Global Engineering: Christopher M. Shortt. Stamford, USA.
- [13] Beer, F., Johnstone, E., DeWolf, J., Mazurek, D., 2015, "*Mechanics of Materials 7th Edition*," New York : McGraw-Hill Education.