

## ANALISIS RANGKA SEPEDA MOTOR JENIS MONOCOQUE DENGAN MATERIAL KOMPOSIT MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

\*Djoeli Satrijo<sup>1</sup>, Ojo Kurdi<sup>1</sup>, Diego Okto Mando Sinaga<sup>2</sup>

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

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

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

\*E-mail: diegosinaga12@gmail.com

### Abstrak

Pada kendaraan bermotor, rangka merupakan bagian terpenting yang akan menahan dan sebagai tempat dudukan berbagai macam komponen-komponen, serta mendukung beban komponen tersebut pada sistem kendaraan. Perhitungan kekuatan rangka merupakan hal yang sangat penting untuk memastikan rangka mampu menahan beban. Perhitungan kekuatan rangka dapat dilakukan secara manual (hand calculation) atau dengan menggunakan Finite Element Analysis (FEA). Banyak software yang bisa digunakan seperti Solidworks, Autodesk Inventor, CATIA, dan Ansys. FEA telah banyak digunakan sebagai tool analysis untuk memperoleh gambaran distribusi tegangan dan memprediksi kekuatan struktur. Penggunaan FEA dalam memprediksi kekuatan suatu konstruksi sistem mekanikal dapat menekan biaya desain bila dibandingkan dengan eksperimen.

**Kata kunci:** analisis dinamik; analisis statik; karbon komposit; sepeda motor listrik

### Abstract

*On motorcycles, the frame is the most important part that will hold and serve as a place for various kinds of components, as well as support the load of these components on the vehicle system. The calculation of frame strength is very important to ensure the frame is able to withstand loads. Calculation of frame strength can be done manually (hand calculation) or by using Finite Element Analysis (FEA). Many software that can be used such as Solidworks, Autodesk Inventor, CATIA, and Ansys. FEA has been widely used as an analysis tool to obtain an overview of stress distribution and predict structural strength. The use of FEA in predicting the strength of a mechanical system construction can reduce design costs when compared to experiments.*

**Keywords:** composite carbon; dynamic analysis; electric motorcycles; static analysis

### 1. Pendahuluan

Pada sepeda motor, rangka merupakan komponen utama yang berfungsi untuk menahan semua komponen pada sepeda motor dan menjadi penopang untuk pengendara, sehingga untuk melakukan perancangan pada rangka sepeda motor harus memperhatikan beberapa faktor, seperti struktur geometri rangka, kekuatan rangka, keamanan rangka, dan pemilihan jenis material rangka. [1]. Material komposit tersusun dari serat yang diperkuat dan matriks yang memiliki rasio kekuatan terhadap berat dan rasio kekakuan terhadap berat yang tinggi [2]. Getaran adalah gerakan bolak-balik dalam suatu interval waktu tertentu. Getaran berhubungan dengan gerak osilasi benda dan gaya yang berhubungan dengan gerak tersebut. Semua benda yang mempunyai massa dan elastisitas mampu bergetar, jadi kebanyakan mesin dan struktur rekayasa (engineering) mengalami getaran sampai derajat tertentu dan rancangannya biasanya memerlukan pertimbangan sifat osilasinya [3]. Metode elemen hingga adalah metode numerik yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan getaran mekanis dan struktural yang kompleks [4].

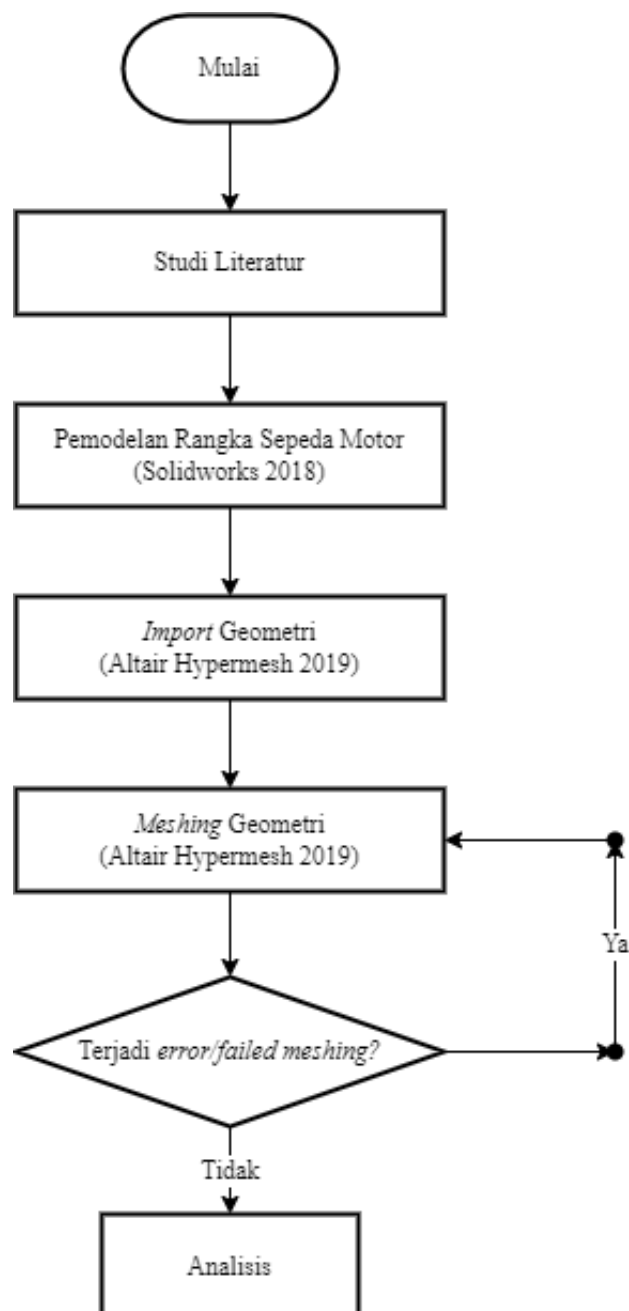
Analisis linear adalah proses menghitung dan menentukan efek akibat beban yang bekerja pada rangka yang menimbulkan reaksi berupa gaya dalam (internal forces) pada rangka. Analisis modal merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menentukan frekuensi pribadi dan bentuk modus dari struktur yang akan diamati [5]. *Mode shape* atau *eigen vector* merupakan bentuk deformasi sebuah struktur saat bergetar pada frekuensi pribadinya [6]. Frequency Response Function (FRF) adalah fungsi transfer, yang dinyatakan dalam domain frekuensi. Frequency Response Function adalah fungsi yang kompleks, dengan komponen riil dan imajiner, dapat juga direpresentasikan dalam magnitude dan fase [7]. Power Spectral Density (PSD) digunakan untuk menganalisis kekasaran permukaan. Fungsi ini memberikan representasi amplitudo kekasaran permukaan sebagai fungsi dari frekuensi spasial kekasaran [8].

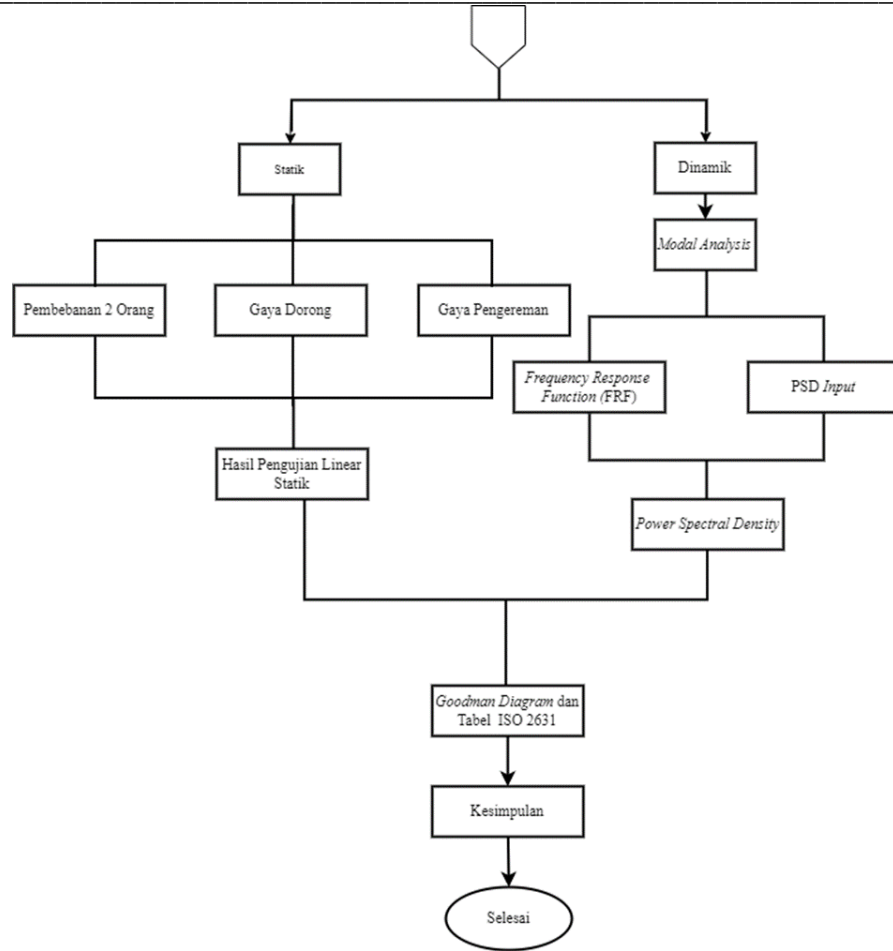
Material komposit tersusun dari serat yang diperkuat dan matriks yang memiliki rasio kekuatan terhadap berat dan rasio kekakuan terhadap berat yang tinggi. Komposit memiliki keunggulan unik dibandingkan material isotropik lainnya

diantaranya adalah memiliki kekuatan tinggi, kekakuan tinggi, ketahanan korosi, ketahanan aus, dan stabilitas lingkungan. Berdasarkan karakteristik tersebut material laminated fiber-reinforced seperti komposit carbon/epoxy atau glass/polyester banyak digunakan pada pesawat terbang, militer, otomotif, kelautan, dan lain-lain. Untuk menghasilkan sepeda motor berperforma tinggi, aman dan tahan lama, maka penting untuk mengukur efek dari dampak ini. Dalam industri rangka sepeda motor, pembuatan rangka komposit, memiliki biaya yang cukup tinggi sehingga produsen sepeda motor lebih memilih untuk melakukan pengembangan non-sertifikasi yang hanya dilakukan pada tabung tunggal saja daripada di seluruh rangka [9]. Respon manusia terhadap getaran meliputi beberapa faktor internal, yakni: umur, tinggi badan, posisi dan lain-lain. Serta faktor eksternal, seperti: frekuensi, amplitudo, waktu dan arah getaran. Standar international ISO 2631 adalah standar yang digunakan sebagai rekomendasi untuk memberikan nilai batas getaran yang ditransmisikan pada manusia [10]

## 2. Dasar Teori dan Metodologi

Penelitian yang dilakukan pada kali ini menggunakan bantuan aplikasi *Finite Element Analysis* (FEA) bernama Altair Hyperworks 2019. Software ini digunakan untuk melakukan simulasi statik dan dinamik pada desain rangka sepeda motor listrik dengan material komposit.





**Gambar 1** Diagram Alir Penelitian

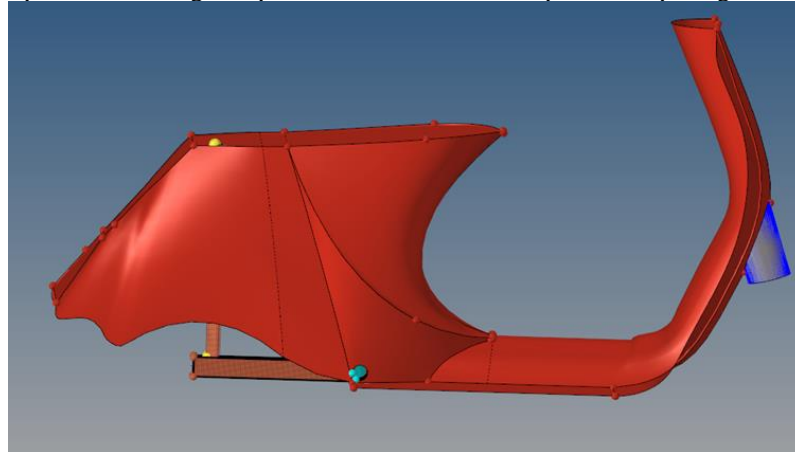
Penelitian yang dilakukan pada kali ini menggunakan bantuan aplikasi *Finite Element Analysis* (FEA) bernama Altair Hyperworks 2019. Software ini digunakan untuk melakukan simulasi statik dan dinamik pada desain rangka sepeda motor listrik dengan material komposit. Berikut adalah jenis-jenis simulasi yang digunakan, simulasi analisa linear statik dan normal mode untuk mencari nilai tegangan, frekuensi pribadi, modus getar dari desain rangka sepeda motor listrik.

**Tabel 1.** Sifat Material Rangka Sepeda Motor

Sifat-Sifat Material	Composite M30S
Density $\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	1530
Modulus of elasticity (GPa)	-
Longitudinal tensile modulus $E_1$ (GPa)	152
Transverse tensile modulus $E_2$ (GPa)	7.1
Poissons ratio	-
In-plane major Poisson ratio $V_{12}$	0.35
In-plane shear modulus $G_{12}$ (GPa)	4.2
Out-of-plane shear modulus $G_{13}$ (GPa)	4.2
Out-of-plane shear modulus $G_{23}$ (GPa)	2.2
Tensile strength, yield (MPa)	-
Tensile strength, ultimate (MPa)	-

Longitudinal tensile strength $X^T$ (MPa)	2650
Transverse tensile strength $Y^T$ (MPa)	27.5
Longitudinal compressive strength $X^C$ (MPa)	777
Transverse compressive strength $Y^C$ (MPa)	199

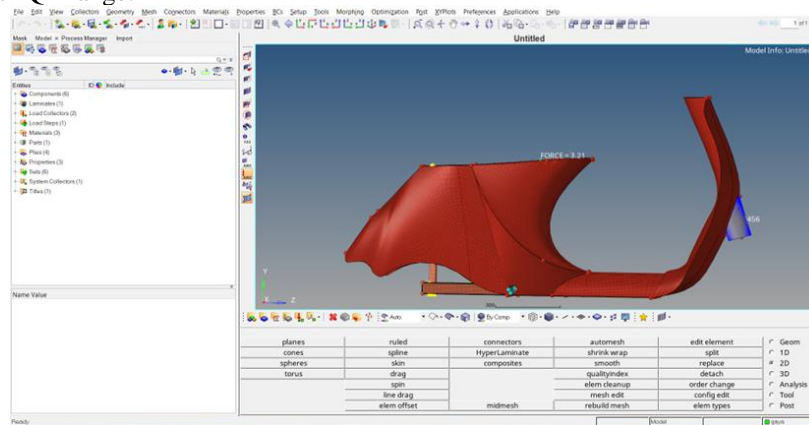
Pada penelitian ini, objek yang digunakan untuk dianalisis adalah rangka sepeda motor listrik jenis scooter. Pada penelitian ini digunakan permodelan dalam bentuk CAD dan kemudian akan disimulasikan dalam aplikasi Altair Hyperworks 2019. Hasil permodelan rangka sepeda motor dalam CAD dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Model CAD Rangka Sepeda Motor

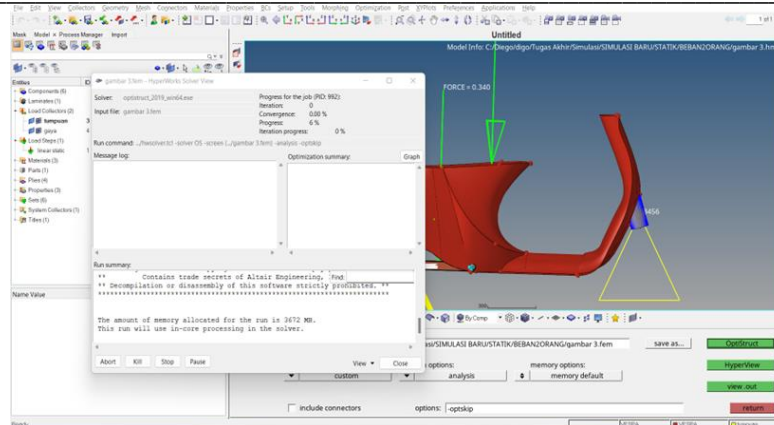
Simulasi dilakukan untuk mengetahui tegangan, frekuensi pribadi, dan modus getar yang terjadi pada rangka sepeda motor tersebut. Untuk melakukan simulasi rangka sepeda motor digunakan software finite elemen method (FEM) pada Altair Hyperworks 2019. Terdapat beberapa langkah untuk melakukan pra-simulasi sebelum melakukan simulasi analisis.

Input geometri rangka yang sebelumnya sudah dimodelkan pada CAD, Kemudian lakukan meshing pada geometri dengan memilih automesh pada panel 2D. Langkah selanjutnya yaitu melakukan pengecekan kualitas elemen dari hasil meshing yang sudah dilakukan. Kembali ke Panel 2D dan gunakan menu qualityindex untuk melihat kualitas dari hasil meshing yang ditampilkan QI Range.



Gambar 3. Kualitas Elemen Hasil Meshing

Pendefinisian material dilakukan agar rangka memiliki karakteristik sifat seperti kondisi sebenarnya. Untuk material komposit karbon anisotropik menggunakan card image MAT8. Pendefinisian property pada material anisotropik menggunakan card image PCOMPP, sehingga tidak ada input data yang dilakukan karena akan mengikuti data yang ada pada software. Untuk material komposit perlu dilakukan pendefinisian jumlah lapisan dan arah serat komposit. Lapisan komposit yang digunakan pada penelitian kali ini berjumlah 4 lapis dan di setiap lapis memiliki ketebalan 1 mm ke lapisan 4 adalah [90/45/-45/0]s. Setelah mendefinisikan lapisan-lapisan komposit, langkah selanjutnya adalah melaminasi atau menyatukan seluruh lapisan komposit. Langkah awal untuk mendefinisikan titik tumpu dan titik pembebanan dilakukan dengan membuat elemen rigid yang dibuat menggunakan menu rigid yang ada pada panel 1D.



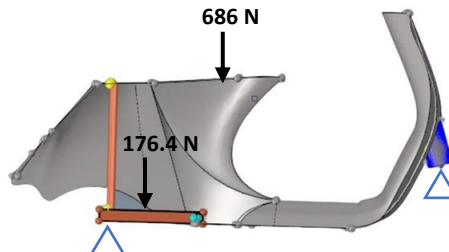
Gambar 4. Proses Running Optistruct

Simulasi modal analysis pada model rangka sepeda motor bertujuan untuk mengidentifikasi frekuensi pribadi dan modus getar yang dimiliki oleh rangka dan akan dijadikan menjadi acuan untuk simulasi dinamik selanjutnya. *Load collector* pada simulasi ini didefinisikan untuk solusi *eigen value*. Dalam software Altair Hyperworks terdapat dua metode solusi *eigen value* yaitu metode *lanzcos* dan AMSES. Pada penelitian ini metode solusi *eigen value lanzcos* dipilih untuk 10 modus pertama. Setelah melakukan simulasi *normal modes*, didapatkan hasil simulasi berupa modus getar beserta frekuensi pribadinya sehingga dapat dijadikan acuan untuk mencari FRF dan *random response*. Selanjutnya lakukan running simulasi FRF dan *random response* menggunakan menu *optistruct* pada panel *analysis*.

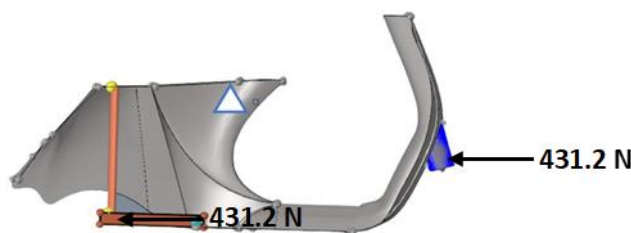
### 3. Analisis dan Pembahasan

Analisis beban statik dilakukan dengan tiga kondisi pembebanan yang terjadi pada rangka sepeda motor, yaitu:

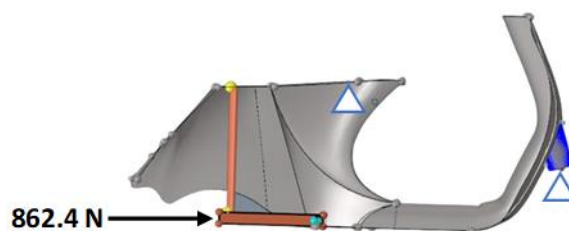
- Pembebanan dengan satu orang penumpang dengan beban pengendara 70 kg dengan distribusi gaya ke arah vertikal.
- Pembebanan dengan kondisi pengereman dengan beban pengendara 70 kg dan terjadi perlambatan 3 m/s
- Pembebanan yang terjadi akibat gaya dorong dengan beban pengendara 70 kg dan percepatan 3 m/s



Gambar 5. Pembebanan satu orang pengendara



Gambar 6. Pembebanan akibat pengereman

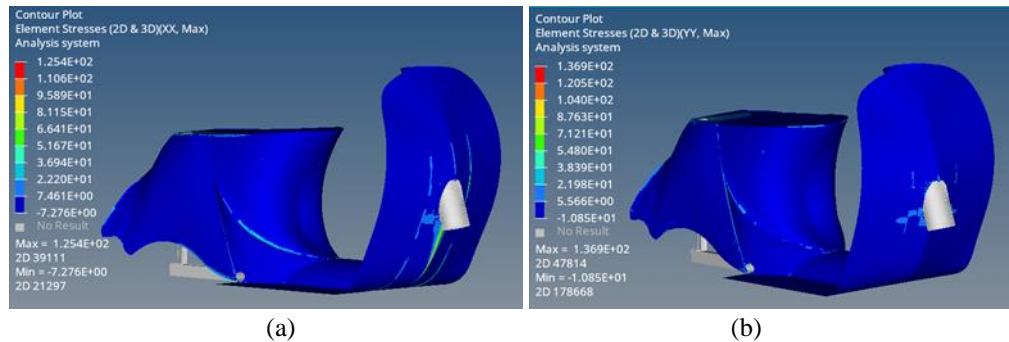


Gambar 7. Pembebanan akibat gaya dorong

### 3.1 Hasil Simulasi Statik

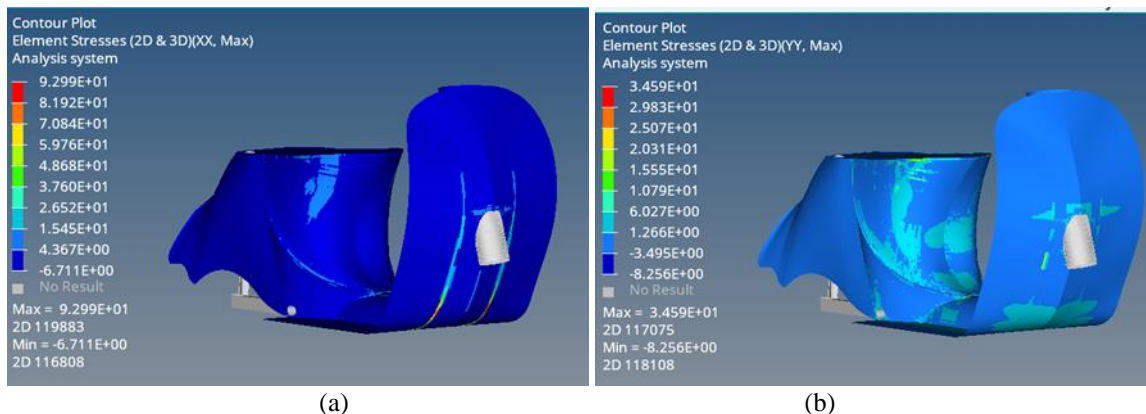
Simulasi dilakukan dengan material komposit karbon pada rangka sepeda motor. Pada kasus pembebanan dengan satu orang pengendara, terdapat berat pengendara dan berat mesin yang menjadi beban rangka. Kemudian pada kasus pengereman, berat penumpang diubah menjadi tumpuan, kemudian tumpuan diubah menjadi gaya sebesar 610 N disetiap titik gaya. Pada kasus gaya dorong, titik beban pengendara dan tumpuan depan dijadikan menjadi tumpuan, kemudian tumpuan belakang diubah menjadi gaya sebesar 430 N.

#### 3.1.1 Pembebanan satu orang pengendara



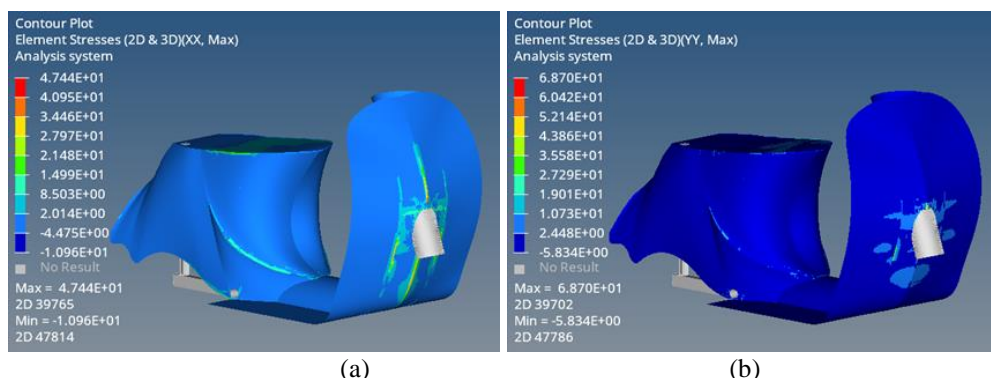
**Gambar 8.** Analisis Statik pada kasus pembebanan satu orang pengendara (a) Normal X Stress (b) Normal Y Stress

#### 3.1.2 Pembebanan akibat pengereman



**Gambar 9.** Analisis Statik pada Kasus Pembebanan akibat Pengereman (a) Normal X Stress (b) Normal Y Stress

#### 3.1.3 Pembebanan akibat gaya dorong



**Gambar 10.** Analisis Statik pada Kasus Pembebanan Akibat Gaya Dorong (a) Normal X Stress (b) Normal Y Stress

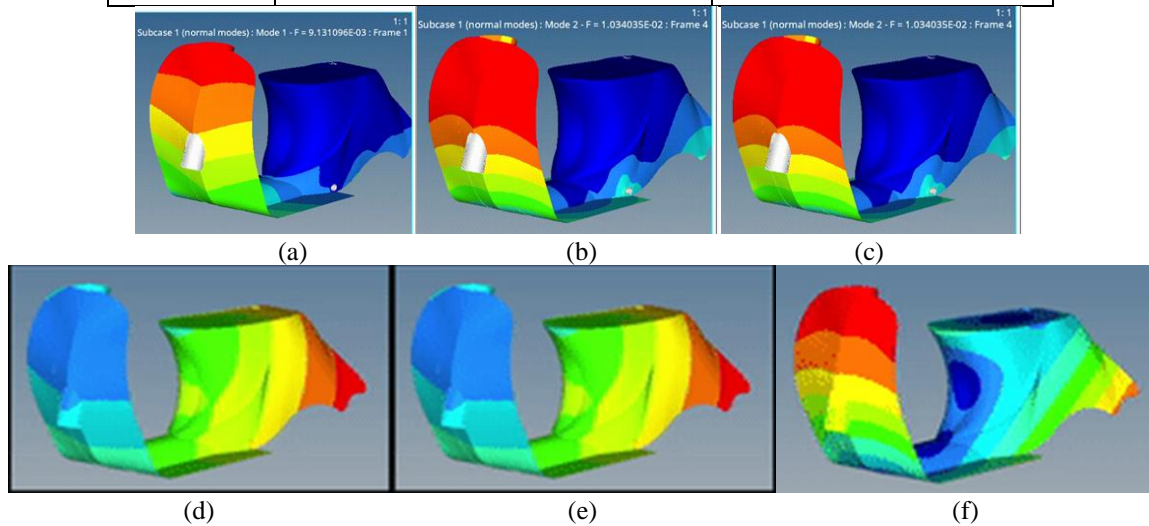
Hasil dari analisis statik yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 untuk kasus 1 pembebanan satu pengendara diketahui bahwa Max Normal X Stress sebesar 125.4 MPa dan Max Normal Y Stress sebesar 136.9 MPa. Kemudian dari Gambar 4.4 untuk kasus 2 yaitu pembebanan akibat pengereman diketahui bahwa Max Normal X Stress sebesar 92.9 MPa dan Max Normal Y Stress sebesar 34.5 MPa. Kemudian dari Gambar 4.5 untuk kasus 3 yaitu pembebanan akibat gaya dorong diketahui bahwa Max Normal X Stress sebesar 47.4 MPa dan Max Normal Y Stress sebesar 68.7 MPa.

### 3.2 Hasil Simulasi Dinamik

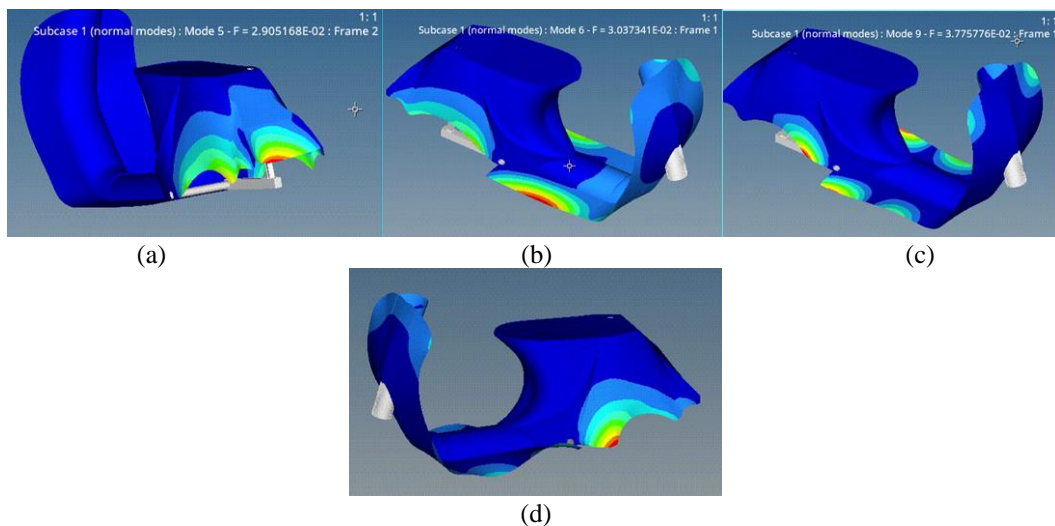
#### 3.2.1 Analisis modal

**Tabel 2.** Nilai Frekuensi Pribadi Hasil Analisis Modal

Mode	Frekuensi Pribadi (Hz)	Jenis Gerakan
1	7.920478E-03	<i>Rigid Body Motion</i>
2	1.291604E-02	
3	2.353250E-02	
4	8.423833E-02	
5	2.421152E-01	
6	2.490817E-01	
7	1.092814E+00	<i>Elastic Body Motion</i>
8	2.312639E+00	
9	4.991764E+00	
10	5.191764E+00	

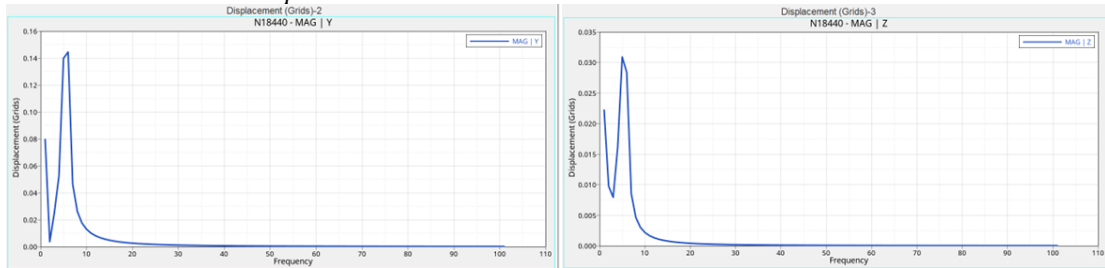


**Gambar 11.** Modus Getar Rigid Body pada (a) modus 1 (b) modus 2 (c) modus 3 (d) modus 4 © modus 5 (f) modus 6

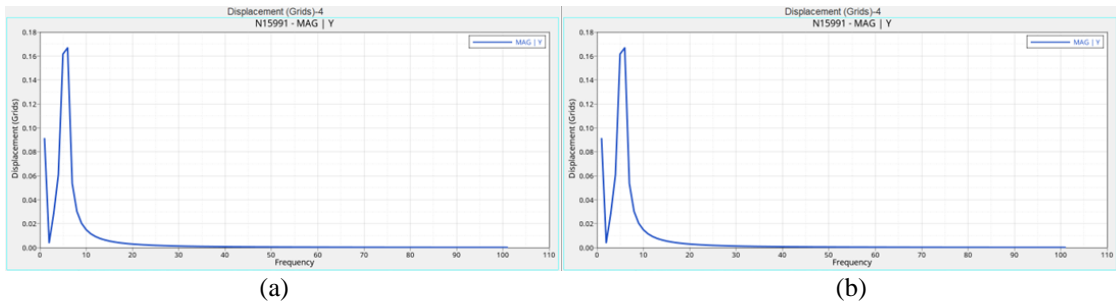


**Gambar 12.** Modus Getar Elastic Body Motion pada (a) modus 7 (b) modus 8 (c) modus 9 (d) modus 10

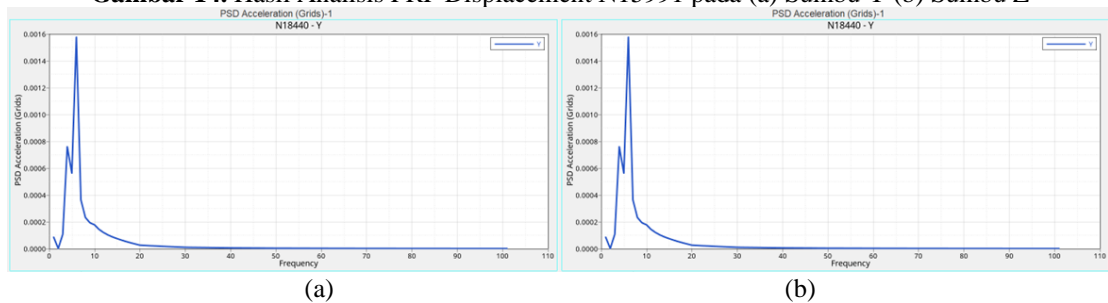
### 3.2.2 Analisis FRF dan Random Response



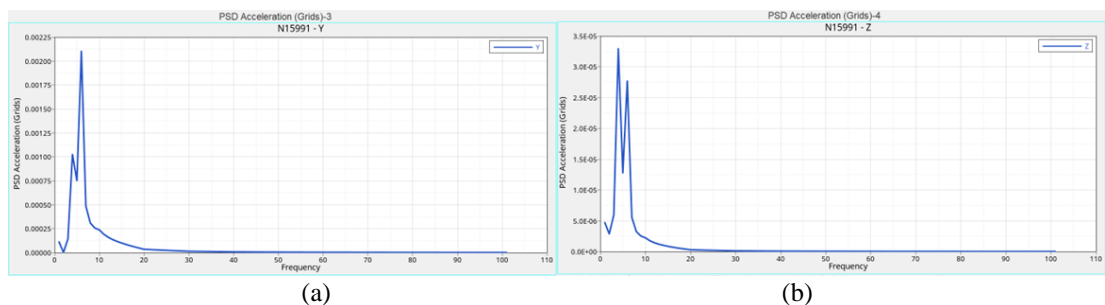
(a) (b)  
**Gambar 13.** Hasil FRF Displacement N18440 pada (a) Sumbu Y (b) Sumbu Z



(a) (b)  
**Gambar 14.** Hasil Analisis FRF Displacement N15991 pada (a) Sumbu Y (b) Sumbu Z



(a) (b)  
**Gambar 15.** Hasil PSD Output Acceleration N18440 pada (a) Sumbu Y (b) Sumbu Z



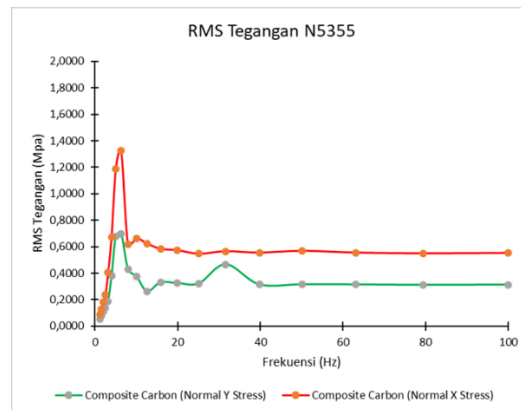
(a) (b)  
**Gambar 16.** Hasil PSD Output Acceleration N18440 pada (a) Sumbu Y (b) Sumbu Z

**Tabel 3.** RMS Tegangan E5355

Frekuensi Sentral (Hz)	Tegangan Normal X Stress (Mpa)	Tegangan Normal Y Karbon (MPa)
1.25	0,0886433400	0,0552247737
1.6	0,1296750014	0,0775161099
2	0,1799245255	0,1063566703
2.5	0,2368478500	0,1388722588
3.15	0,4055047884	0,1887257097
4	0,6735544107	0,3815884825
5	1,1863701935	0,6757436507
6.3	1,3262621529	0,6994432035
8	0,6193873970	0,4316007066
10	0,6643981062	0,3764665720



12.5	0,6234912614	0,2624991025
16	0,5835101090	0,3304694816
20	0,5735432000	0,3247834747
25	0,5462504433	0,3223060690
31.5	0,5657210541	0,4663905839
40	0,5551408855	0,3142654618
50	0,5685943692	0,3153984169
63	0,5553400384	0,3144102130
80	0,5496902106	0,3112083166
100	0,5531505821	0,3131661148



Gambar 17. Plot Nilai RMS Tegangan E5355

Tabel 4 Faktor Keamanan Rangka Sepeda Motor

Kondisi	Safety Factor
Faktor keamanan pada arah longitudinal	21.13
Faktor keamanan pada arah transversal	0.2

#### 4. Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan terkait dengan penelitian penelitian ini :

1. Pada simulasi linear statik didapatkan nilai tegangan terbesar terjadi pada kasus pembebanan 1 (pembebanan 1 pengendara). Pada kasus pembebanan 1 memiliki nilai Mas Normal X Stress sebesar 125.4 Mpa dan Max Normal Y Stress sebesar 136.9 Mpa, untuk kasus pembebanan 2 memiliki nilai Max Normal X Stress sebesar 92.9 Mpa dan nilai Max Normal Y Stress sebesar 34.5 Mpa, kemudian untuk kasus pembebanan 3 memiliki nilai Max Normal X Stress sebesar 47.4 Mpa dan nilai Max Normal Y Stress sebesar 68.7 Mpa.
2. Hasil simulasi modal analisis menunjukkan karakteristik 10 modus pertama dari rangka. 6 modus pertama merupakan rigid body motion dan 4 modus selanjutnya merupakan elastic body motion. Nilai modus tertinggi didapatkan pada modus ke-10 yaitu mencapai 5 Hz.
3. Hasil dari perhitungan nilai RMS tegangan pada arah vertikal (sumbu Y) dan arah lateral (Sumbu Z) mengalami sedikit peningkatan sampai pada frekuensi pribadi ke-10 dan kemudian mengalami penurunan pada frekuensi berikutnya.
4. Nilai keamanan yang didapatkan dari hasil simulasi statik pada arah longitudinal lebih besar dari 1, sedangkan untuk arah transversal lebih kecil dari 1, sehingga berdasarkan simulasi ini untuk konstruksi penyusun dari material carbon composite M30S kurang cocok digunakan untuk desain struktur monocoque

## 5. Referensi

- [1] J. G. Anarkhi Paksi, I. A. Cristian and R. Indriansyah, "Perancangan Struktur Road Bike Frame Menggunakan Aluminium 6063 Melalui Proses Optimalisasi Perlakuan Panas," *Jurnal Teknik Mesin*, p. 5, 2021.
- [2] U. S. Prasad, A. R. Babu, B. Sairaju, S. Amirishetty and D. Deepak, "Automotive chassis design material selection for road and race vehicles," *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, p. 43 (3), 2020.
- [3] Y. Yakub and N. A. Saragih, "ANALISIS NOISE DI CENTER REGISTER AIR CONDITIONER PADA MOBIL X," *Science and Technology Index*, pp. 42-50, 2017.
- [4] I. Erhunmwun and U. Ikponmwosa, "<https://doi.org/10.4314/jasem.v21i5.30>," *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, p. 21 (5), 2017.
- [5] M. Ps and V. T. R, "Static Analysis, Design Modification and Modal Analysis of," *Journal of Engineering Research and Applications*, pp. 06-10, 2014.
- [6] M. A. A. Dnyaneshwar and M. S. Kelkar, "Design and Optimization of Integrated Super Bracket According to Stress and Vibration Analysis," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, p. 08, 2021.
- [7] T. Irvine, "AN INTRODUCTION TO FREQUENCY RESPONSE FUNCTIONS," 2000.
- [8] J. Y. Wong, *Theory of Ground Vehicles*, John Wiley & Sons, 2001.
- [9] J.-R. Cormier and G. Laplante, "Study of the effects of low-velocity impact on a composite bicycle down tube," *Composite Structure*, p. 198, 2018.
- [10] A. A. Achmad, "Rancang Bangun Sistem Suspensi Semiaktif Untuk Peningkatan Kenyamanan Kendaraan," *Jurnal Teknik Mesin*, p. 2, 2002.