

## ANALISIS RANGKA *ROADBIKE* DENGAN MATERIAL KOMPOSIT KARBON DAN BAJA MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

\*Victor Brilliant Loppies<sup>1</sup>, Djoeli Satrijo<sup>2</sup>, Ojo Kurdi<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: [loppiesvictor@gmail.com](mailto:loppiesvictor@gmail.com)

### Abstrak

Pada saat ini penggunaan sistem transportasi sudah menjadi gaya hidup di dalam kehidupan sehari-hari masyarakat, Hal tersebut dapat dilihat pada aktivitas kegiatan bersepeda yang hanya digunakan untuk kebutuhan jarak dekat, olahraga, berkumpul bersama teman, dan pengembangan minat. Beberapa jenis sepeda yang umum digunakan oleh masyarakat adalah sepeda lipat, sepeda gunung atau MTB, sepeda *fixie*, sepeda kota, sepeda BMX, sepeda *hybrid*, sepeda tandem, dan *road bike* (sepeda balap). Dampak positif dari perkembangan teknologi memungkinkan para produsen rangka sepeda dapat menentukan jenis material rangka sepeda yang akan digunakan. Jenis material umum yang sering digunakan dalam membuat rangka sepeda adalah baja, baja dinilai mudah didapatkan dan mudah untuk dilakukan proses produksi. Penggunaan material karbon komposit pada rangka sepeda memiliki banyak kelebihan namun juga kekurangan yang harus diperhatikan dalam desainnya. Di antara kerugiannya, resistensi dampak yang buruk dapat menyebabkan kegagalan prematur dari *frame*. Dalam melakukan perancangan sepeda pelaku industri harus memastikan kenyamanan dan kekuatan produk sesuai dengan standar yang berlaku. Pengujian rangka secara langsung akan membutuhkan waktu dan biaya yang relatif lebih banyak dibandingkan dengan melakukan analisis menggunakan metode elemen hingga (FEM). Pada penelitian kali ini metode elemen hingga digunakan untuk mengetahui kekuatan dari rangka *roadbike* dengan metode pembebanan statik. Pembebanan dinamik juga dilakukan untuk mengetahui nilai frekuensi pribadi serta modus getar dari rangka *roadbike*. Analisis dengan metode elemen hingga ini diharapkan dapat melihat kinerja serta kenyamanan dari rangka *roadbike*.

**Kata kunci:** dinamik; rangka *roadbike*; statik

### Abstract

*At this time the use of the transportation system has become a lifestyle in people's daily lives, this can be seen in cycling activities which are only used for short distance needs, sports, gathering with friends, and developing interests. Several types of bicycles commonly used by the public are folding bicycles, mountain or MTB bicycles, fixie bicycles, city bicycles, BMX bicycles, hybrid bicycles, tandem bicycles, and road bikes (racing bicycles). The positive impact of technological developments allows bicycle frame manufacturers to determine the type of bicycle frame material to be used. The common type of material that is often used in making bicycle frames is steel, steel is considered easy to obtain and easy to carry out in the production process. The use of carbon composite materials in bicycle frames has many advantages but also disadvantages that must be considered in its design. Among the disadvantages, poor impact resistance can lead to premature failure of the frame. In designing bicycles, industrial players must ensure the comfort and strength of the product in accordance with applicable standards. Direct truss testing will require relatively more time and cost compared to conducting analysis using the finite element method (FEM). In this study, the finite element method was used to determine the strength of the roadbike frame using the static loading method. Dynamic loading is also carried out to determine the personal frequency value and the vibration mode of the roadbike frame. Analysis with the finite element method is expected to see the performance and comfort of the roadbike frame.*

**Keywords:** dynamic; roadbike frame; static

### 1. Pendahuluan

Pada saat ini penggunaan sistem transportasi sudah menjadi gaya hidup di dalam kehidupan sehari-hari masyarakat, Hal tersebut dapat dilihat pada aktivitas kegiatan bersepeda yang hanya digunakan untuk kebutuhan jarak dekat, olahraga, berkumpul bersama teman, dan pengembangan minat. Hal-hal ini dapat dilihat pada masyarakat yang tinggal di kota-kota besar dengan adanya berbagai aktivitas dan kegiatan seperti lomba, sepeda santai, *car free day* yang diselenggarakan oleh pemerintah maupun instansi [1]. Beberapa jenis sepeda yang umum digunakan oleh masyarakat adalah sepeda lipat, sepeda gunung atau MTB, sepeda *fixie*, sepeda kota, sepeda BMX, sepeda *hybrid*, sepeda tandem,

dan *road bike*. Karakteristik yang paling penting pada *road bike* adalah berat dan kekakuannya, yang menentukan efisiensi di mana kekuatan dari pedal yang dikayuh pengendara dapat ditransfer ke poros penggerak dan kemudian sampai ke roda rodanya. Untuk *road bike* setang setir diposisikan lebih rendah dari tempat duduk agar posisi pengendara menjadi lebih aerodinamis [2].

Rangka sepeda (*bicycle frame*) merupakan komponen utama dari sebuah sepeda. Rangka berfungsi sebagai tempat kedudukan semua komponen pada sepeda dan penopang untuk pengendara sepeda, sehingga pada saat ingin melakukan perancangan harus memperhatikan berbagai faktor, seperti struktur geometri rangka, keamanan rangka, kekuatan rangka, dan pemilihan jenis material rangka [3].

Dalam melakukan penelitian analisis struktur rangka sepeda dapat menggunakan metode elemen hingga sehingga analisis rangka struktur dapat disederhanakan dan waktu analisis dapat dipersingkat. Hasil analisis dapat berupa hasil tegangan maksimum yang nilainya tidak melebihi nilai kekuatan luluhnya pada material sehingga tidak menyebabkan rangka menjadi patah. Selain tegangan, ada juga regangan dan perpindahan yang terjadi pada rangka yang memiliki nilai maksimum yang tidak terlalu besar sehingga rangka mengalami deformasi elastis [4].

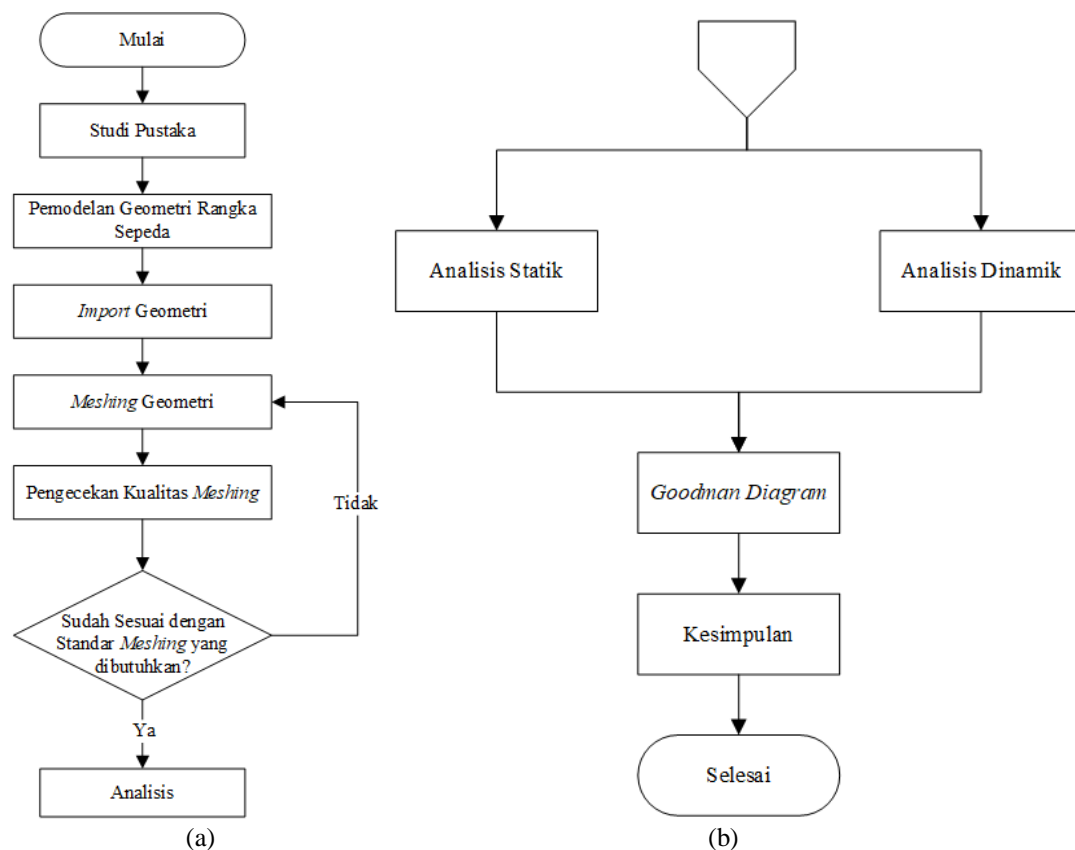
Pada penelitian ini metode elemen hingga digunakan untuk mengetahui kekuatan dari rangka *roadbike* dengan metode pembebanan statik. Pembebanan dinamik juga dilakukan untuk mengetahui respon serta nilai tegangan dinamik dari rangka *roadbike*. Analisis dengan metode elemen hingga ini diharapkan dapat melihat kekuatan serta kenyamanan dari rangka *roadbike*.

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan variasi dua jenis rangka sepeda *roadbike*. Selain itu, desain rangka *roadbike* yang digunakan pada penelitian ini divariasikan terhadap dua jenis material yaitu Baja AISI 4130 dan Komposit Karbon M30S. Pemodelan rangka *roadbike* dibuat dengan menggunakan bantuan *software CAD Solidworks 2015*.

### 2.1 Diagram Alir Penelitian

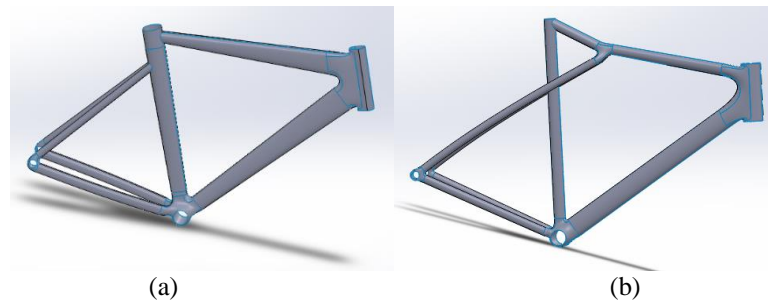
Tahap pertama dalam melakukan simulasi ini adalah membuat model rangka geometri *roadbike*. Tahapan selanjutnya setelah membuat geometri rangka *roadbike* adalah input desain rangka sepeda *roadbike* ke *software Altair Hypermesh 2019* untuk dilakukan proses *meshing* dan *set-up* simulasi. Tahapan selanjutnya adalah memasukkan data material yang digunakan dan memberikan pembebanan sesuai yang diinginkan. Tahapan terakhir adalah *running* simulasi statis dan dinamis pada kedua tipe rangka sepeda *roadbike* menggunakan *software Altair Optistruct 2019*. Dari sini akan diperoleh nilai tegangan dari setiap jenis material dari kasus pembebanan statik dan dinamik yang berguna untuk menentukan kekuatan dari masing-masing desain rangka *roadbike*. Adapun alur analisis pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir tahap *pre-processing* (a), *analysis* dan *post-processing* (b)

## 2.2 Pemodelan Desain Rangka *Roadbike*

Dalam melakukan desain rangka *roadbike* dilakukan menggunakan bantuan *Software Solidworks 2015*. Variasi model struktur rangka sepeda *roadbike* dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil pemodelan menunjukkan bagian-bagian rangka yang akan digunakan pada simulasi dengan bantuan *software FEM Altair Optistruct 2019*.



Gambar 2. Desain rangka sepeda *roadbike* tipe 1 (a) dan 2 (b).

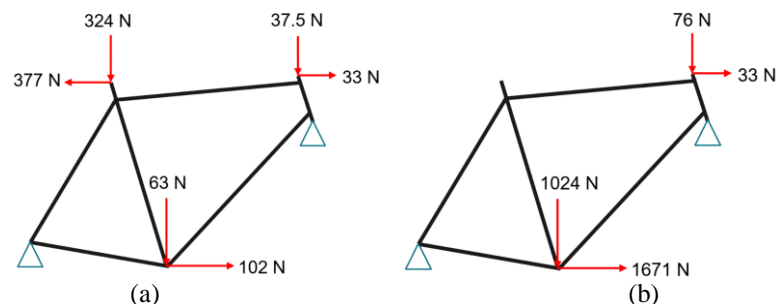
## 2.3 Variasi Material Rangka *Roadbike*

Variasi material rangka *roadbike* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan 2 jenis material yang berbeda. Untuk material karbon komposit M30S adalah jenis material anisotropik [5], sedangkan untuk material Baja AISI 4130 adalah jenis material isotropik, sehingga terdapat nilai-nilai *material properties* yang berbeda, perbedaan nilai-nilai *material properties* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat Material Rangka Sepeda *Roadbike*

Sifat-Sifat Material	Jenis Material	
	Composite M30S	Steel AISI 4130
Density $\rho$ ( $Kg/m^3$ )	1530	7850
Modulus of elasticity (GPa)	-	210
Longitudinal tensile modulus $E_1$ (GPa)	152	-
Transverse tensile modulus $E_2$ (GPa)	7.1	-
Poissons ratio	-	0.3
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)	-	435
Tensile strength, ultimate (MPa)	-	670
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	-

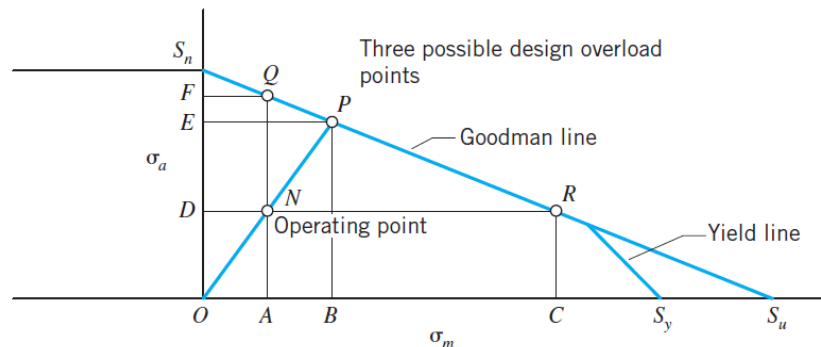
Metode simulasi yang digunakan pada penelitian ini adalah simulasi statis dan dinamis. Simulasi statis sendiri dibagi menjadi dua, yaitu statis dengan pembebanan akibat dari berat pengendara pada posisi *sitting riding* dan *standing riding* dengan berat pengendara 100 kg [6]. Distribusi gaya pada pembebanan statis posisi *sitting riding* dan *standing riding* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pembebanan statis pada posisi *sitting riding* (a) dan *standing riding* (b)

## 2.4 Diagram Goodman dan Safety Factor

Diagram *Goodman* adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung hubungan antara tegangan rata-rata dan tegangan bolak-balik pada umur lelah suatu material. Diagram *Goodman* pada awalnya digunakan sebagai metode untuk memprediksi umur lelah pada logam, seiring berjalannya waktu diagram *goodman* juga digunakan untuk mengamati karakterisasi perilaku umur lelah komposit. Terdapat perbedaan karakterisasi material logam dan material komposit, material komposit memiliki daerah elastis-linier yang lebih sedikit atau bahkan tidak ada. Maka dari itu diperlukan penyesuaian pada material komposit [7].



Gambar 4. Diagram Goodman

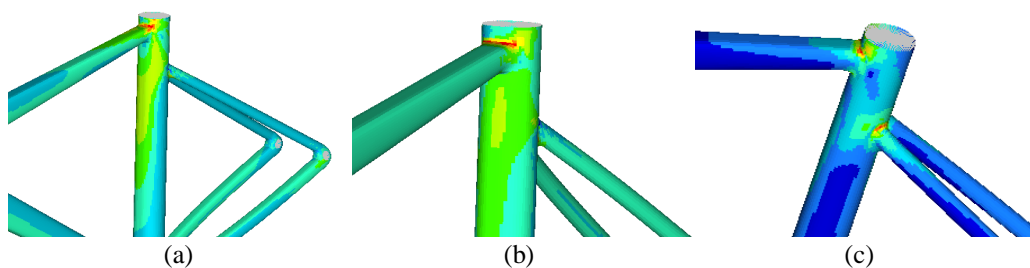
Gambar 4. menunjukkan tiga interpretasi yang dapat diterapkan pada istilah faktor keamanan dalam kasus tegangan rata-rata gabungan dan tegangan bolak-balik. Tiga kemungkinan titik kelebihan beban desain ditampilkan [8].

Jika tegangan bolak-balik dan rata-rata meningkat dengan persentase yang sama selama kelebihan beban, titik P akan menjadi titik beban berlebih desain, dan faktor keamanan dirumuskan menjadi:  $SF = OE/OD$ . Jika hanya komponen tegangan bolak-balik yang meningkat selama kelebihan beban, titik Q akan menjadi titik beban berlebih desain, dan faktor keamanannya adalah,  $SF = OF/OD$  Jika hanya komponen tegangan rata-rata yang meningkat selama kelebihan beban, titik R akan menjadi titik beban berlebih desain, dan faktor keamanannya adalah,  $SF = OC/OA$

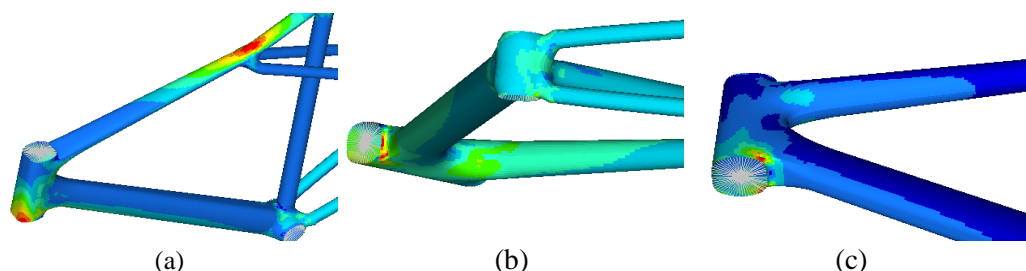
## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Simulasi Linear Statik Rangka Roadbike

Dari hasil analisis statik untuk kasus *sitting riding*, pada rangka 1 dengan material karbon komposit diketahui bahwa *Max Normal X Stress* sebesar 24.78 MPa dan *Max Normal Y Stress* sebesar 4.27 MPa, dan untuk material baja diketahui bahwa tegangan maksimum sebesar 14.11 MPa terjadi di *head tube* dan di sekitar sambungan antara *seat tube* dan *top tube*, sedangkan pada rangka 2 dengan material karbon komposit, nilai *Max Normal X Stress* sebesar 44.54 MPa dan *Max Normal Y Stress* sebesar 4.21 MPa, dan untuk material baja, diketahui bahwa tegangan maksimum sebesar 30.91 MPa terjadi di *head tube* dan di sekitar sambungan antara *seat tube* dan *top tube*.

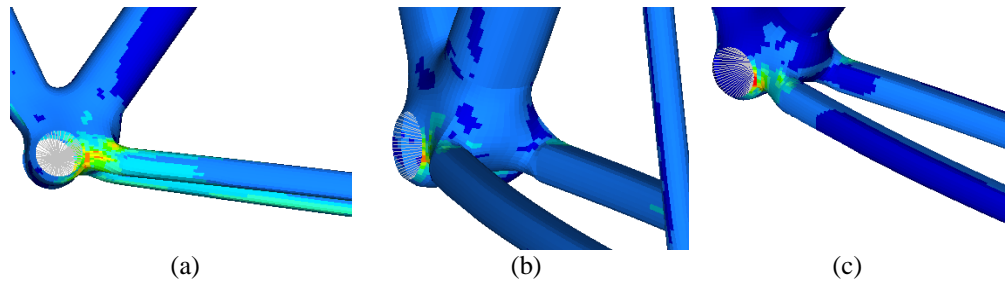


Gambar 5. Analisis Statik pada Rangka 1 kasus Posisi *Sitting Riding* (a) *Normal X Stress* (b) *Normal Y Stress* (c) *Von Mises Stress*

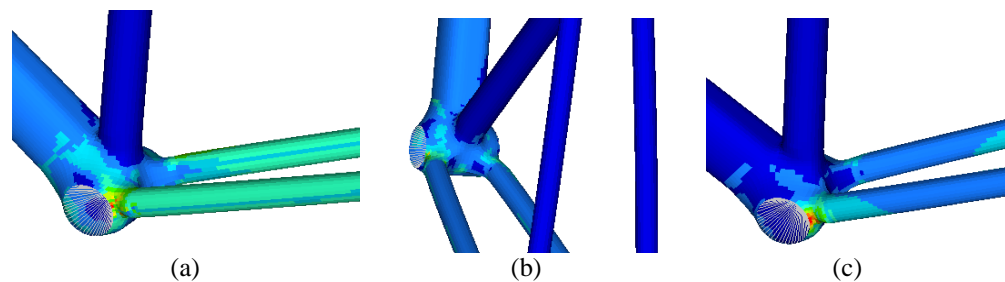


Gambar 6. Analisis Statik pada Rangka 2 kasus Posisi *Sitting Riding* (a) *Normal X Stress* (b) *Normal Y Stress* (c) *Von Mises Stress*

Pada kasus *standing riding*, pada rangka 1 dengan material karbon komposit diketahui bahwa *Max Normal X Stress* sebesar 90.83 MPa dan *Max Normal Y Stress* sebesar 18.05 MPa, dan untuk material baja diketahui bahwa tegangan maksimum sebesar 51.44 MPa terjadi di bagian *bottom bracket* dan *rear end*, sedangkan pada rangka 2 dengan material karbon komposit, nilai *Max Normal X Stress* sebesar 73.56 MPa dan *Max Normal Y Stress* sebesar 9.59 MPa, dan untuk material baja, diketahui bahwa tegangan maksimum sebesar 39.89 MPa terjadi di bagian *bottom bracket* dan *rear end*.



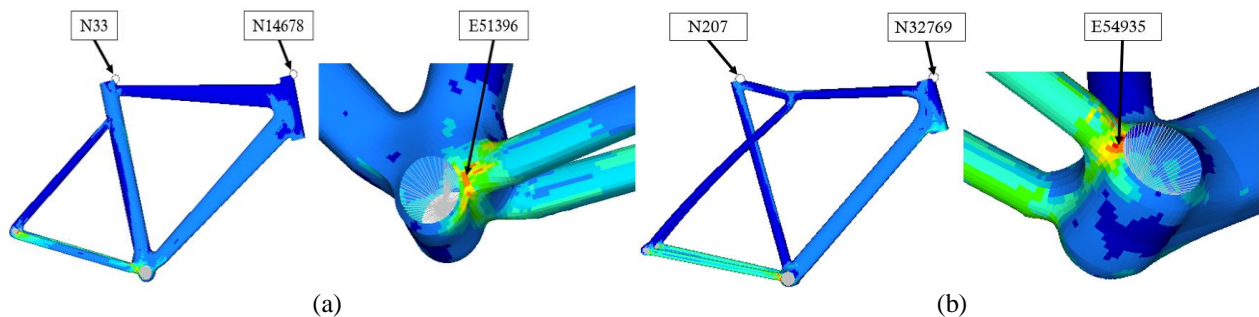
**Gambar 7.** Analisis Statik pada Rangka 1 kasus Posisi *Standing Riding* (a) Normal X Stress (b) Normal Y Stress (c) Von Mises Stress



**Gambar 8.** Analisis Statik pada Rangka 2 kasus Posisi *Standing Riding* (a) Normal X Stress (b) Normal Y Stress (c) Von Mises Stress

### 3.2 Simulasi Dinamik Rangka Roadbike

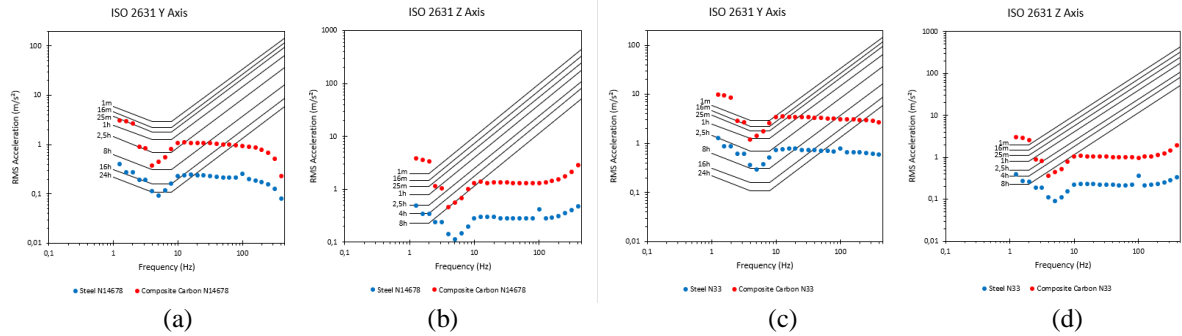
Simulasi dinamik yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode *frequency response function* dan *random response* untuk mengetahui respon dinamik dari model rangka *roadbike* [9]. Metode *frequency response function* (FRF) digunakan untuk mengetahui respon dinamik rangka *roadbike* terhadap rentang frekuensi (*broadband*) dan nilai-nilai puncaknya, sedangkan *random response* digunakan untuk mengetahui respon dinamik rangka terhadap kekasaran permukaan jalan berdasarkan sumber literatur [10]. Hasil perhitungan simulasi dinamik kemudian dihitung nilai *root mean square* (RMS) untuk masing-masing model rangka *roadbike*. Elemen-elemen yang diamati dari simulasi dinamik ini yaitu elemen *N14678*, *N33*, dan *E51396* untuk rangka 1. Sedangkan elemen-elemen yang diamati pada rangka 2 yaitu elemen *N32769*, *N207*, dan *E54935*. Adapun posisi elemen-elemen tersebut dapat dilihat pada Gambar 9. berikut.



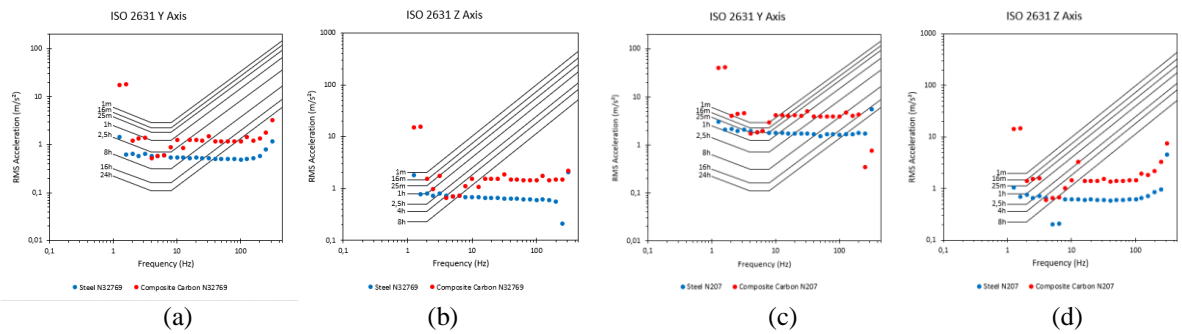
**Gambar 9.** Elemen-elemen yang diamati (a) Rangka 1 (b) Rangka 2

### 3.3 Analisis Kenyamanan Rangka Roadbike

Setelah nilai RMS *acceleration* dihitung, nilai kemudian di plot pada grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai RMS *acceleration* dengan batas kelelahan tubuh akibat getaran seluruh tubuh (*whole-body vibration*) yang mengacu pada standar ISO 2631. Standar ISO 2631 mendefinisikan bagaimana mengukur getaran seluruh tubuh manusia (WBV), seperti yang dialami oleh penumpang kendaraan selama perjalanan. Analisis kenyamanan dilakukan pada bagian *handlebar* dan bagian *saddle*. Nama elemen pada *handlebar* pada rangka 1 adalah *N14678*, sedangkan nama elemen pada *saddle* adalah *N33*. Nama elemen pada *handlebar* pada rangka 2 adalah *N32769*, sedangkan nama elemen pada *saddle* adalah *N207*.



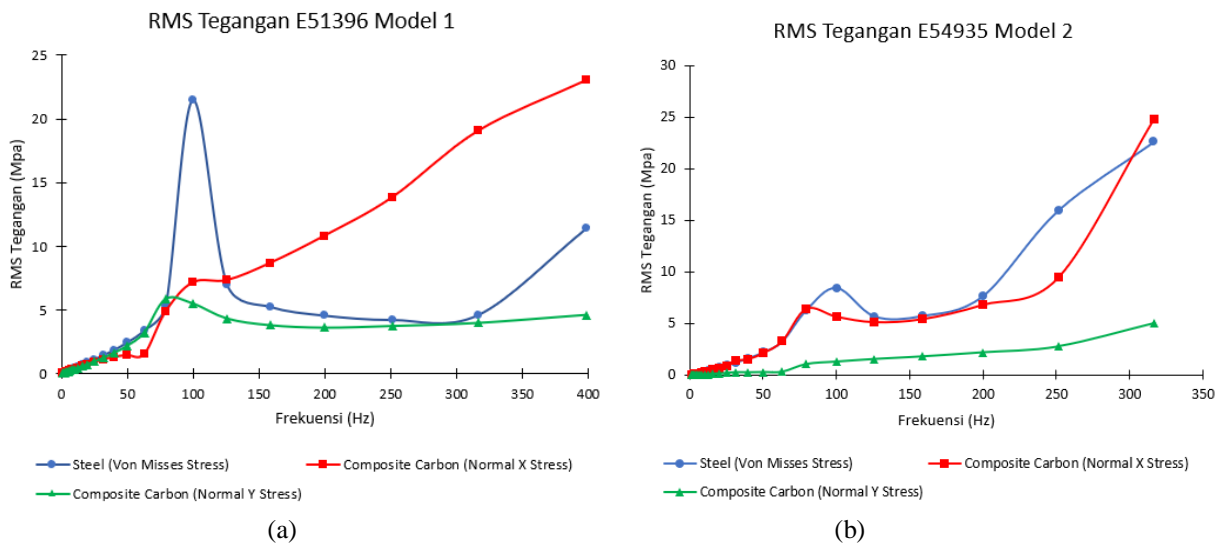
**Gambar 10.** Batas Kelelahan Tubuh pada rangka 1 (a) *handlebar* Sumbu Y dan (b) *handlebar* Sumbu Z (c) *saddle* Sumbu Y dan (d) *saddle* Sumbu Z



**Gambar 11.** Batas Kelelahan Tubuh pada rangka 2 (a) *handlebar* Sumbu Y dan (b) *handlebar* Sumbu Z (c) *saddle* Sumbu Y dan (d) *saddle* Sumbu Z

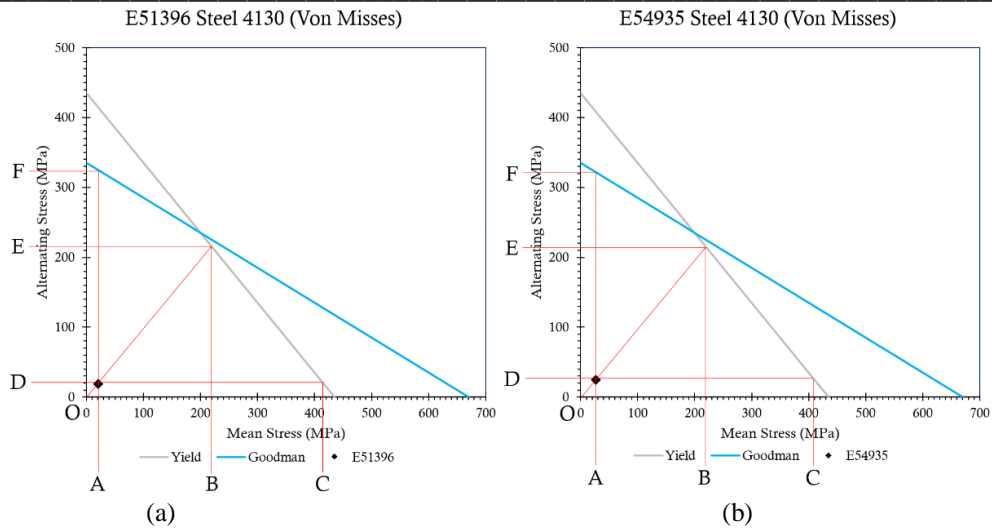
### 3.4 Analisis Kekuatan Rangka Roadbike

Elemen *E51396* pada model rangka tipe 1 dipilih untuk dihitung karena merupakan salah-satu dari konsentrasi elemen dengan tegangan dinamis maksimum pada keseluruhan rangka, sedangkan yang dihitung pada rangka tipe 2 yaitu elemen *E54935*. Hasil perhitungan nilai RMS tegangan dinamik pada rangka tipe 1 (*E51396*) menunjukkan nilai maksimum sebesar 21.47 MPa untuk material baja dan 23.01 MPa untuk material karbon komposit. Pada rangka tipe 2 (*E54935*) menunjukkan nilai RMS tegangan maksimum sebesar 22.61 MPa untuk material baja dan 24.88 MPa untuk material karbon komposit. Adapun grafik nilai RMS tegangan terhadap frekuensi dapat dilihat pada Gambar 12.

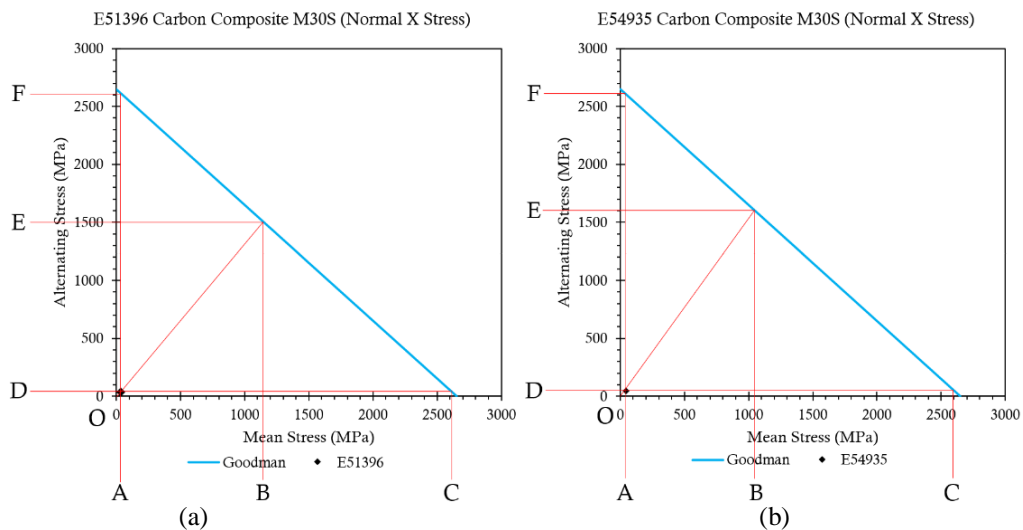


**Gambar 12.** Grafik nilai RMS tegangan terhadap frekuensi rangka tipe 1 (a) dan 2 (b)

Adapun plot diagram *Goodman* rangka tipe 1 (elemen *E51396*) dan tipe 2 (elemen *E54935*) dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14 berikut.



**Gambar 13.** Plot diagram *Goodman* rangka untuk material baja (a) rangka 1 (b) rangka 2



**Gambar 14.** Plot diagram *Goodman* rangka untuk material karbon (a) rangka 1 (b) rangka 2

Adapun hasil perhitungan nilai *safety factor* berdasarkan kriteria *Goodman* untuk model rangka *roadbike* dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Nilai *safety factor* model rangka *roadbike* berdasarkan kriteria *Goodman*

No.	Kondisi	Rangka Tipe 1		Rangka Tipe 2	
		Baja	Karbon	Baja	Karbon
1.	Tegangan statik dan dinamik meningkat	10.78	37.73	8.30	32.04
2.	Hanya tegangan dinamik yang meningkat	16.28	63.94	12.46	52.21
3.	Hanya tegangan statik yang meningkat	20.63	8.26	16.26	64.55

Dari hasil perhitungan nilai *safety factor* untuk masing-masing tipe rangka, didapat nilai terkecil rangka tipe 1 sebesar 8.26 untuk material karbon komposit M30S pada kondisi tegangan dinamik yang meningkat. Sedangkan pada rangka tipe 2 nilai *safety factor* terkecil diperoleh sebesar 8.30 dengan material baja AISI 4130 pada kondisi tegangan statik dan dinamik meningkat.

#### 4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil simulasi statik didapatkan bahwa nilai tegangan terbesar terjadi pada kasus pembebanan *standing riding*, Pada rangka 1 dengan jenis material karbon komposit memiliki nilai *Max Normal X Stress* sebesar 90.83 Mpa dan *Max Normal Y Stress* sebesar 18.05 MPa, untuk rangka 2 dengan jenis material yang sama memiliki nilai *Max Normal*

$X$  Stress sebesar 73.56 Mpa dan  $Max$  Normal  $Y$  Stress sebesar 9.59 MPa. Untuk rangka dengan material baja pada rangka 1 memiliki nilai  $Max$  Von Mises Stress sebesar 51.44 MPa dan untuk rangka 2 dengan material yang sama memiliki nilai  $Max$  Von Mises Stress sebesar 39.89 MPa.

2. Berdasarkan analisis kenyamanan yang sudah dilakukan dapat dilihat bahwa untuk rangka 1 dan rangka 2 yang menggunakan material baja nilai kenyamanan pada daerah *handlebar* dan *saddle* mempunyai nilai yang lebih baik dibandingkan dengan rangka yang menggunakan material karbon komposit
3. Berdasarkan perhitungan nilai *safety factor* diketahui bahwa model rangka tipe 1 memiliki karakteristik yang relatif lebih baik dari rangka tipe 2, ditunjukkan oleh perbedaan nilai tegangan maksimum yang cukup signifikan pada kasus pembebanan statis ketiga dan nilai *safety factor* terkecil yang lebih besar dari rangka tipe 2. Sedangkan untuk jenis material diketahui bahwa jenis material Karbon Komposit memiliki nilai *safety factor* yang lebih besar dibandingkan dengan material Baja AISI 4130.

#### Referensi Jurnal:

- [1] S. Kholilah, B. Tristiyono, and H. Susandari, "Desain Sepeda yang Mendukung Aktivitas dan Gaya Hidup Masyarakat Kota Metropolitan dengan Konsep Mudah Dibawa dan Ringan," *J. Sains Dan Seni Its*, vol. 8, no. 2, pp. 307–313, 2019, [Online]. Available: [http://www.ejurnal.its.ac.id/index.php/sains\\_seni/article/view/49681](http://www.ejurnal.its.ac.id/index.php/sains_seni/article/view/49681)
- [2] H. S. Rochardjo and T. Junaidi, *SEMINAR NASIONAL TEKNIK INDUSTRI UNIVERSITAS GADJAH MADA Manufaktur Rangka Sepeda Balap Dari Bahan Serat Karbon Dengan Metode Wrapped On Foam*. 2017.
- [3] J. Gilang Anarkhi Paksi, I. Aditya Cristian, R. Indriansyah, P. Studi Teknik Mesin ITI, J. Raya Puspipetek Serpong, and T. Selatan-Banten, "Perancangan Struktur Road Bike Frame Menggunakan Aluminium 6063 Melalui Proses Optimalisasi Perlakuan Panas," vol. 5, no. 2, 2021.
- [4] Z. Abidin and P. J. Aryadi, "Analisis Struktur Sepeda Lipat IZI ARC 16 dengan menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 21, no. 1, pp. 1–5, 2021.
- [5] J. R. Cormier and G. LaPlante, "Study of the effects of low-velocity impact on a composite bicycle down tube," *Compos. Struct.*, vol. 198, pp. 144–155, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.compstruct.2018.05.007.
- [6] U. Agus Salim, "Rancang Bangun Frame Sepeda Urban Unidirectional Solidification View project Cardiovascular Stent Manufacturing by Die-Sinking EDM View project," Yogyakarta, 2012.
- [7] P. B. S. Bailey and P. R. Wilson, "Investigating the goodman diagram for short-fibre carbon reinforced polypropylene composites," *ICCM Int. Conf. Compos. Mater.*, vol. 2017-Augus, no. August, pp. 20–25, 2017.
- [9] 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.

#### Referensi Buku:

- [8] R. C. JUVINALL, *Fundamentals of Machine Component Design*, Fifth., vol. 18. JOHN WILEY & SONS, INC., 2011. doi: 10.1007/978-94-007-1156-3\_8.
- [10] J. Y. (Jo Y. Wong, *Theory of ground vehicles*. John Wiley, 2001.