METROTECH
Journal of Mechanical and Electrical Technology
Vol. 05 No. 02, Mei 2026, E-ISSN 2809-9605 | P-ISSN 2827-8097

Study on the Effect of Structural Steel and Titanium Alloy on Natural frequencies of an Electric Motorcycle Frame Using ANSYS

Vivy Strawberry[1*], Ratna Dewi Anjani[2], Marno[3]
[1,2,3] Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa, Karawang
[*]Penulis Korespondensi, email: vivi.strwbrry28@gmail.com

Received:02/04/2026 *Revised:26/04/2026* *Accepted: 26/04/2026*

Abstract. *The increasing development of electric motorcycles requires a frame structure with good dynamic characteristics to ensure stability, comfort, and safety during operation. This study aims to analyze the effect of Structural Steel and Titanium Alloy on the natural frequencies and mode shapes of an electric motorcycle frame using ANSYS Workbench 2024 R1. The research method was carried out through 3D frame modeling, material property definition, free-free boundary condition application, meshing, and modal analysis simulation to obtain the first twelve vibration modes. The results showed that modes 1–6 of both materials had frequencies close to zero, indicating rigid body motion, while the relevant elastic modes appeared in modes 7–12. The Structural Steel frame produced higher natural frequencies than the Titanium Alloy frame, with values of 60.101 Hz and 54.166 Hz in mode 7, and 107.51 Hz and 96.803 Hz in mode 12, respectively. These results indicate that Structural Steel has better dynamic stiffness than Titanium Alloy for the same frame geometry. It can be concluded that material selection significantly affects the dynamic response of the electric motorcycle frame. Further studies are recommended to include actual loading conditions, road excitation, and experimental validation for more comprehensive results.*

Keywords: *Electric motorcycle frame, Modal analysis, Natural frequency, Structural steel, Titanium Alloy*

Abstrak. Perkembangan sepeda motor listrik menuntut struktur rangka yang memiliki karakteristik dinamis yang baik untuk menjamin kestabilan, kenyamanan, dan keamanan selama beroperasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh material *Structural Steel* dan *Titanium Alloy* terhadap frekuensi alami dan bentuk *mode* getar rangka sepeda motor listrik menggunakan ANSYS *Workbench* 2024 R1. Metode penelitian dilakukan melalui pembuatan *mode*l rangka 3D, penentuan sifat material, penerapan kondisi batas *free-free*, proses *meshing*, serta simulasi *modal analysis* untuk memperoleh dua belas *mode* getar pertama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *mode* 1–6 pada kedua material memiliki frekuensi yang mendekati nol yang menandakan *rigid body motion*, sedangkan *mode* elastik yang relevan mulai muncul pada *mode* 7–12. Rangka berbahan *Structural Steel* menghasilkan frekuensi alami yang lebih tinggi dibandingkan *Titanium Alloy*, yaitu 60.101 Hz dan 54.166 Hz pada *mode* 7, serta 107.51 Hz dan 96.803 Hz pada *mode* 12. Hasil ini menunjukkan bahwa *Structural Steel* memiliki kekakuan dinamis yang lebih baik dibandingkan *Titanium Alloy* pada geometri rangka yang sama. Dapat disimpulkan bahwa pemilihan material berpengaruh signifikan terhadap *respons* dinamis rangka sepeda motor listrik. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mempertimbangkan kondisi pembebanan aktual, eksitasi jalan, dan validasi eksperimental agar diperoleh hasil yang lebih komprehensif.

Kata Kunci: Rangka sepeda motor listrik, Analisis *modal*, Frekuensi alami, *Structural steel*, *Titanium alloy*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan kendaraan listrik roda dua terus menunjukkan peran yang semakin penting dalam sistem transportasi *modern* karena menawarkan efisiensi energi yang lebih baik, emisi operasional yang rendah, serta potensi pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Laporan *Global EV Outlook 2025* dari IEA menunjukkan bahwa kendaraan listrik roda dua dan roda tiga tetap menjadi segmen transportasi jalan yang paling ter-elektrifikasi, dengan lebih dari 9% armada global telah berstatus listrik pada tahun 2024 dan penjualan tahunan mencapai sekitar 10 juta unit [1]. Di tengah pertumbuhan tersebut, aspek desain struktur rangka menjadi sangat penting karena rangka merupakan komponen utama yang menopang beban pengendara, baterai, motor listrik, serta komponen pendukung lainnya. Pada sepeda motor listrik,

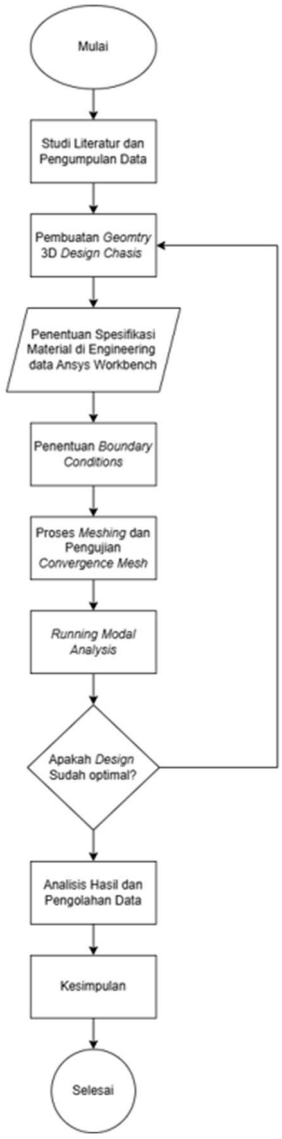
rangka tidak hanya dituntut kuat secara statik, tetapi juga harus memiliki karakteristik dinamis yang baik agar terhindar dari *resonance* yang dapat menurunkan kenyamanan, stabilitas, dan umur pakai struktur [2][3].

Dalam kajian struktur kendaraan roda dua, *modal analysis* digunakan untuk mengidentifikasi *natural frequency* dan *mode shape* suatu struktur sehingga perilaku getarnya dapat dipahami sejak tahap perancangan. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa karakteristik getaran rangka sangat memengaruhi kestabilan kendaraan, termasuk munculnya fenomena getaran seperti *wobble* dan *weave* pada sistem sepeda motor [4][5]. Sejumlah studi juga telah menerapkan *finite element analysis* untuk menganalisis rangka sepeda motor maupun skuter, baik untuk kebutuhan evaluasi kekuatan, kekakuan, maupun performa *modal*. Misalnya, studi tentang rangka sepeda motor listrik menunjukkan bahwa simulasi numerik dapat digunakan untuk mengevaluasi kelayakan desain rangka dari sisi tegangan, deformasi, dan efisiensi bobot [6][7]. Studi lain pada rangka skuter memperlihatkan bahwa *structural* dan *modal analysis* mampu memberikan gambaran area kritis deformasi dan perilaku dinamis struktur sebelum prototipe fisik dibuat [8][9]. Dengan demikian, pendekatan simulasi berbasis ANSYS menjadi relevan karena mampu menghemat waktu dan biaya pengembangan produk.

Meskipun demikian, dari hasil telaah pustaka terlihat bahwa sebagian besar penelitian terdahulu lebih berfokus pada analisis kekuatan statik, optimasi bentuk, atau perbandingan beberapa material umum seperti baja, aluminium, magnesium, atau komposit pada rangka sepeda motor listrik [6][7]. Kajian yang secara khusus membandingkan pengaruh material *Structural Steel* dan *Titanium Alloy* terhadap *natural frequency* rangka sepeda motor listrik masih relatif terbatas, terutama pada kondisi *free-free boundary condition* untuk mengamati karakteristik getar alami struktur secara murni tanpa pengaruh pengekangan.

II. METODOLOGI

Penelitian ini diawali dengan kajian pustaka untuk memahami konsep dasar analisis *modal* pada struktur rangka sepeda motor listrik, yang meliputi frekuensi alami, bentuk *mode* getar, serta pengaruh kekakuan dan massa terhadap *respons* dinamis struktur. Kajian pustaka juga mencakup penerapan metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*) dalam analisis getaran struktur, yang digunakan sebagai landasan dalam menentukan parameter simulasi pada ANSYS *Workbench* 2024 R1. Menurut dokumentasi ANSYS, analisis *modal* digunakan untuk menentukan karakteristik getaran bebas tak teredam suatu struktur melalui identifikasi frekuensi alami dan bentuk *mode* getar [10].



Gambar 1. Diagram Alir

Selanjutnya, *mode*l geometri 3D rangka dibuat dan disimulasikan dengan mendefinisikan properti material pada menu *Engineering Data*. Kondisi batas yang digunakan adalah *free-free boundary condition*, sehingga karakteristik getaran alami struktur dapat diamati tanpa pengaruh tumpuan atau pengekangan eksternal [11]. Proses simulasi dilanjutkan dengan pembuatan mesh dan pengujian konvergensi mesh untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh telah stabil dan tidak lagi sensitif terhadap perubahan ukuran elemen [12].

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Structural Steel* dan *Titanium Alloy*. *Structural Steel* dipilih karena memiliki kekakuan struktural yang baik dan masih banyak digunakan pada komponen rangka kendaraan [6][7]. Sementara itu, *Titanium Alloy* dipilih karena mempunyai rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi dan sangat sesuai untuk aplikasi struktur ringan dengan performa mekanik yang baik [8]. Penggunaan kedua material ini bertujuan untuk membandingkan pengaruh sifat mekanik masing-masing terhadap frekuensi alami dan *mode* getar rangka sepeda motor listrik, sehingga dapat diperoleh material yang lebih sesuai dari sudut pandang performa dinamis struktur.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan *Structural Steel* dan *Titanium Alloy* terhadap *natural frequencies* rangka sepeda motor listrik menggunakan ANSYS melalui *modal analysis*. Penelitian dilakukan dengan membandingkan hasil frekuensi alami dan bentuk *mode* getar pada kedua material untuk 12 *mode* getaran. Hasil penelitian ini. diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pemilihan material rangka yang tidak hanya mempertimbangkan kekuatan dan massa, tetapi juga mempertimbangkan *respons* dinamis struktur. Dengan demikian, penelitian ini dapat menjadi dasar teknis bagi pengembangan desain rangka sepeda motor listrik yang lebih aman, stabil, dan andal terhadap eksitasi getaran selama pengoperasian.

Tabel 1. *Material Properties Structural Steel* [13].

Properti	***Titanium Alloy***	***Unit***
Density	4600	kg/m³
Young's Modulus (E)	115	GPa
Poisson's Ratio (v)	0,36	
Yield Strength	850	MPa
Ultimate Tensile Strength	900	MPa

Tabel 2. *Material Properties Titanium Alloy* [14].

Properti	***Structural Steel***	***Unit***
Density	7850	kg/m³
Young's Modulus (E)	200	GPa
Poisson's Ratio (v)	0,30	
Yield Strength	248	Mpa
Ultimate Tensile Strength	400	Mpa

Selanjutnya, hasil simulasi *modal analysis* menghasilkan data numerik utama berupa frekuensi alami (*natural frequencies*) dan bentuk *mode* getar (*mode shapes*) pada struktur rangka sepeda motor listrik. Data tersebut kemudian dianalisis secara komparatif untuk mengevaluasi karakteristik dinamis dan kekakuan struktur pada masing-masing material yang digunakan. Evaluasi dilakukan dengan meninjau *respons* getaran struktur guna mengetahui kemampuan rangka dalam menghindari resonansi serta membatasi deformasi yang berpotensi menurunkan performa dan kestabilan kendaraan. Perhitungan dasar yang digunakan dalam analisis ini meliputi:

A. Persamaan gerak sistem struktural

$$[M]\ddot{x} + [K]x = 0 \quad (1)$$

Keterangan:
$[M]$ = matriks massa (kg)
$[K]$ = matriks kekakuan (N/m)
$\ddot{x}$ = percepatan nodal (m/s²)
x = perpindahan nodal (m)

B. Persamaan nilai eigen (eigenvalue equation)

$$([K] - \omega^2[M])X = 0 \quad (2)$$

Keterangan:
ω = frekuensi sudut alami (rad/s)
X = vektor bentuk *mode shape*

C. Hubungan frekuensi alami

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} \quad (3)$$

Keterangan:
f_n = frekuensi alami ke-n (Hz)
ω_n = frekuensi sudut alami n (rad/s)

Pada penelitian ini digunakan dua jenis material, yaitu *Structural Steel* dan *Titanium Alloy*, yang memiliki sifat mekanik berbeda sehingga memberikan *respons* dinamis yang berbeda pula pada struktur rangka. Simulasi dilakukan dengan menerapkan kondisi batas *free-free* untuk merepresentasikan kondisi getaran alami struktur tanpa pengekangan. Tujuan utama analisis ini adalah membandingkan pengaruh kedua material terhadap frekuensi alami dan bentuk *mode* getar rangka sepeda motor listrik, sehingga dapat diperoleh material yang memberikan kekakuan dinamis lebih baik serta mampu meningkatkan kestabilan struktur terhadap getaran.

*Mode*l 3D rangka sepeda motor listrik yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada gambar berikut sebagai hasil perancangan geometri untuk simulasi numerik. *Mode*l tersebut selanjutnya dianalisis menggunakan ANSYS *Workbench* 2024 R1 melalui *modal analysis* untuk memperoleh frekuensi alami dan bentuk *mode* getar struktur. Hasil analisis ini menjadi dasar dalam mengevaluasi kestabilan dan keamanan desain rangka, khususnya untuk menghindari potensi resonansi yang dapat menurunkan performa dan kenyamanan kendaraan saat beroperasi.

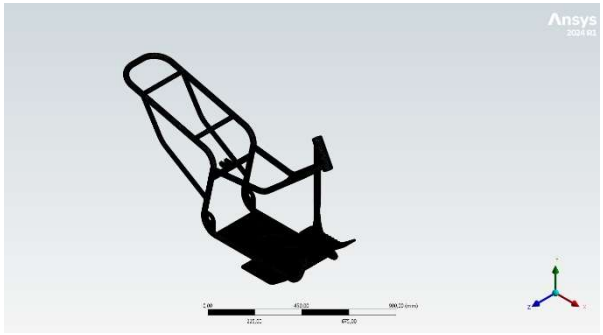
Gambar 2. *3D View Chasis*

Setelah *mode*l 3D rangka sepeda motor listrik selesai dibuat, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis *modal* dengan kondisi *free-free*, yaitu tanpa penerapan tumpuan atau batasan gerak pada struktur. Pada kondisi ini, rangka dibiarkan bergetar bebas sehingga karakteristik dinamis alaminya dapat diamati secara murni tanpa dipengaruhi oleh pembebanan maupun pengekangan eksternal. Melalui pendekatan ini diperoleh parameter utama berupa frekuensi alami (*natural frequencies*) dan bentuk *mode* getar (*mode shapes*), yang digunakan untuk mengidentifikasi perilaku getaran dasar struktur. Hasil analisis ini menjadi acuan penting dalam mengevaluasi *respons* dinamis rangka serta sebagai dasar untuk analisis lanjutan, seperti *harmonic response*, dalam rangka menghindari terjadinya resonansi selama kendaraan beroperasi.

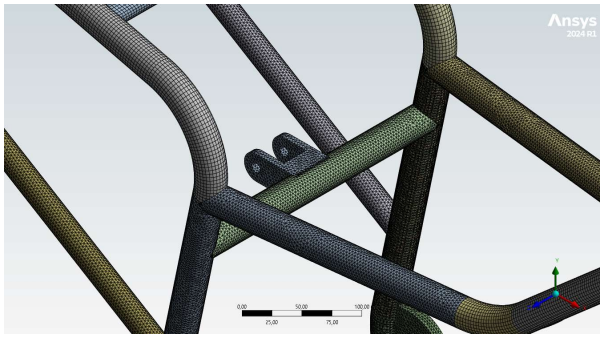
Gambar 3. *Free-free Bondary Condition*

Tahap *meshing* merupakan salah satu langkah penting dalam analisis elemen hingga karena berpengaruh langsung terhadap akurasi hasil simulasi. Pada analisis *modal*, kualitas *mesh* akan memengaruhi ketelitian dalam memprediksi frekuensi alami dan bentuk *mode* getar struktur. Dalam penelitian ini, proses *meshing* dilakukan pada *mode*l rangka sepeda motor listrik di ANSYS *Workbench* 2024 R1. Hasil diskretisasi *mode*l menghasilkan sebanyak 1.085.495 nodes dan 372.773 elements. Jumlah tersebut menunjukkan bahwa *mode*l telah memiliki tingkat kerapatan elemen yang cukup untuk menangkap *respons* dinamis struktur dengan baik. *Mesh* yang relatif rapat memungkinkan distribusi deformasi dan pola getaran pada bagian-bagian kritis rangka dapat teridentifikasi dengan lebih jelas, sehingga hasil

simulasi menjadi lebih stabil dan representatif untuk analisis lebih lanjut.



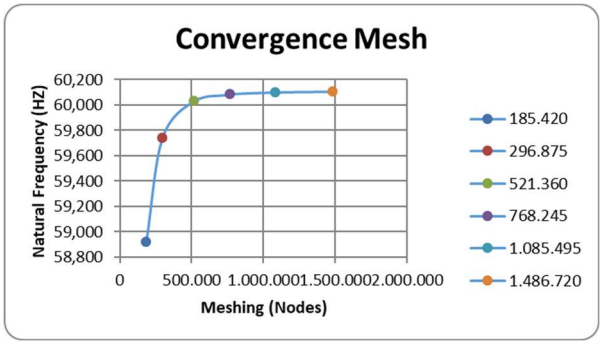
Gambar 4. *Meshing Chasis*



Gambar 5. *Meshing Detail Chasis*

Studi konvergensi *mesh* dilakukan untuk memastikan bahwa hasil simulasi *modal analysis*, khususnya nilai frekuensi alami, tidak lagi dipengaruhi secara signifikan oleh perubahan ukuran elemen. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan dengan memvariasikan ukuran *mesh* hingga diperoleh hasil frekuensi yang cenderung stabil. Dari hasil pengujian, frekuensi pada *mode* elastik menunjukkan perubahan yang relatif besar pada *mesh* yang lebih kasar, kemudian mulai stabil pada ukuran *mesh* yang lebih halus. Oleh karena itu, ukuran *mesh* yang dipilih dalam penelitian ini dianggap telah memenuhi kriteria konvergensi karena mampu memberikan hasil yang stabil dengan jumlah elemen dan waktu komputasi yang masih efisien. Pemilihan *mesh* ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam simulasi *modal analysis* untuk membandingkan karakteristik dinamis rangka berbahan *Structural Steel* dan *Titanium Alloy*.

Berdasarkan grafik konvergensi *mesh*, dapat dilihat bahwa nilai frekuensi alami masih berubah cukup signifikan pada jumlah *mesh* yang rendah, namun perubahan tersebut semakin kecil seiring bertambahnya jumlah *nodes* dan *elements* hingga kurva cenderung mendatar. Kondisi ini menunjukkan bahwa hasil simulasi mulai mencapai keadaan konvergen, sehingga penambahan *mesh* selanjutnya tidak lagi memberikan pengaruh yang berarti terhadap nilai frekuensi. Pada penelitian ini, konfigurasi *mesh* yang dipilih adalah 4 mm dengan 1.085.495 nodes dan 372.773 elements, karena sudah mampu menghasilkan nilai frekuensi yang stabil sekaligus tetap efisien dari sisi komputasi. Dengan demikian, *mesh* tersebut dinilai cukup representatif untuk digunakan dalam analisis *modal* rangka sepeda motor listrik agar hasil frekuensi alami dan bentuk *mode* getar yang diperoleh lebih andal.



Gambar 6. Grafik *Convergence Meshing*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam simulasi *modal analysis* pada rangka sepeda motor listrik, *mode*l dianalisis dengan kondisi *free-free* tanpa adanya tumpuan atau batasan gerak. Kondisi ini diterapkan agar struktur dapat bergetar secara bebas dan menghasilkan frekuensi alami yang murni berdasarkan massa dan kekakuan rangka. Analisis dilakukan menggunakan ANSYS *Workbench* 2024 R1 dengan tujuan untuk mengetahui nilai frekuensi alami (*natural frequency*) dan bentuk *mode* getar (*mode shape*) dari struktur rangka. Pendekatan ini umum digunakan untuk menggambarkan karakteristik getaran alami struktur sebelum menerima pembebanan aktual saat kendaraan beroperasi.

A. Frekuensi alami

Simulasi *modal analysis* pada penelitian ini dilakukan terhadap rangka sepeda motor listrik dengan menggunakan ANSYS *Workbench* 2024 R1. Hasil simulasi menghasilkan dua belas *mode* getar pertama yang merepresentasikan karakteristik dinamis alami struktur, seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini. Parameter yang diperoleh meliputi frekuensi alami (*natural frequencies*) dan bentuk *mode* getar (*mode shapes*), yang selanjutnya digunakan untuk menganalisis dan membandingkan *respons* dinamis rangka pada masing-masing material.

Tabel 3. Hasil Analisis Frekuensi Alami

Mode	***Structural Steel* (Hz)**	***Titanium Alloy* (Hz)**
1	0	0
2	1.3885×10^{-4}	2.0376×10^{-4}
3	4.3195×10^{-4}	2.5574×10^{-4}
4	2.2505×10^{-3}	2.0875×10^{-3}
5	3.4273×10^{-3}	3.2062×10^{-3}
6	6.1991×10^{-3}	5.8971×10^{-3}
7	60.101	54.166
8	61.453	55.306
9	74.396	66.676
10	86.762	78.666
11	104,4	94.528
12	107.51	96.803

Berdasarkan hasil *modal analysis*, *mode* 1 sampai *mode* 6 pada material *Structural Steel* dan *Titanium Alloy* memiliki frekuensi yang sangat kecil atau mendekati nol. Hal ini menunjukkan munculnya *rigid body mode*s akibat penggunaan kondisi *free-free*, yaitu struktur dibiarkan bergetar bebas tanpa tumpuan. Dalam kondisi ini, *mode* awal tidak merepresentasikan deformasi elastik struktur, melainkan gerakan benda tegar. Secara umum, analisis *modal* memang digunakan untuk menentukan frekuensi alami (*natural frequencies*) dan bentuk *mode* getar (*mode shapes*) dari getaran bebas tak teredam, sehingga sangat cocok untuk mengidentifikasi karakteristik dinamis awal rangka sepeda motor listrik [10].

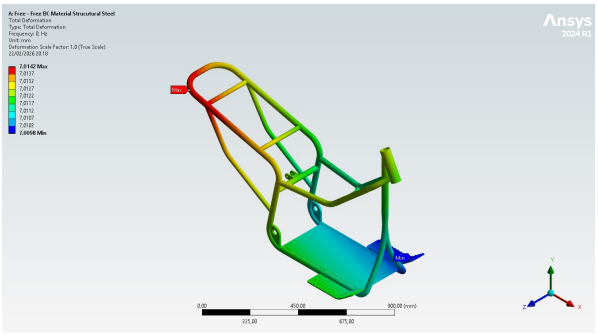
Mode elastik yang relevan mulai tampak pada *mode* 7 sampai *mode* 12. Pada rentang ini, material *Structural Steel* selalu menghasilkan frekuensi alami yang lebih tinggi dibandingkan *Titanium Alloy*, yaitu masing-masing 60.101, 61.453, 74.396, 86.762, 104.4, dan 107.51 Hz untuk Structural Steel, serta 54.166, 55.306, 66.676, 78.666, 94.528, dan 96.803 Hz untuk *Titanium Alloy*. Secara teori, frekuensi alami dipengaruhi oleh rasio kekakuan terhadap massa, yang dalam bentuk sederhana dapat ditulis sebagai $f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$, sedangkan untuk sistem struktur hasil diskretisasi FEM dinyatakan melalui persamaan eigen $[K - \omega^2 M]\{\phi\} = 0$. Hasil ini menunjukkan bahwa pada geometri rangka yang sama, *Structural Steel* memiliki kekakuan dinamis efektif yang lebih tinggi dibandingkan *Titanium Alloy* [15].

Jika dilihat dari aplikasi struktur kendaraan roda dua, parameter frekuensi alami, bentuk *mode* getar, serta kekakuan lentur dan torsi merupakan indikator penting untuk menilai kestabilan dinamis rangka. Karena itu, perbedaan frekuensi sekitar 10–12% pada *mode* elastik utama antara kedua material menunjukkan bahwa pemilihan material memberikan pengaruh nyata terhadap *respons* getaran rangka. Dengan frekuensi alami yang lebih tinggi pada *mode* 7–12, *Structural Steel* dapat dinilai lebih baik dalam menjaga kekakuan dan menurunkan kecenderungan resonansi pada *mode*l rangka sepeda motor listrik yang dianalisis, sedangkan *Titanium Alloy* menunjukkan *respons* yang relatif lebih fleksibel pada konfigurasi yang sama [16].

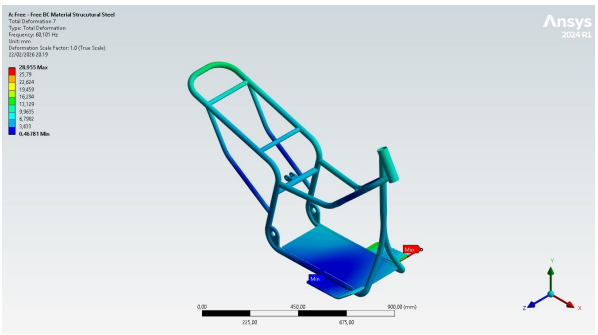
B. Visualisasi hasil analisis modal

Pemilihan enam visualisasi *mode*, yaitu *mode* 1, *mode* 7, dan *mode* 12 untuk masing-masing material *Structural Steel* dan *Titanium Alloy*, didasarkan pada pertimbangan bahwa ketiga *mode* tersebut sudah mampu mewakili tahapan utama perilaku dinamis struktur rangka. Dalam *modal analysis*, *mode* awal pada kondisi *free-free* umumnya menunjukkan *rigid body* motion dengan frekuensi mendekati nol, sedangkan *mode* yang lebih tinggi mulai memperlihatkan deformasi elastik yang

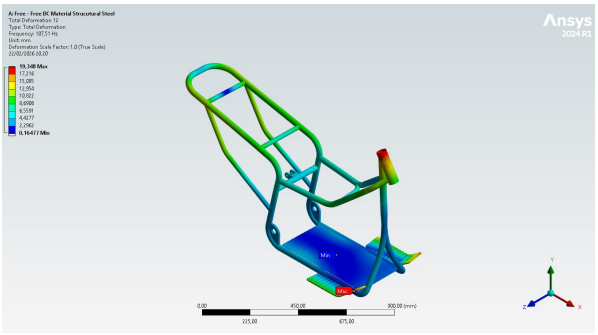
relevan seperti lenturan dan puntiran. Sejumlah kajian pada rangka kendaraan roda dua dan chassis juga menekankan bahwa evaluasi frekuensi alami dan *mode shape* dipakai untuk mengidentifikasi transisi dari gerak bebas ke *respons* elastik serta untuk menilai kemungkinan resonansi akibat eksitasi operasi, termasuk eksitasi jalan. Oleh karena itu, pemilihan *mode* 1 sebagai representasi gerak kaku, *mode* 7 sebagai awal munculnya *mode* elastik global, dan *mode* 12 sebagai *mode* elastik yang lebih kompleks dinilai cukup representatif untuk membahas karakteristik getaran rangka tanpa harus menampilkan seluruh *mode* secara rinci [3].



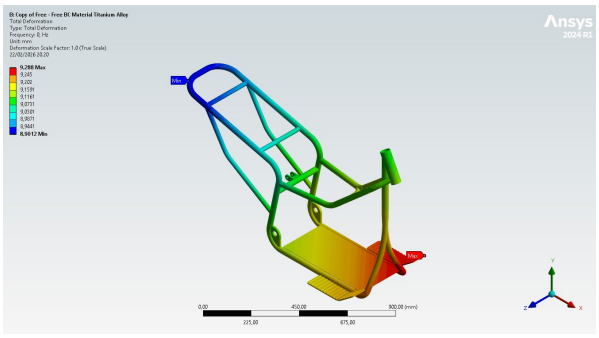
Gambar 6. *Mode Shape* 1 Material *Stuctural Steel*



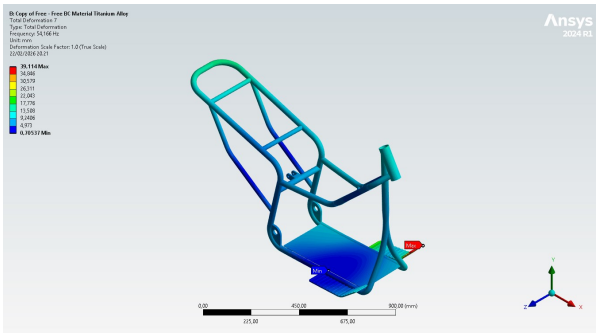
Gambar 7. *Mode Shape* 7 Material *Stuctural Steel*



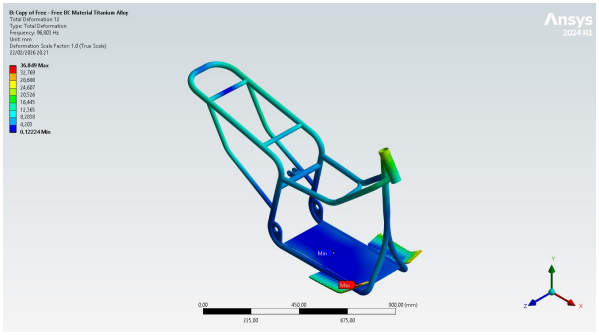
Gambar 8. *Mode Shape* 12 Material *Stuctural Steel*



Gambar 9. *Mode Shape* 1 Material *Titanium Alloy*



Gambar 10. *Mode Shape* 7 Material *Titanium Alloy*



Gambar 11. *Mode Shape* 12 Material *Titanium Alloy*

Berdasarkan enam visualisasi yang dipilih, yaitu *mode* 1, *mode* 7, dan *mode* 12 untuk masing-masing material *Structural Steel* dan *Titanium Alloy*, dapat dilihat perkembangan perilaku getar rangka dari gerakan benda tegar menuju deformasi elastik yang lebih kompleks. Pada *mode* 1, kedua material masih menunjukkan frekuensi mendekati 0 Hz, sehingga deformasi yang tampak belum merepresentasikan lenturan atau puntiran struktur, melainkan *rigid body* motion akibat kondisi *free-free* tanpa tumpuan. Kondisi ini wajar pada *modal analysis* karena *mode* awal pada struktur bebas umumnya hanya menunjukkan translasi dan rotasi keseluruhan sistem. Dalam kajian rangka kendaraan, identifikasi

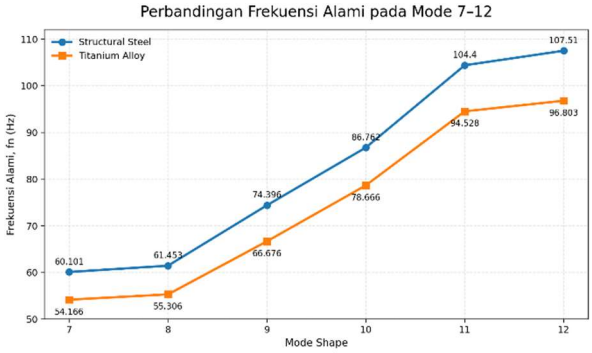
frekuensi alami dan bentuk *mode* seperti ini memang menjadi tahap awal untuk memahami perilaku dinamis sebelum struktur menerima eksitasi aktual dari jalan atau sistem penggerak [3].

Pada *mode* 7, *respons* elastik mulai terlihat lebih jelas pada kedua material. Kontur deformasi menunjukkan bahwa bagian *deck* bawah, rangka depan, dan sebagian sisi samping rangka mulai mengalami pola lenturan yang lebih nyata. Nilai frekuensi alami *Structural Steel* yang lebih tinggi dibandingkan *Titanium Alloy* pada *mode* ini menunjukkan bahwa rangka berbahan *Structural Steel* memiliki kekakuan dinamis yang lebih baik pada geometri yang sama. Temuan ini sejalan dengan literatur yang menyebutkan bahwa getaran rangka kendaraan sangat dipengaruhi oleh interaksi antara massa dan kekakuan, serta bahwa *modal analysis* diperlukan untuk mengidentifikasi frekuensi alami dan bentuk *mode* sebelum struktur dievaluasi terhadap eksitasi jalan, eksitasi mesin, atau *respons* dinamis lainnya. Pada chassis kendaraan, eksitasi dari ketidakrataan jalan dapat memicu getaran dan bahkan resonansi jika mendekati frekuensi alami struktur [17].

Pada *mode* 12, pola deformasi kedua material menjadi semakin jelas dan menunjukkan area yang paling sensitif terhadap getaran, terutama pada bagian bawah rangka/*deck*, steering head, dan sebagian rangka belakang atas. Dibandingkan *Titanium Alloy*, visualisasi *Structural Steel* pada *mode* ini tetap menunjukkan frekuensi yang lebih tinggi, sehingga dapat diinterpretasikan bahwa rangka dengan material tersebut lebih mampu mempertahankan kekakuan terhadap eksitasi dinamis. Dengan demikian, enam gambar tersebut sudah cukup mewakili transisi dari *mode* kaku ke *mode* elastik global, sekaligus memperlihatkan bahwa pemilihan material memengaruhi distribusi deformasi dan posisi frekuensi alami. Dalam konteks kendaraan yang beroperasi di jalan, hasil ini penting karena frekuensi alami yang lebih tinggi umumnya memberi jarak yang lebih aman terhadap rentang eksitasi operasional akibat *road roughness* maupun getaran sistem kendaraan [17].

C. Perbandingan grafik frekuensi alami

Grafik perbandingan frekuensi alami pada *mode* shape 7–12 menunjukkan perbedaan karakteristik dinamis antara material *Structural Steel* dan *Titanium Alloy* pada rangka sepeda motor listrik. *Mode* 7–12 dipilih karena pada rentang ini struktur telah menunjukkan *mode* elastik yang relevan, sedangkan *mode* sebelumnya masih didominasi oleh *rigid body motion* akibat kondisi *free-free*. Hasil visualisasi memperlihatkan bahwa *Structural Steel* secara konsisten memiliki frekuensi alami lebih tinggi dibandingkan *Titanium Alloy*, sehingga dapat diinterpretasikan memiliki kekakuan dinamis yang lebih baik terhadap *respons* getaran.



Gambar 12. Grafik Perbandingan

Berdasarkan hasil *modal* analysis pada enam visualisasi terpilih, yaitu *mode* 1, *mode* 7, dan *mode* 12 untuk masing-masing material *Structural Steel* dan *Titanium Alloy*, dapat dilihat perkembangan *respons* getar rangka dari gerak benda tegar menuju deformasi elastik. Pada *mode* 1, kedua material masih memiliki frekuensi mendekati 0 Hz, sehingga pola yang muncul merepresentasikan *rigid body* motion akibat kondisi *free-free* tanpa tumpuan. Kondisi ini sejalan dengan kajian eksperimental dan numerik pada rangka sepeda motor yang menunjukkan bahwa identifikasi natural frequency dan *mode* shape merupakan langkah awal untuk memahami karakteristik dinamis rangka sebelum dianalisis pada kondisi operasi nyata. Pada *mode* 7, *respons* elastik mulai tampak jelas, terutama pada area *deck* bawah, rangka depan, dan bagian samping, sedangkan pada *mode* 12 deformasi menjadi lebih kompleks dan melibatkan area steering head, *deck*, serta rangka belakang atas. Studi pada rangka depan sepeda motor juga

menunjukkan bahwa *mode* getar utama pada rentang frekuensi tertentu berhubungan langsung dengan fleksibilitas struktur dan kestabilan kendaraan [3].

Jika dibandingkan antar material, *Structural Steel* menunjukkan frekuensi alami yang lebih tinggi pada *mode* elastik, yakni 60.101 Hz dibanding 54.166 Hz pada *mode* 7, dan 107.51 Hz dibanding 96.803 Hz pada *mode* 12. Hal ini menunjukkan bahwa pada geometri rangka yang sama, *Structural Steel* memiliki kekakuan dinamis efektif yang lebih tinggi, sedangkan *Titanium Alloy* cenderung lebih fleksibel. Temuan ini penting karena pada kondisi operasi nyata rangka kendaraan menerima eksitasi dari ketidakrataan jalan dan juga eksitasi dari sistem kendaraan, sehingga frekuensi alami yang lebih tinggi umumnya memberikan margin yang lebih baik terhadap kemungkinan resonansi. Jurnal tentang *respons* dinamis sepeda motor akibat road excitation dan engine excitation menunjukkan bahwa eksitasi tersebut memengaruhi *respons* percepatan vertikal, frequency *respons*e, dan *power spectral density*, sehingga hasil *modal* analysis dapat dipakai sebagai dasar untuk mengevaluasi keamanan getaran struktur pada tahap berikutnya [18].

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil *modal analysis* pada rangka sepeda motor listrik, dapat disimpulkan bahwa material *Structural Steel* dan *Titanium Alloy* memberikan *respons* dinamis yang berbeda terhadap struktur rangka. Pada kondisi *free-free, mode* 1 sampai *mode* 6 pada kedua material menunjukkan frekuensi yang sangat kecil atau mendekati nol, yang menandakan adanya *rigid body motion*. Sementara itu, *mode* elastik mulai terlihat pada *mode* 7 sampai *mode* 12. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa *Structural Steel* secara konsisten memiliki nilai frekuensi alami lebih tinggi dibandingkan *Titanium Alloy*, yaitu mencapai 107.51 Hz pada *mode* 12, sedangkan *Titanium Alloy* sebesar 96.803 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa pada geometri rangka yang sama, *Structural Steel* memiliki kekakuan dinamis yang lebih baik, sehingga lebih mampu menjaga kestabilan struktur terhadap getaran.

Berdasarkan hasil tersebut, disarankan agar penelitian selanjutnya tidak hanya dilakukan pada kondisi *free-free*, tetapi juga dikembangkan pada kondisi pembebanan dan tumpuan yang lebih mendekati keadaan aktual saat sepeda motor listrik beroperasi. Selain itu, analisis lanjutan seperti *harmonic response*, *transient analysis*, atau pengaruh eksitasi akibat ketidakrataan jalan perlu dilakukan untuk memperoleh gambaran *respons* dinamis yang lebih realistis. Pengembangan penelitian juga dapat diarahkan pada variasi geometri rangka, optimasi desain, serta validasi eksperimental agar hasil simulasi numerik yang diperoleh dapat dibandingkan dengan kondisi nyata

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan moral, teknis, maupun akademik dalam pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih disampaikan kepada dosen pembimbing, institusi tempat penelitian, serta rekan-rekan yang telah membantu dalam proses pengumpulan data, pelaksanaan simulasi menggunakan ANSYS, hingga penyusunan artikel ilmiah ini. Semoga segala bantuan dan kontribusi yang diberikan memperoleh balasan yang baik.

REFERENSI

[1] G. E. V Outlook, “Global EV Outlook 2025 Expanding sales in diverse markets,” 2025.

[2] M. Parameters and M. Vibration, “Analysis of the Effect of Mass Parameters on Motorcycle Vibration and Stability,” 2021.

[3] V. Cossalter, A. Doria, M. Massaro, and L. Taraborrelli, “Experimental and numerical investigation on the motorcycle front frame flexibility and its effect on stability,” *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 60–61, pp. 452–471, 2015, doi: 10.1016/j.ymssp.2015.02.011.

[4] F. Passigato, A. Eisele, D. Wisselmann, A. Gordner, and F. Diermeyer, “applied sciences Analysis of the Phenomena Causing Weave and Wobble in Two-Wheelers,” pp. 1–27,

2020, doi: 10.3390/app10196826.

[5] Y. Hwang and J. Cheng, "1329 . The dynamic behavior and *modal* analysis of electric scooter," pp. 2297–2304, 2014.

[6] P. Jeyapandiarajan, G. Kalaiarassan, J. Joel, R. Shirbhate, and F. Felix, "ScienceDirect Design and Analysis of Chassis for an Electric Motorcycle," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 5, pp. 13563–13573, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2018.02.352.

[7] M. Bagawan, M. V. Krishna, P. R. Kumar, K. G. Krishna, and T. Fatima, "Materials Today : Proceedings Design and analysis of electric motorcycle chassis frame," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.05.072.

[8] S. Balaguru, E. Natarajan, S. Ramesh, and B. Muthuvijayan, "ScienceDirect ICAMMAS17 Structural and *modal* Analysis of Scooter Frame for Design Improvement," *Mater. Today Proc.*, vol. 16, pp. 1106–1116, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2019.05.202.

[9] B. Agrawal, R. Singhal, B. Bishwakarma, and A. Shukla, "*Modal* and Static Structural Analysis of Motorbike Chassis Using ANSYS *Workbench*," 2026, pp. 205–216. doi: 10.1007/978-981-96-8496-0_17.

[10] A. D. Canonsburg, "Mechanical User ' s Guide," no. July, 2025.

[11] A. D. Canonsburg and A. Europe, "No Title," vol. 15317, no. July, pp. 724–746, 2025.

[12] Comsol, "Performing a Mesh Refinement Study," 2026. [Online]. Available: https://www.comsol.com/support/knowledgebase/1261

[13] "Carbon steel," *Encycl. Dict. Polym.*, pp. 158–158, 2007, doi: 10.1007/978-0-387-30160-0_1896.

[14] C. Composition, "Data Sheet 6Al-4V Titanium," 1950.

[15] M. Analysis, "Governing Equation of *Modal* Analysis".

[16] M. Bocciolone, F. Cheli, M. Pezzola, and R. Viganò, "Static and dynamic properties of a motorcycle frame : experimental and numerical approach," vol. 41, pp. 517–526.

[17] M. M. Ahamed and L. Natrayan, "Materials Today : Proceedings Dynamic analysis and structural simulation of aluminum composite material based automobile chassis," *Mater. Today Proc.*, vol. 62, pp. 2244–2249, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.03.466.

[18] L. Sun, G. Shu, and H. Wei, "Dynamic *respons*e of functional virtual prototyping of motorcycle under combined excitations," *Trans. Tianjin Univ.*, vol. 19, no. 4, pp. 279–286, 2013, doi: 10.1007/s12209-013-2013-9.