

## ANALISIS STATIS DAN DINAMIS RANGKA KENDARAAN RODA TIGA MATERIAL ALUMINIUM DAN BAJA MENGGUNAKAN SOFTWARE ALTAIR

\*Rahman Al Yuzif<sup>1</sup>, Toni Prahasto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

\*E-mail: rahmanalyuzif3@gmail.com

### Abstrak

Kenaikan harga bahan bakar sangat berpengaruh terhadap pasar logistik, dimana untuk pengiriman logistik kedaerah yang memiliki akses jalan kecil dan gang sempit perlu adanya kendaraan yang memiliki mobilitas yang tinggi serta hemat terhadap bahan bakar. Perlu adanya pengembangan kendaraan yang dapat mengatasi masalah tersebut. Kendaraan roda tiga dirancang memiliki ruang kargo untuk membawa logistik yang berat. Rangka kendaraan roda tiga juga mewakili total berat kendaraan roda tiga karna terbuat dari baja. Penggunaan bahan ringan, seperti aluminium, sangat penting untuk mengurangi berat total kendaraan roda tiga. Penelitian ini difokuskan terhadap rangka kendaraan roda tiga, karena mewakili 30% dari total berat dan merupakan bagian yang paling tertekan dari kendaraan roda tiga. Terdapat dua analisis yang dilakukan pada penelitian ini. Pertama adalah analisis modal untuk menentukan frekuensi pribadi dan bentuk mode dari model yang dikembangkan. Karena jika frekuensi eksitasi sama dengan frekuensi pribadi rangka maka akan terjadi resonansi hal ini dapat menyebabkan defleksi berlebihan, konsentrasi tegangan berlebih, kelelahan struktur dan ketidaknyamanan kendaraan. Hasil analisis pada kasus ini menunjukkan bahwa nilai frekuensi pribadi tidak terpengaruh oleh perubahan material. Jenis analisis kedua adalah analisis tegangan statis linear untuk memperhatikan distribusi tegangan dan pola deformasi kerangka di bawah beban statis secara numerik. Untuk metode numerik, kerangka dirancang menggunakan *SolidWorks* dan analisis dilakukan menggunakan *Altair Optistruct*. Tegangan *Von Mises* maksimum yang dialami oleh rangka pada kondisi statis memiliki nilai yang sama untuk kelima material yang digunakan. Dalam kasus pembebaan statis pada material aluminium berat rangka kendaraan roda tiga berkurang 21 kg.

**Kata kunci:** *altair optistruct; aluminium; analisis dinamik; analisis statik; baja; kendaraan roda tiga*

### Abstract

*The increase in fuel prices has a significant impact on the logistics market, where for the delivery of logistics to areas with small roads and narrow alleys, vehicles with high mobility and fuel efficiency are needed. There is a need for the development of vehicles that can overcome this issue. Three-wheeled vehicles are designed to have cargo space to carry heavy logistics. The frame of a three-wheeled vehicle also represents the total weight of the three-wheeled vehicle as it is made of steel. Therefore, the use of lightweight materials, such as aluminum, is crucial to reduce the total weight of the three-wheeled vehicle. In this study, the focus is on the three-wheeled vehicle frame as it represents 30% of the total weight and is the most stressed part of the three-wheeled vehicle. In this study, two analyses are conducted. The first is modal analysis to determine the natural frequencies and mode shapes of the developed model. Because if the excitation frequency is equal to the natural frequency of the frame, resonance will occur, which can cause excessive deflection, excessive stress concentration, structural fatigue, and vehicle discomfort. In this case, the analysis results show that the natural frequency is not affected by material changes. The second type of analysis is linear static stress analysis to observe the stress distribution and deformation patterns of the frame under static loads numerically. For numerical methods, the frame is designed using *SolidWorks*, and the analysis is performed using *Altair Optistruct*. The maximum *Von Mises* stress experienced by the frame under static conditions is the same for all five materials used. In the case of static loading with aluminum material, the weight of the three-wheeled vehicle frame is reduced by 21 kg.*

**Keywords:** *altair optistruct; aluminium; dynamic analysis; static analysis; steel; three-wheeled vehicle*

## 1. Pendahuluan

Dampak dari kenaikan biaya bahan bakar yang signifikan dalam sepuluh tahun terakhir terhadap sektor otomotif dan industri kendaraan rekreasi mendorong untuk pengembangan kendaraan penumpang yang lebih efisien dalam konsumsi bahan bakar. Standar saat ini untuk kendaraan roda empat telah dirancang agar mampu menampung empat hingga enam penumpang dengan kenyamanan dan ruang yang memadai untuk barang bawaan mereka, namun hal ini membatasi peningkatan efisiensi bahan bakar kendaraan tersebut. Di sisi lain, kendaraan roda dua seperti sepeda, moped, dan sepeda motor menawarkan konsumsi bahan bakar yang lebih hemat, namun cenderung hanya cocok untuk satu penumpang dengan ruang kargo terbatas dan kurangnya perlindungan dari cuaca buruk. Oleh karena itu, perlu adanya pengembangan kendaraan yang dapat mengangkut satu atau dua penumpang dengan ruang dan kenyamanan yang setara dengan kendaraan roda empat, sambil tetap memberikan efisiensi bahan bakar yang lebih tinggi. Dengan demikian, mempertimbangkan kendaraan roda tiga sebagai alternatif adalah suatu langkah yang rasional [1].

Analisis statis adalah langkah penting dalam proses rekayasa untuk memastikan keandalan yang terjadi pada rangka kendaraan, yang berkaitan dengan keselamatan kendaraan [2]. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk mengetahui respon rangka terhadap pembebahan statis sehingga dapat mengevaluasi kemampuan kekuatan dan deformasi rangka. Secara umum, rangka harus mampu menahan pembebahan tanpa mengalami deformasi yang signifikan, sehingga tegangan pada rangka tidak melebihi kekuatan luluh material yang digunakan. Oleh karena itu, pemilihan material dalam proses desain merupakan hal yang sangat penting sebelum produk dibuat [3]. Pembebahan operasional maksimum diterapkan pada struktur untuk mengetahui perilaku struktur dalam kondisi beban penuh, yang terdiri dari berat kendaraan, muatan, dan pengemudi.

Analisis modal adalah proses menentukan karakteristik dinamis yang melekat pada suatu sistem dalam bentuk frekuensi alami, faktor redaman, dan bentuk mode, serta menggunakan untuk merumuskan model matematika untuk perilaku dinamisnya [4]. Analisis dinamis ini akan menentukan getarang yang terjadi pada model yang dianalisis. Getaran yang berlebih atau resonansi yang berlebihan akan menyebabkan kerusakan pada struktur, kondisi ini dapat diantisipasi dalam perencanaan, salah satu caranya adalah mengetahui nilai frekuensi pribadi dari suatu sistem [5].

NCSTT Indonesia sedang mengembangkan kendaraan roda tiga untuk keperluan pengiriman barang. Kendaraan ini direncanakan agar dapat bergerak dengan lincah dan memiliki kemampuan manuver yang baik untuk melintasi jalan perkotaan. Mobilitas utama kendaraan ini adalah kemampuan kendaraan dalam melintasi jalan kecil dan gang sempit. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan rangka kendaraan yang ringan [6]. Proses rekayasa diperlukan untuk mengoptimalkan bobot kendaraan ini. Proses analisis teknik yang dilakukan untuk rangka adalah analisis statis, dinamis dan nilai faktor keamanan pada rangka kendaraan roda tiga terhadap material aluminium dan baja.

## 2. Metode Penelitian

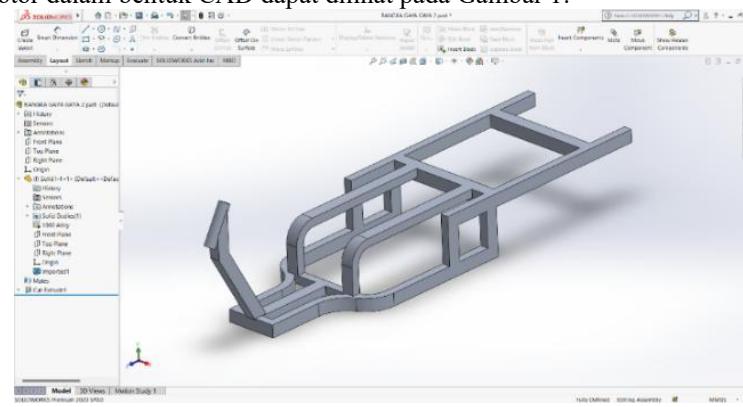
### 2.1 Pemodelan Rangka

Penelitian yang dilakukan pada kali ini menggunakan bantuan aplikasi *Finite Element Analysis* (FEA) Bernama *Altair Hyperworks* 2022. Software ini digunakan untuk melakukan simulasi statik dan dinamik pada desain rangka kendaraan roda tiga pada masing-masing jenis materialnya [7]. Pada Tabel 1 menunjukkan sifat material yang digunakan pada simulasi untuk rangka [8].

**Tabel 1.** Tabel Sifat Material Aluminium dan Baja

Properties	Aluminium 6061-T6	Aluminium 7075-T6	Baja AISI 1018-HR	Baja S690	ASTM A572 HSLA 60
Modulus Young (GPa)	69.0	71.7	200	200	190
Shear Modulus (GPa)	26.6	26.9	78.0	60	73
Poisson Ratio	0.33	0.33	0.29	0.27	0.29
Density (g/cm)	2.70	2.81	7.87	7.84	7.8
Yield Strength (MPa)	275	505	220	690	470
Ultimate Strength (MPa)	310	570	440	770	580
Rasio Redaman	0.03	0.05	0.05	0.06	0.06

Objek yang digunakan untuk di analisis adalah rangka kendaraan roda tiga. Pada penelitian ini digunakan pemodelan dalam bentuk CAD agar kemudian dapat disimulasikan dalam aplikasi Altair Hyperworks 2022. Hasil pemodelan rangka sepeda motor dalam bentuk CAD dapat dilihat pada Gambar 1.

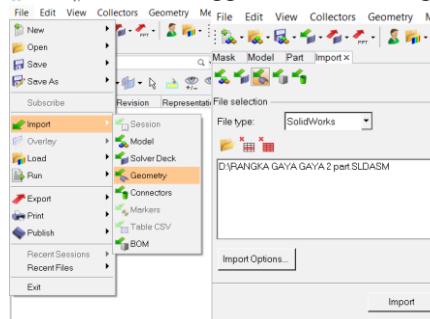


Gambar 1. Model CAD Rangka Kendaraan Roda Tiga

## 2.2 Pra-Simulasi

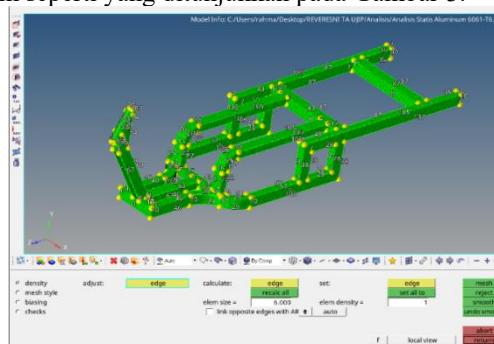
Simulasi dilakukan untuk mengetahui tegangan *VonMises*, *displacement*, dan frekuensi pribadi pada rangka kendaraan roda tiga tersebut. Untuk melakukan simulasi rangka menggunakan *software finite elemen method* (FEM) pada *Altair Hyperworks* 2022. Terdapat beberapa langkah untuk melakukan pra-simulasi sebelum melakukan simulasi analisis, diantaranya sebagai berikut.

Setelah membuat model CAD rangka kendaraan roda tiga, melakukan Input geometri rangka yang sebelumnya sudah dimodelkan pada CAD dapat dilakukan dengan menggunakan cara sebagai berikut.



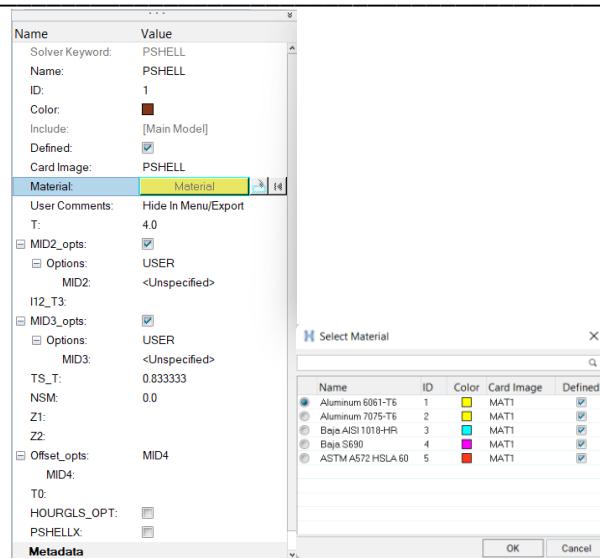
Gambar 2. Proses Input Geometri

Kemudian lakukan meshing pada geometri dengan memilih automesh pada panel 2D. pilih surf lalu klik bagian rangka hingga seluruh permukaan telah terpilih. Pada menu batchmesh gunakan parameter dan kriteria yang tertera pada optistruct untuk ukuran elemen 6 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



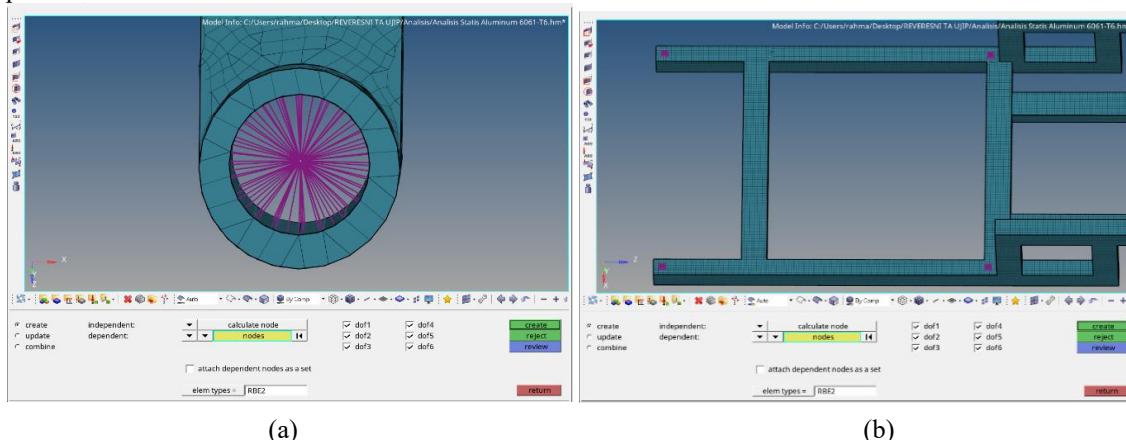
Gambar 3. Pendefenisian Meshing 2D

Setelah melakukan mesing 2D dilakukan input material dan pendefenisian propertis, pendefenisian material dilakukan agar rangka memiliki karakteristik sifat seperti kondisi sebenarnya. Untuk material Aluminium dan Baja menggunakan card image MAT1 karena material yang di gunakan bersifat elastis *isotropic*. Pendefenisian property pada material yang digunakan pada analisis ini menggunakan card image PSHELL digunakan untuk merepresentasikan elemen shell atau lembaran tipis dalam model. PSHELL digunakan untuk model elemen finite dua dimensi (2D).



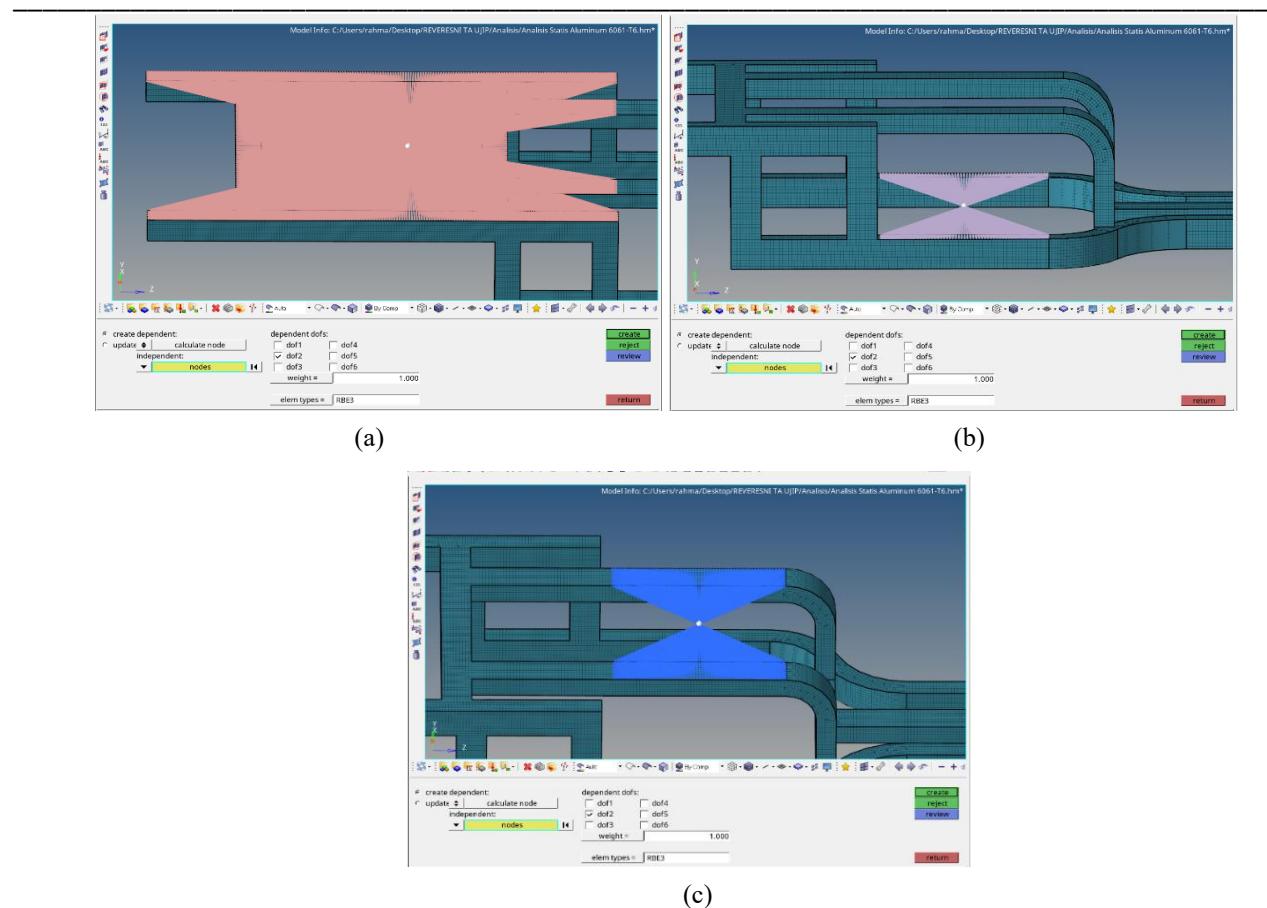
**Gambar 4.** Pendefinisan property Material

Setelah membuat property model rangka kendaraan roda tiga, melakukan pembuatan support pada tumpuan menggunakan elemen *rigid body element type 2* dimana elemen ini digunakan untuk mentransfer perpindahan dari satu set elemen ke set elemen yang lain. Elemen ini menghubungkan titik-titik pemodelan (*nodes*) dari elemen yang berbeda dengan memungkinkan perpindahan translasi dan rotasi di antara titik-titik tersebut. Support tumpuan pada rangka dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 5.** Rigid Body Element type 2 Tumpuan Depan (a) dan Belakang (b)

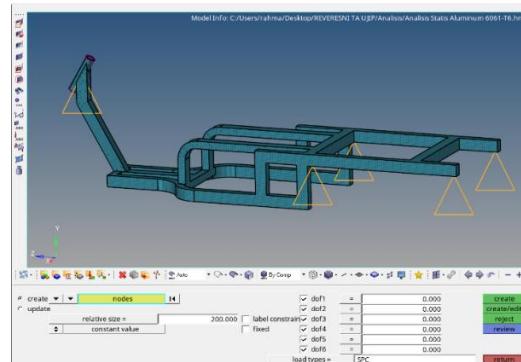
Setelah menentukan tumpuan depan dan belakang menggunakan *rigid body element type 2*, dilakukannya pembuatan support pada pembebanan menggunakan elemen *rigid body element type 3* dimana elemen ini digunakan untuk mentransfer beban dari satu set elemen ke set elemen yang lain. Elemen ini juga menghubungkan titik-titik pemodelan (*nodes*) dari elemen-elemen yang berbeda. Namun, *rigid body element type 3* memungkinkan perpindahan translasi di antara titik-titik yang terhubung tetapi tidak mentransfer rotasi. Support pembebanan *rigid body element type 3* dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Rigid Body Element type 3 Pembebanan Kargo dan Body (a), Pembebanan pada Rangka (b), dan Pembebanan Pengendara (c)

### 2.3 Simulasi Linear Statik

Tumpuan yang diberikan fix pada rangka dari menu *constraints* pada panel *analysis* dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut.



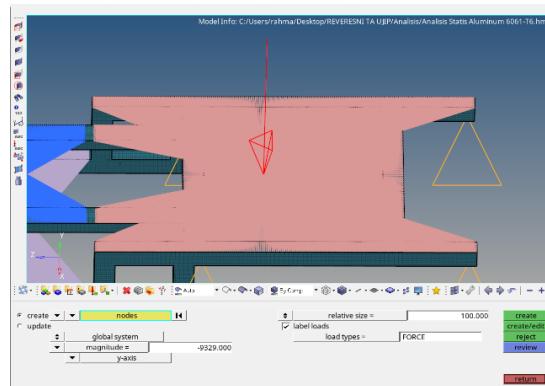
**Gambar 7.** Pendefinisian Tumpuan pada Rangka

Setelah melakukan pendefinisian tumpuan pada rangka, melakukan pendefinisian beban berupa gaya pada rangka yang dapat dilihat pada Gambar 8 – 10. Posisi Pembebanan kargo dan *body* pada rangka adalah sama yaitu pada bagian tengah hingga kebelakang rangka. Berat maksimum kargo diambil berdasarkan referensi dari salah satu jasa pengiriman di Indonesia yaitu SPX Express sebesar 600kg dan berat maksimum *body* diambil berdasarkan referensi dari beban kosong kendaraan roda tiga yang ada di pasaran. Kendaraan roda tiga yang ada di pasaran yaitu produk viar memiliki massa *body* sebesar 350Kg. Jika percepatan gravitasi adalah  $9.81 \text{ m/s}^2$ , maka pembebanan kargo dan *body* pada *frame* dapat dibuat dengan persamaan berikut.

Pembebatan Kargo & *Body* = Massa Total  $\times$  percepatan gravitasi

$$\text{Pembebatan Kargo & } \text{Body} = 950 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Pembebatan Kargo & } \text{Body} = 9319.5 \text{ N} \approx 9320 \text{ N}$$



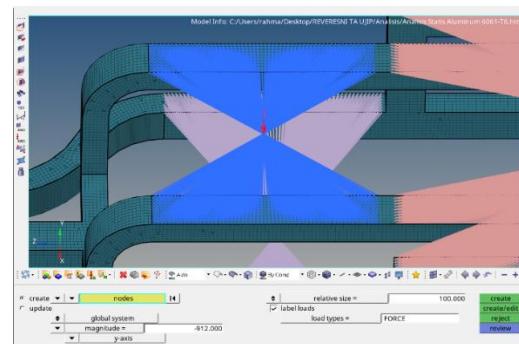
Gambar 8. Pendefinisian Pembebatan Kargo dan *Body*

Mendefinisikan pembebatan pada pengendara, pembebatan pengendara yaitu beban yang di tumpang oleh rangka Ketika di naiki oleh pengendara. Beban pengendara di ambil dari referensi berat rata rata maksimum orang dewasa. Berat rata rata maksimum orang dewasa menurut Kemenkes Republik Indonesia sebesar 93 kg . Jika percepatan gravitasi adalah  $9.81 \text{ m/s}^2$ , maka pembebatan pengendara pada *frame* dapat dibuat dengan persamaan berikut.

Beban Pengendara = Massa Pengendara  $\times$  percepatan gravitasi

$$\text{Beban Pengendara} = 93 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Beban Pengendara} = 912.33 \text{ N} \approx 912 \text{ N}$$



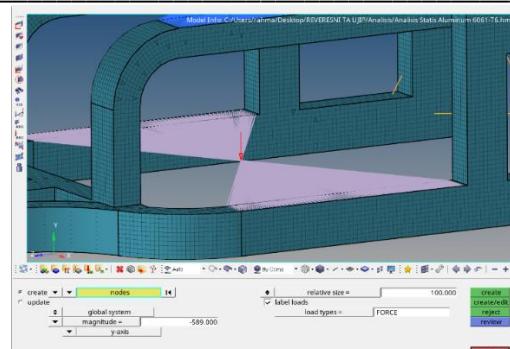
Gambar 9. Konfigurasi Pembebatan Pengendara

Setelah melakukan pendefinisian pembebatan kargo, *body*, dan pengendara, dilakukannya pendefinisian pembebatan mesin. Pembebatan mesin yaitu beban yang di tumpang oleh rangka pada saat menahan kedudukan mesin. Beban mesin di ambil berdasarkan referensi mesin kendaraan roda tiga dipasaran. Kendaraan roda tiga yang ada di pasaran yaitu produk Viar dengan tipe mesin OHC4 stroke water cooler dengan berat 60kg. Pembebatan mesin pada *frame* dapat dibuat dengan persamaan berikut.

Pembebatan Mesin = Massa mesin  $\times$  percepatan gravitasi

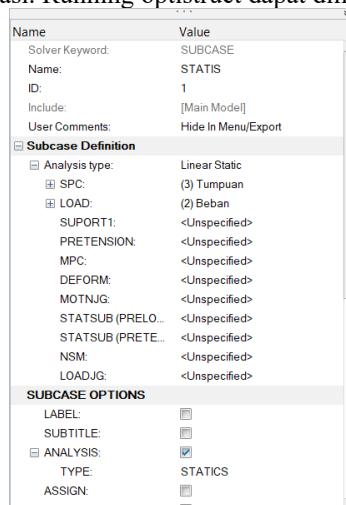
$$\text{Pembebatan Mesin} = 60 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Pembebatan Mesin} = 588.6 \text{ N} \approx 589 \text{ N}$$

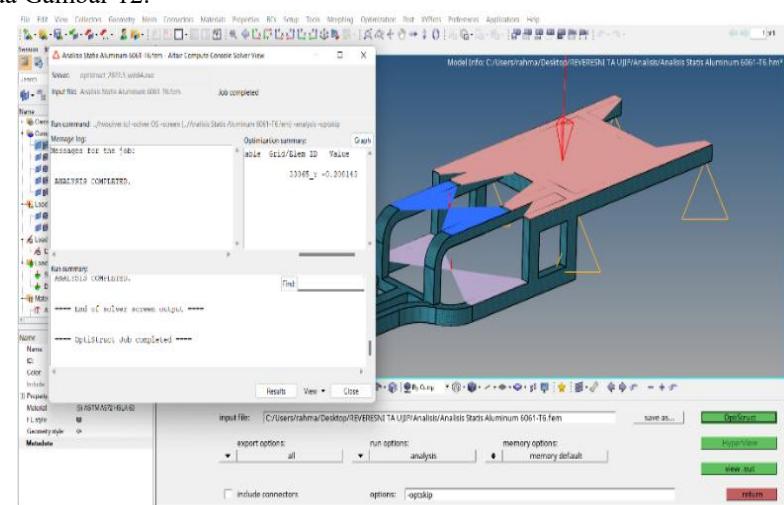


Gambar 10. Pendefinisan Pembebatan Mesin

*Load step* dengan tipe analisis linear *static* yang digunakan untuk menghitung proses linear statik struktur ditunjukkan pada Gambar 11. Setelah menentukan load step, dilakukannya running *optistruct* untuk menjalankan simulasi. Running optistruct dapat dilihat pada Gambar 12.



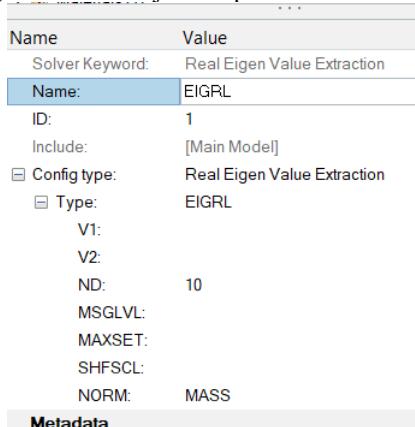
Gambar 11. Konfigurasi Load Step



Gambar 12. Running Optistruct Simulasi Linear Statik

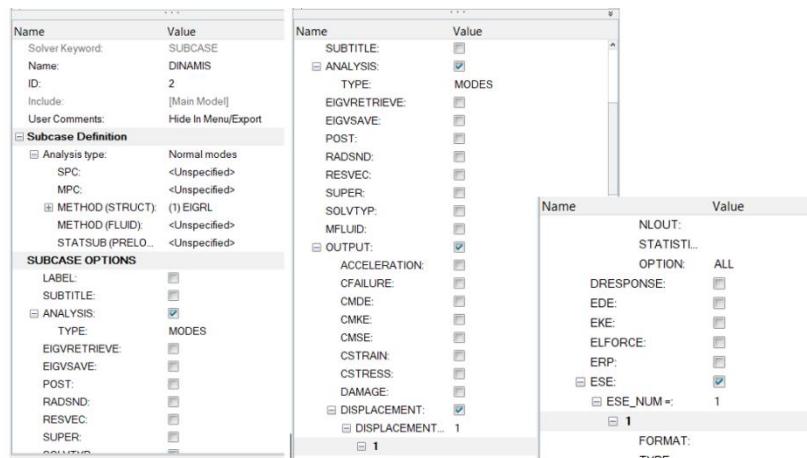
#### 2.4 Simulasi Modal Analysis

Simulasi modal *analysis* pada model rangka sepeda motor bertujuan untuk mengidentifikasi frekuensi pribadi dan modus getar yang dimiliki oleh rangka. Dalam melakukan simulasi modal *analysis* diawali dengan pendefinisan load step. *Load collector* pada simulasi ini didefinisikan untuk solusi eigen value. Dalam software Altair Hyperworks terdapat dua metode solusi eigen value yaitu metode lanczos dan AMSES. Metode ini sangat efisien ketika tidak semua nilai *eigen* diperlukan, yang merupakan kasus untuk masalah struktural di mana hanya nilai *eigen* terendah yang biasanya penting dalam sebuah analisis [9]. Pada penelitian ini metode solusi eigen value lanczos dipilih untuk 10 modus pertama. Adapun pendefinisan metode solusi eigen value ditunjukkan pada Gambar 13 sebagai berikut.



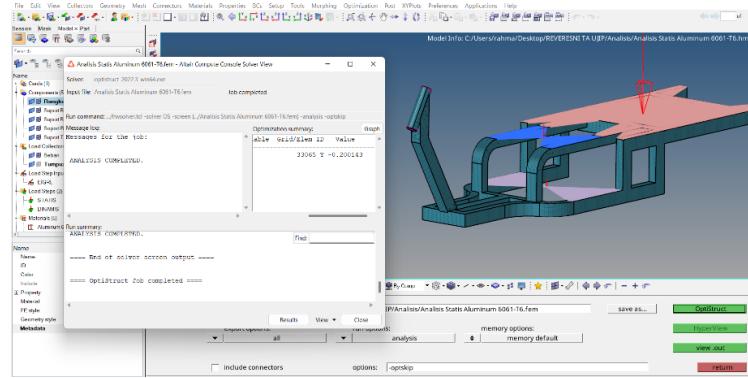
Gambar 13. Konfigurasi Pendefinisan Load Step

Untuk mencari nilai eigen diperlukan load step dengan tipe analisis normal mode. Adapun pemilihan load step untuk eigen value (EIGRL) ditunjukkan pada Gambar 14 berikut.



Gambar 14. Konfigurasi Load Step yang Digunakan

Setelah pemilihan load step untuk eigen value, selanjutnya dilakukan yaitu running simulasi normal mode menggunakan menu optistruct pada panel analysis yang ditunjukkan pada Gambar 15.

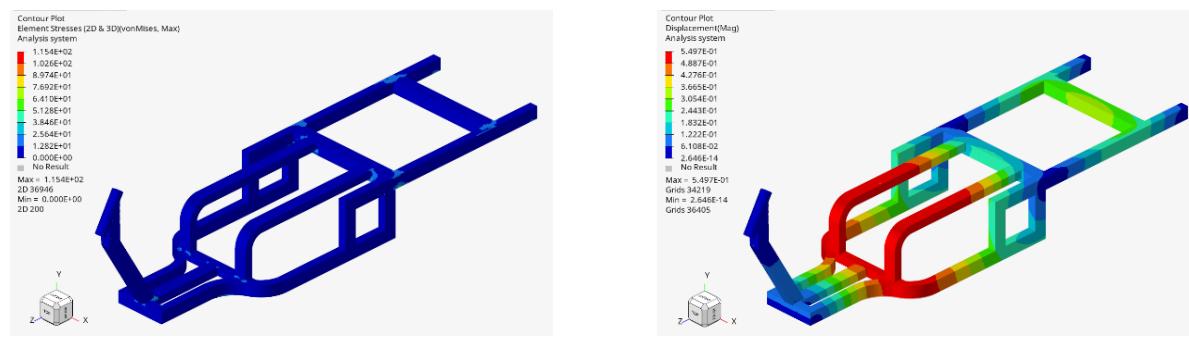


Gambar 15. Running OptiStruct Simulasi Modal Analysis

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Static Analysis

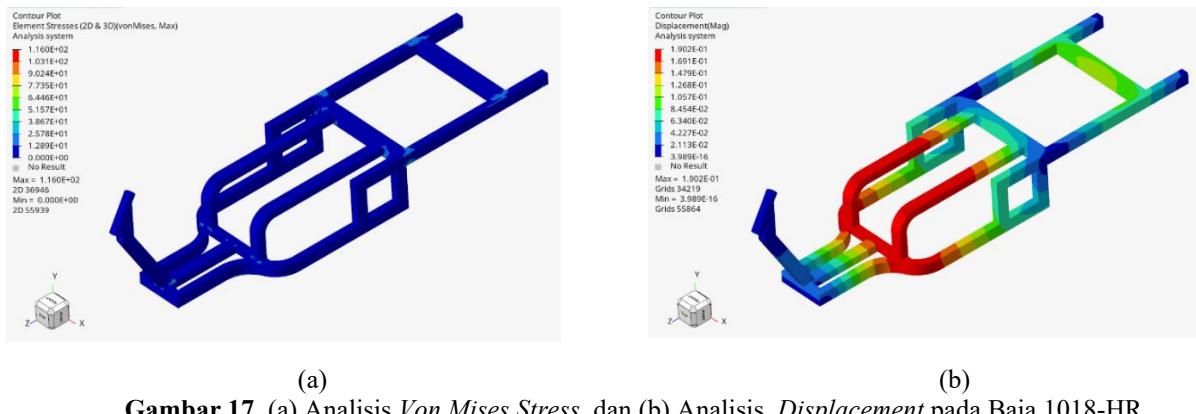
Analisis ini dilakukan untuk membandingkan kekuatan mekanik akibat beban statis dari rangka aluminium dan baja. Untuk itu dilakukan analisis terhadap tegangan total dan perpindahan yang dialami rangka pada material Aluminium 6061-T6 dan Baja 1018-HR. Hasil simulasi *static analysis* dapat dilihat pada Gambar 16 – 17.



Gambar 16. Analisis Von Mises Stress (b) Analisis Displacement Pada Aluminium 6061-T6

*Static analysis* tegangan *von mises stress* maksimum sebesar  $1.15 \times 10^2$  MPa, sedangkan tegangan *von mises stress* minimum sebesar 0 MPa. Hasil *displacement* maksimum pada pembebanan ini sebesar  $5.49 \times 10^{-1}$  mm, dan

displacement minimum adalah  $2.64 \times 10^{-14}$  mm, dapat dilihat pada gambar 17, distribusi *displacement* berada pada bagian tengah *frame* tepat di bawah pengendara.



Perbandingan hasil von mises stress dan *displacement* dari kedua material yang disimulasikan dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut.

**Tabel 2.** Nilai Von Mises Stress dan Displacement pada Aluminium dan Baja

Material	VonMises (MPa)		Displacement (mm)	
	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
Aluminium 6061-T6	$1.15 \times 10^2$	0	$5.49 \times 10^{-1}$	$2.64 \times 10^{-14}$
Aluminium 7075-T6	$1.15 \times 10^2$	$3.74 \times 10^{-23}$	$5.29 \times 10^{-1}$	$1.12 \times 10^{-15}$
Baja AISI 1018-HR	$1.16 \times 10^2$	0	$1.90 \times 10^{-1}$	$3.98 \times 10^{-16}$
Baja S690	$1.16 \times 10^2$	0	$1.91 \times 10^{-1}$	$4.24 \times 10^{-16}$
ASTM A572 HSLA 60	$1.16 \times 10^2$	0	$2.00 \times 10^{-1}$	$4.21 \times 10^{-16}$

Hasil analisis statis dari rangka Baja 1018-HR dapat di lihat pada Gambar 14. Nilai tegangan *von mises stress* maksimum yang di peroleh adalah  $1.15 \times 10^2$  MPa, sedangkan tegangan *von mises stress* minimum adalah 0 MPa. Nilai *displacement* maksimum yang di peroleh adalah  $5.49 \times 10^{-1}$  mm, dan *displacement* minimum adalah  $2.64 \times 10^{-14}$  mm, dapat dilihat pada Gambar 13, distribusi *displacement* berada pada bagian tengah *frame* tepat di bawah pengendara.

Pada Tabel 2 dapat dilihat perbandingan antara hasil analisis statis kerangka aluminium dan baja. Pada material aluminium 7074-T6 dapat dilihat nilai tegangan *von mises stress* minimum adalah  $3.7 \times 10^{-23}$ , nilai ini masih bisa di anggap aman karna nilainya tidak terlalu besar. Perbandingan nilai *displacement* dan tegangan *von mises stress* di atas menunjukkan bahwa sangat kecil perbedaan hasil analisis *frame* material aluminium dan baja. Oleh karena itu rangka dari material aluminium dapat digunakan sama seperti rangka dari material baja.

### 3.2 Modal Analysis

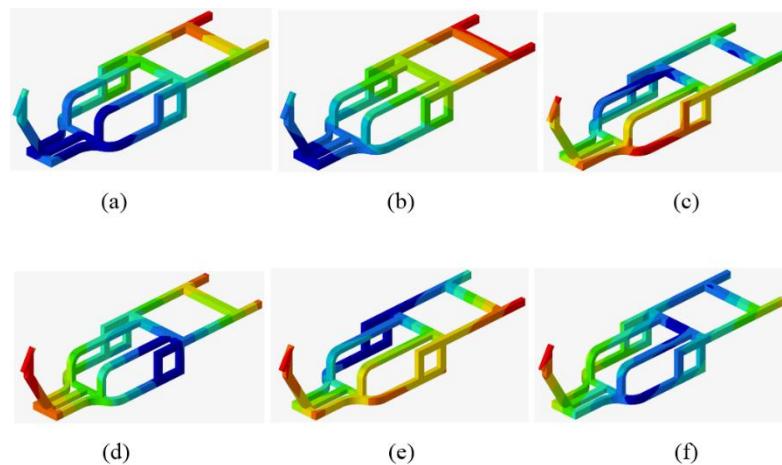
Analisis modal merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menentukan frekuensi pribadi dan bentuk modus dari struktur yang akan diamati. Analisis modal digunakan untuk menganalisis kekakuan struktur dan getaran resonansi yang tidak diinginkan dapat dihindari. Dari analisis modal dapat juga diketahui karakteristik struktur dari setiap modus dan dapat memprediksi respons getaran aktual di bawah rentang frekuensi tertentu. Hasil dari analisis modal dapat digunakan juga sebagai nilai referensi untuk analisis dinamik lainnya seperti analisis random, analisis harmonik, dll [10].

*Modal analysis* pada penelitian ini dilakukan dengan kondisi bebas *free-free* (tanpa tumpuan) untuk 10 modus pertama dari rangka kendaraan roda tiga. Adapun hasil dari analisis normal mode menghasilkan frekuensi pribadi yang bisa dilihat pada Tabel 3 dan modus getar pada Gambar 18 – 19 berikut.

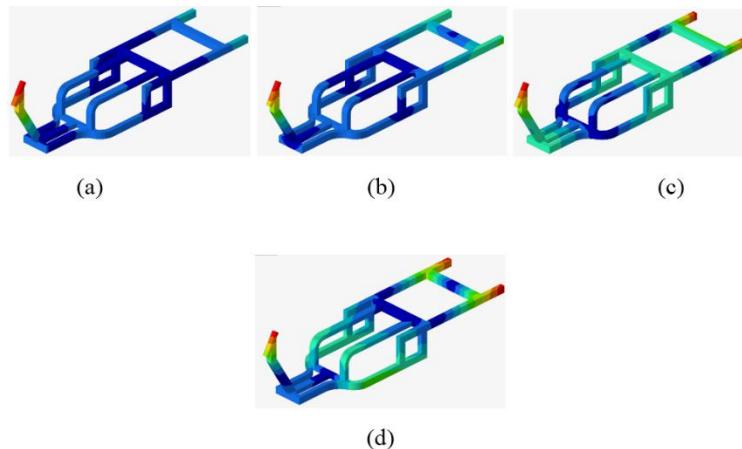
**Tabel 3.** Nilai Frekuensi dan Jenis Gerakan pada Aluminium 6061-T6

Mode	Frekuensi	Jenis Gerakan
1	6.052111E-05	
2	7.051149E-05	

3	7.416618E-05	<i>Rigid Body Motion</i>
4	7.787421E-05	
5	7.910129E-05	
6	8.259005E-05	
7	1.500208E+00	<i>Elastic Body Motion</i>
8	1.664248E+00	
9	2.915143E+00	
10	3.213628E+00	



**Gambar 18.** Modus Getar *Rigid Body Motion* pada (a) modus 1 (b) modus 2 (c) modus 3 (d) modus 5 (e) modus 5 (f) modus 6 pada Aluminium 6061-T6



**Gambar 19.** Modus Getar *Elastic Body Motion* pada (a) modus 7 (b) modus 8 (c) modus 9 (d) modus 10 pada Aluminium 6061-T6

**Tabel 4.** Nilai Frekuensi pada Aluminium dan Baja

Mode	Frekuensi (Hz)				
	Aluminium 6061-T6	Aluminium 7075-T6	Baja AISI 1018-HR	Baja S690	ASTM A572 HSLA 60
1	6.05E-05	6.01E-05	8.06E-05	7.897E-05	6.12E-05
2	7.05E-05	7.10E-05	8.16E-05	8.09E-05	6.21E-05
3	7.41E-05	7.53E-05	8.53E-05	8.68E-05	6.60E-05

Mode	Frekuensi (Hz)				
	Aluminium 6061-T6	Aluminium 7075-T6	Baja AISI 1018-HR	Baja S690	ASTM A572 HSLA 60
4	7.78E-05	7.70E-05	8.94E-05	9.01E-05	6.77E-05
5	7.91E-05	8.05E-05	9.01E-05	9.08E-05	6.96E-05
6	8.25E-05	8.58E-05	9.41E-05	9.43E-05	7.66E-05
7	1.50E+00	1.49E+00	1.49E+00	1.48E+00	1.46E+00
8	1.66E+00	1.66E+00	1.66E+00	1.66E+00	1.62E+00
9	2.91E+00	2.91E+00	2.90E+00	2.90E+00	2.84E+00
10	3.21E+00	3.21E+00	3.21E+00	3.21E+00	3.14E+00

Dari Gambar 15 dan 16 dapat dilihat bahwa dua modus modus pertama dari rangka tersebut terdiri dari enam modus *rigid body motion* dan empat modus *elastic body motion*. Pada modus pertama dan modus kedua menunjukkan deformasi paling dominan terjadi dibagian belakang rangka, pada modus ketiga sampai dengan modus ke enam menunjukkan deformasi paling dominan terjadi dibagian depan rangka. Kemudian pada modus ketujuh sampai dengan modus kesepuluh menunjukkan deformasi terjadi dibagian depan dan belakang dari rangka. Akan tetapi deformasi yang paling dominan terjadi di bagian depan rangka yaitu pada modus kesepuluh. Nilai frekuensi pribadi yang terjadi pada rangka adalah 3.21 Hz dapat dilihat pada Tabel 3.

Perbandingan hasil frekuensi kelima material untuk sepuluh modus pertama dapat dilihat pada Tabel 4. Untuk rangka yang terbuat dari aluminium dan baja memiliki frekuensi alami yang sama. Pada modus pertama hingga modus ke enam pada setiap materialnya memiliki nilai frekuensi dibawah 1 Hz. Pada modus keenam sampai modus ke sepuluh pada setiap materialnya memiliki nilai frekuensi diatas 1 Hz. Dengan membandingkan frekuensi alami yang dialami rangka dengan material aluminium dan baja didapatkan perbandingan nilai frekuensi yang sangat kecil pada setiap materialnya. Maka dapat disimpulkan bahwa untuk analisis modal, penggunaan material aluminium sebagai pengganti material baja pada kendaraan dapat dilakukan. Penggantian material aluminium pada rangka kendaraan roda tiga tidak akan mempengaruhi hasil.

### 3.3 Factor of Safety

Untuk mengetahui batas kekuatan lelah dan nilai faktor keamanan pada rangka dengan material aluminium dan baja nilai faktor keamanannya menggunakan hasil dari simulasi statik yang sudah dilakukan. Faktor keamanan didapatkan dari hasil simulasi statik dengan nilai tegangan tertinggi yang kemudian dimasukan kedalam persamaan berikut.

$$\text{Safety Factor} = \frac{\text{Ultimate Stress}}{\text{Actual Stress}}$$

Nilai *ultimate stress* pada setiap material dapat dilihat pada Tabel 1 dan nilai tegangan tertinggi dapat dilihat pada tabel 2. Berikut merupakan hasil perhitungan faktor keamanan dari masing-masing material aluminium dan baja.

**Tabel 5.** Tabel Nilai *Factor of Safety* pada Material Aluminium dan Baja

Material	Ultimate Stress (MPa)	Max Stress (MPa)	Safety Factor
Aluminium 6061-T6	310	115	2.69
Aluminium 7075-T6	570	115	4.95
Baja AISI 1018-HR	440	116	3.79
Baja S690	770	116	6.63
ASTM A572 HSLA 60	580	116	5.00

Dari Tabel 5 dapat dilihat nilai faktor keamanan dari masing-masing material aluminium dan baja, material yang memiliki nilai faktor keamanan paling tinggi adalah Baja S690, dengan faktor keamanan sebesar 6.63, material aluminium 6061-T6 memiliki nilai faktor keamanan yang paling rendah diantara setiap materialnya yaitu sebesar 2.69, tetapi ini masih aman karena masih diatas 1. Sehingga penggantian material baja pada rangka dengan aluminium dapat dilakukan.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagaimana berikut:

1. Pada simulasi Linear statik rangka kendaraan roda tiga pada kelima material didapatkan nilai tegangan Von Mises yaitu aluminium 6061-T6 sebesar 115 MPa, aluminium 7075-T6 sebesar 115 MPa, baja AISI 1080-HR sebesar 116 MPa, baja S690 sebesar 116 MPa, baja ASTM A572 HSLA 60 sebesar 116 MPa, pada nilai tersebut menunjukkan rangka aluminium memiliki urutan yang sama dengan rangka baja. Kedua rangka akan memiliki perilaku yang sama. Maka memungkinkan untuk mengganti rangka baja dengan rangka aluminium, dengan keuntungan seperti fleksibilitas, ringan, konsumsi energi, dan ketahanan yang tinggi terhadap korosi.
2. Hasil simulasi modal analisis menunjukkan karakteristik 10 modus pertama dari rangka kendaraan aluminium dan baja. Tujuh modus pertama merupakan *rigid body motion* dan tiga modus selanjutnya merupakan *elastic body motion*. Perbandingan nilai modus tertinggi pada setiap material didapatkan pada modus ke-10 yaitu aluminium 6061-T6 sebesar 3.21 Hz, aluminium 7075-T6 sebesar 3.21 Hz, baja AISI 1080-HR sebesar 3.21 Hz, baja S690 sebesar 3.21 Hz, baja ASTM A572 HSLA 60 sebesar 3.14. Pada kelima material memiliki nilai frekuensi pribadi yang hampir sama yaitu 3 Hz. Dengan perbandingan frekuensi pribadi yang kecil, maka dapat disimpulkan penggunaan aluminium sebagai pengganti baja tidak mempengaruhi hasil.
3. Nilai keamanan yang didapatkan dari hasil simulasi statik pada kelima jenis material yaitu aluminium 6061-T6 sebesar 2.69, aluminium 7075-T6 sebesar 4.95, baja AISI 1080-HR sebesar 3.79, baja S690 sebesar 6.63, baja ASTM A572 HSLA 60 sebesar 5. Untuk kelima material yang didapat lebih besar dari 1, sehingga berdasarkan simulasi ini untuk konstruksi penyusun dari material aluminium cocok digunakan untuk desain struktur kendaraan roda tiga.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] J. C. Huston, B. J. Graves, D. B. Johnson, and J. Y. Taylor, "Three wheeled vehicle dynamics," *SAE Int. by Univ. New South Wales*, pp. 45–58, 2018.
- [2] A. Jusuf, I. P. Nurprasetio, and A. Prihutama, "Macro data analysis of traffic accidents in Indonesia," *J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 49, no. 1, pp. 133–144, 2017, doi: 10.5614/j.eng.technol.sci.2017.49.1.8.
- [3] L. Cheah and J. Heywood, "Meeting U.S. passenger vehicle fuel economy standards in 2016 and beyond," *Energy Policy*, vol. 39, no. 1, pp. 454–466, 2011, doi: 10.1016/j.enpol.2010.10.027.
- [4] J. and He and Z.-F. Fu, *Modal analysis book*, no. Mi. 1967.
- [5] N. Endriatno, "Penentuan frekuensi pribadi balok kantilever pada dimensi yang berbeda," *Din. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 2, p. 71, 2020, doi: 10.33772/djitm.v11i2.11689.
- [6] M. . Ashby, *Materials selection in mechanical design: fourth edition*, IV., vol. 9780080952. Elsevier, 2010.
- [7] I. D. Erhunmwun and U. B. Ikponmwosa, "Review on finite element method," *J. Appl. Sci. Environ. Manag.*, vol. 21, no. 5, p. 999, 2017, doi: 10.4314/jasem.v21i5.30.
- [8] ASM Handbook, *Properties and selection: nonferrous alloys and special-purpose materials*, Volume 2., vol. 157, no. 7. ASM International, 1998. doi: 10.1007/s004310050884.
- [9] M. Admane, A. Dnyaneshwar, and M. S. Kelkar, "Design and optimization of integrated super bracket according to stress and vibration analysis," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, pp. 1517–1527, 2021, [Online]. Available: [www.irjet.net](http://www.irjet.net)
- [10] M. Ps and V. T. R, "Static analysis, design modification and modal analysis of structural chassis frame," *J. Eng. Res. Appl. www.ijera.com*, vol. 4, no. 5, pp. 6–10, 2014, [Online]. Available: [www.ijera.com](http://www.ijera.com)