

Perancangan Rangka Sepeda Komposit dengan Variasi Motif Karbon menggunakan Metode Elemen Hingga

Anindita Dewanda Kurniawan¹, Eko Yohanes Setyawan², Rosadila Febritasari³

¹ Program Studi Teknik Mesin S1 Institut Teknologi Nasional Malang

Kata kunci

Ansys
Inventor
Metode elemen hingga
Motif karbon
Rangka

ABSTRAK

Sepeda adalah kendaraan yang sangat praktis dan ramah lingkungan, tetapi sepeda memiliki kekurangan yaitu bobot rangka yang berat karena menggunakan material dari logam. Material komposit karbon dapat menjadi solusi untuk mengantisipasi bobot rangka yang berat. Penelitian ini berfokus pada merancang desain sepeda konvensional menggunakan software inventor. Rangka dibuat menggunakan material karbon dengan variasi motif anyaman karbon seperti hexagon, spread tow, dan T300. Nilai properti mekanis dari ketiga material tersebut dicari melalui pengujian tarik dan pengujian geser, yang nantinya nilai tersebut dimasukkan dalam engineering data untuk simulasi struktur statis dengan software ansys untuk memperoleh nilai deformasi total, equivalent stress, dan safety factor. Hasil penelitian menunjukkan rangka sepeda bermaterial komposit karbon motif hexagon memiliki performa struktur terbaik dibanding material lainnya, yang mana ditunjukkan dari nilai deformasi total sebesar 8,3458 mm atau 74,2% lebih rendah dibanding motif spread tow. Deformasi terjadi pada bagian sambungan antara seat tube dan seat stay. Komposit karbon motif hexagon memiliki modulus elastisitas tinggi, sehingga elastisitas material mampu menahan kerusakan rangka akibat beban yang diberikan. Rata-rata equivalent stress juga paling kecil 3,7% dibanding material lainnya. Untuk safety factor, semua material memiliki kriteria keamanan yang sangat baik karena mendapatkan nilai safety factor diatas 1. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa material komposit karbon dengan motif anyaman yang berbeda memberikan perbedaan kekuatan material pada rangka yang sama dan pemberian beban yang sama.

* Corresponding author:

Anindita Dewanda Kurniawan (email: aninditodewanda29@gmail.com)

Diterima: 29 Agustus 2024

Disetujui: 22 September 2024

Dipublikasikan: 31 Oktober 2024

1 Pendahuluan

Dengan adanya kemajuan teknologi, banyak frame sepeda yang menggunakan material komposit serat karbon. Dan Masyarakat mulai tergiur untuk memiliki sepeda dengan frame carbon, alasannya tidak lain karena serat karbon memiliki bobot yang lebih ringan, tahan terhadap korosi, mudah dibentuk, kuat, menyerap getaran, dan memiliki kekuatan tarik yang tinggi. akan tetapi pada beberapa kasus yang terjadi di masyarakat, khususnya pada sepeda dengan frame berbahan komposit serat karbon sering mengalami patah atau pecah ketika sepeda menabrak atau terkena benturan yang keras bahkan saat digunakan pada medan yang ekstrim seperti pada saat menaiki gunung, sedangkan rangka atau frame harus memiliki ketahanan terhadap distorsi yang tinggi karena kerusakan yang terjadi pada rangka tidak boleh ditransmisikan ke tubuh manusia [1] Patahan yang terjadi pada rangka sepeda biasanya terjadi pada bagian sambungan *head tube*. Maka dari itu, harus adanya perbaikan yang dilakukan pada proses pembuatan struktur rangka sepeda khususnya pada material karbon yang digunakan.

Berdasarkan dari permasalahan tersebut, Penulis memberikan solusi yaitu merancang desain sepeda konvensional dengan memvariasikan motif carbon yang nantinya dianalisis menggunakan metode elemen hingga (MEH). Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan rangka sepeda yang memiliki bobot ringan, tahan karat, dan kuat, maka material dipilih menggunakan bahan komposit serat karbon yang memiliki kriteria tersebut. Analisis rangka diperlukan untuk mengetahui kekuatan struktur rangka untuk memastikan bahwa

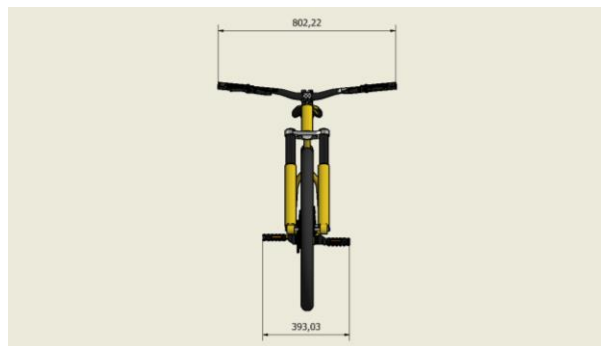
rangka berada pada batas aman [2]. Dari beberapa jenis motif karbon seperti: hexagon, Spread tow, dan, T300 dilakukan pengujian dari masing-masing motif karbon lalu didapatkan pilihan terbaik.

2 Metode Penelitian

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah membuat desain sepeda menggunakan software inventor 2020, berikut adalah proyeksi isometri desain sepeda



Gambar 1.1 Isometri sepeda

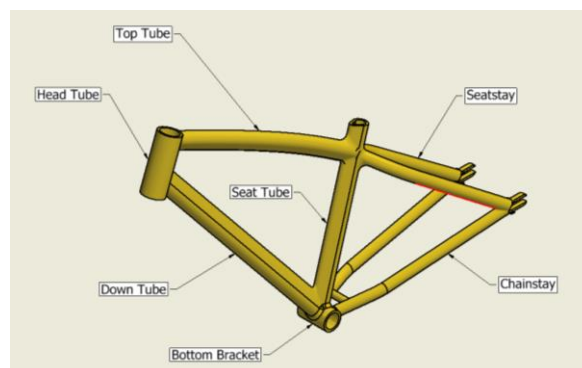


Gambar 1. 2 Sepeda tampak depan



Gambar 1. 3 Sepeda tampak samping

Kemudian didapatkan rangka sepeda dan spesifikasi dengan tampak berikut :



Gambar 1. 4 Desain Rangka

Pada Gambar 1.4 desain rangka dapat diketahui anatomi dari bagian bagian sepeda dan berikut adalah profil pipa dan ketebalan dari masing-masing bagian :

Headtube	: Menggunakan pipa profil bulat dengan ketebalan 10 mm
TopTube	: Menggunakan pipa profil teardrop dengan ketebalan 5 mm
Downtube	: Menggunakan pipa profil teardrop dengan ketebalan 5 mm
Seat tube	: Menggunakan pipa profil teardrop dengan ketebalan 5 mm
Bottom Bracket	: Menggunakan pipa profil bulat dengan ketebalan 10 mm
Chainstay	: Menggunakan pipa profil bulat dengan ketebalan 2,5 mm
Seatstay	: Menggunakan pipa profil bulat dengan ketebalan 2,5 mm

Setelah desain rangka sepeda didapatkan, selanjutnya dilakukan pembuatan spesimen untuk dilakukan pengujian untuk mengetahui nilai properties tensile, young modulus dan modulus shear dari komposit epoxy karbon dengan motif hexagon, spread tow, dan, T300 sebanyak 3 lapis menggunakan metode hand lay-up untuk dimasukkan pada simulasi ansys, maka dilakukan pembuatan spesimen pengujian tarik dan geser.

Berikut adalah bentuk spesimen uji tarik dengan standar ASTM D638 type 3 yang siap untuk dilakukan pengujian tarik :



Gambar spesimen Uji Tarik (dari kanan: *spread tow*, *hexagon*, *T300*)

Dan berikut adalah bentuk spesimen uji geser dengan standar ASTM D5379-98 yang siap untuk dilakukan pengujian tarik :



Gambar spesimen Uji Geser (dari kanan: *spread tow*, *hexagonal*, *T300*)

Setelah spesimen siap, maka selanjutnya dilakukan proses pengujian tarik dan geser. Prinsip pengujian tarik adalah pengujian penarikan spesimen dengan gaya uniaxial (satu sumbu) sehingga spesimen mengalami deformasi atau peningkatan panjang sampai rusak atau putus dan juga dilakukan dengan tujuan mendapatkan nilai tensile dan young modulus material komposit serat karbon dan resin epoxy. Untuk mendapatkan nilai tensile dan young modulus didapatkan dari rumus perhitungan berikut :

$$\text{young modulus}(E) = \frac{\text{tegangan tarik } (\sigma)}{\text{Regangan Tarik}(\epsilon)}$$

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik bahan seperti kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan keuletan. Berikut data hasil pengujian :

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Tarik Motif Hexagon

Spesimen	Area Mm ²	Max Force Mpa	Tensile Stress Mpa	Regangan %	Young's Modulus
1	190	10956	57,66	22,5	256,26
2	190	10452	55,01	16,5	333,39
3	190	10248	53,94	20	269,70
Rata -Rata	190	10552	55,53	19,6	283,31

Tabel 2. Hasil Pengujian Tarik Spread Tow ASTM

Spesimen	Area Mm ²	Max Force Mpa	Tensile Stress Mpa	Regangan %	Young's Modulus
1	190	11495	60,50	27,5	220,00
2	190	10261	54,00	30,5	177,04
3	190	11077	58,30	50	116,60
Rata -Rata	190	10944	57,60	36	160,00

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Tarik T300

Spesimen	Area Mm ²	Max Force Mpa	Tensile Stress Mpa	Regangan %	Young's Modulus
1	190	14476	76,19	23,5	324,21
2	190	17346	91,29	30,5	299,31
3	190	12415	65,34	41	156,92
Rata -Rata	190	14745	77,60	31,6	245,56

Dapat dilihat pada tabel pengujian uji tarik di atas, nilai tensile stress pada motif hexagon mendapatkan nilai rata - rata sebesar 55,53 Mpa, pada motif spread tow mendapat nilai rata – rata sebesar 57,60 Mpa dan pada motif T300 mendapatkan nilai rata – rata sebesar 77,60 Mpa. Dan untuk young modulus, motif hexagon memiliki nilai rata – rata sebesar 283,31 Mpa , motif spread tow mendapatkan nilai rata -rata sebesar 160,00 dan pada motif T300 mendapatkan nilai rata – rata sebesar 245,56 Mpa. Dari hasil pengujian di dapatkan motif T300 mendapatkan hasil tensile stress terbesar di dibandingkan dengan motif spread tow dan hexagon, sedangkan untuk nilai young modulus terbesar didapatkan motif hexagon dibandingkan T300 dan spread tow.

Kemudian pengujian geser dilakukan untuk mengetahui ketahanan geser material yang paling tinggi dalam kondisi tegangan efektif dan pembebanan berkelanjutan, yang memungkinkan terjadinya displacement pada material yang diujikan dan juga dilakukan untuk mengetahui nilai modulus shear pada material serat karbon dan resin epoxy. Untuk mendapatkan nilai shear modulus dapat menggunakan rumus berikut :

$$shear\ modulus(G)=\frac{Tegangan\ Geser\ (\tau)}{Regangan\ Geser\ (\gamma)}$$

Berikut data yang didapatkan :

Tabel 4. Hasil Pengujian Geser Motif Hexagon

Spesimen	Area Mm ²	Max Force Mpa	τ Mpa	Regangan %	Shear Modulus
1	144	4927	34,22	3,5	977,71
2	144	6653	46,20	4,6	1004,34
3	144	6159	42,77	3,7	1155,94
Rata-rata	144	5913	41,06	3,93	1044,78

Tabel 5. Hasil Pengujian Geser Motif Spread Tow

Spesimen	Area Mm ²	Max Force Mpa	τ N/mm ²	Regangan %	Shear Modulus
1	144	7115	49,41	5,6	882,32
2	144	6769	47,00	5,6	839,28
3	144	3961	27,51	7,7	357,27
Rata-rata	144	5948	41,30	6,3	655,50

Tabel 6. Hasil Pengujian Geser Motif T300

Spesimen	Area Mm ²	Max Force Mpa	τ N/mm ²	Regangan %	Shear Modulus
1	144	5628	39,08	6,1	640,65
2	144	6089	42,28	12	352,30
3	144	5196	36,08	6,7	538,50
Rata-rata	144	5637	39,14	8,2	477,31

Dari data hasil pengujian uji geser maka didapatkan nilai rata – rata shear modulus pada motif hexagon memiliki nilai rata – rata sebesar 1044 Mpa, pada motif spread tow mendapatkan nilai rata – rata sebesar 655,50 Mpa dan pada motif T300 mendapatkan nilai rata – rata sebesar 477,31 Mpa. Dari hasil pengujian didapatkan motif hexagon memiliki nilai shear modulus terbesar dibandingkan motif spread tow dan T300.

Jika desain rancangan rangka dan material properties sudah didapatkan maka pada tahap selanjutnya adalah melakukan proses simulasi menggunakan *software ansys workbench*. Pada tahapan awal melakukan proses simulasi menggunakan *software ansys workbench* yaitu mengatur engineering data, kemudian memasukkan geometri gambar yang sudah dibuat, melakukan proses meshing dan memasukkan variabel-variabel yang dibutuhkan untuk simulasi. Berikut tahapan dalam proses pemrograman static structural :

1. Engineering data

Proses engineering data dilakukan pemilihan jenis material yang akan digunakan pada geometri sepeda yang akan disimulasikan. Material yang digunakan adalah material resin epoxy + serat karbon dengan motif spread tow sebanyak 3 layer dengan tensile stress, young modulus dan shear modulus sesuai dengan hasil pengujian yang telah didapatkan.

2. Geometri

Proses geometri berfungsi untuk memasukkan geometri rancangan desain yang telah dibuat sebelumnya dengan menggunakan *software autodesk inventor* yang disimpan dalam bentuk file X_T File (.x_t). Selain itu, pada tahap ini dapat digunakan untuk mengevaluasi apakah rancangan desain telah memenuhi harapan atau tidak dengan memeriksa keadaan geometri dari rancangan yang dimasukkan.

3. Model

Proses model dilakukan untuk proses pengecekan geometri, menentukan material yang akan digunakan simulasi, menentukan koordinat sistem, menentukan connection atau bagian mana saja yang akan diolah, dan kemudian proses meshing geometri rancangan, meshing tersebut dilakukan agar proses simulasi numerik dapat dijalankan pada geometri desain rangka. Pada simulasi kali ini didapatkan proses meshing dengan ukuran mesh sebesar 5 mm

4. Setup

Proses setup berfungsi untuk memberikan bagian mana saja yang dijadikan fixed support dan bagian yang diberikan force dari beban pengendara dan beban komponen sepeda.

- **Pembebanan pengendara :**

Pembebanan menggunakan software ansys untuk simulasi statik struktural dimulai dengan mendistribusikan beban pengendara pada struktur rangka sepeda sesuai dengan ergonomi tubuh pengendara, seperti kepala, leher, lengan, tangan, batang tubuh, paha, betis, dan kaki adalah beberapa bagian dari tubuh pengendara yang dinilai berdasarkan ergonomi.

Tabel 7. Estimasi Setiap Segmen Massa Pada Tubuh Manusia (Kroemer Elbert.1990)

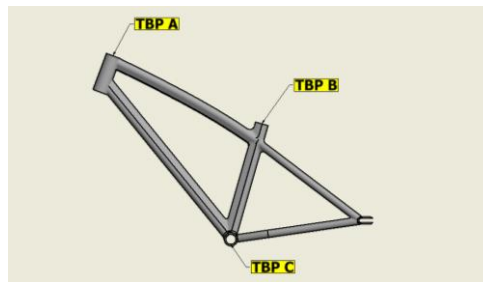
Segment	Empirical equation	Standard error of estimate
Head	$0.0306W + 2.46$	0,43
Head and neck	$0.0534W + 2.33$	0,60
Neck	$0.0146W + 0.60$	0,21
Head, neck dan torso	$0.5940W - 2.20$	2,01
Neck and torso	$0.5582W - 4.26$	1,72
Total arm	$0.0505W + 0.01$	0,35
Upper arm	$0.0274W - 0.01$	0,19
Forearm and hand	$0.0233W - 0.01$	0,20
Forearm	$0.0189W - 0.16$	0,15
Hand	$0.0055W + 0.07$	0,07
Total leg	$0.1582W + 0.05$	1,02
Thigh	$0.1159W - 1.02$	0,71
Shank and foot	$0.0452W + 0.82$	0,41
Shank	$0.0375W + 0.38$	0,33
foot	$0.0069W + 0.47$	0,11

Angka pada tabel ini dapat digunakan untuk menghitung gaya yang digunakan dalam pengujian kekuatan material rangka, seperti yang ditunjukkan oleh tabel yang ditemukan dalam buku tentang fisiologi teknik dasar faktor manusia dalam teknik atau ergonomi [3].

Pembebanan diberikan pada bagian seat, bottom bracket, serta stang. Pembebanan pada seat serta stang diberikan sebab bagian tersebut merupakan tumpuan primer dari bobot pengguna saat menaiki sepeda. pada sisi lain, pembebanan pada bottom bracket diberikan sebab gaya yang terjadi pada pedal akan mempengaruhi tegangan yang dialami oleh frame[4].

Titik berat pengendara (TBP) diklasifikasikan menjadi 3 titik yaitu :

- Titik berat pengendara (TBP) A : Gaya total arm = $(0.0505W + 0.01)$
- Titik berat pengendara (TBP) B : Gaya head, neck and torso = $(0.5940W - 2.20)$
- Titik berat komponen (TBP) C : Gaya total leg = $(0.1582W + 0.05)$



Gambar 1. 5 letak pembebanan komponen sepeda

Untuk simulasi struktur static structural, akan ada tiga titik di mana berat pengendara ($W=100$ kg) akan ditempatkan dan dihitung. berikut perhitungan pada tiap titik pembebanan:

$$F = (W \times \text{Empirical equation}) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

Titik berat pengendara (TBP) A :

$$F_1 = (100 \times 0.0505W + 0.01) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_1 = 49,6386 \text{ N}$$

Titik berat pengendara (TBP) B :

$$F_2 = (100 \times 0.5940W - 2.20) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_2 = 561,132 \text{ N}$$

Titik berat pengendara (TBP) C :

$$F_3 = (100 \times 0.1582W + 0.05) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

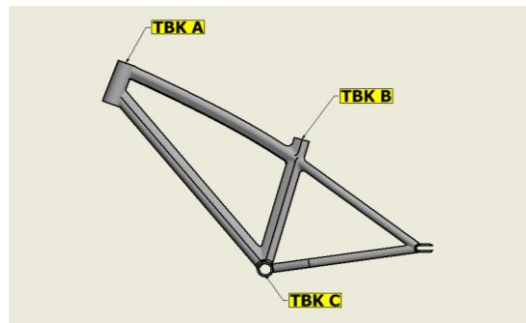
$$F_3 = 155,6847 \text{ N}$$

- Pembebanan komponen sepeda

Tabel 8. berat dan nama komponen sepeda

Part sepeda	Berat	Jumlah	Total berat
<i>Fork</i>	3,45 Kg	1	3,45 Kg
<i>Klem handlebar</i>	0,29 Kg	1	0,29 Kg
<i>Handlebar</i>	0,32 Kg	1	0,32 Kg
<i>Handlebrake</i>	0,18 kg	2	0,36 Kg
<i>Handgrip</i>	0,05 Kg	2	0,10 Kg
<i>Seat post</i>	0,38 Kg	1	0,38 Kg
<i>Cranks</i>	0,73 Kg	1	0,73 Kg
<i>Saddle</i>	0,31 Kg	1	0,31 Kg
<i>Pedal</i>	0,47 Kg	2	0,94 Kg
<i>Axle</i>	0,07 Kg	2	0,14 Kg
Total	6,25 Kg	14	7,02 Kg

berat komponen yang ditopang oleh rangka dan dihitung menggunakan software inventor. Pembebanan dari komponen sepeda akan diberikan kepada 3 titik pada rangka sesuai dengan penempatan posisi komponen diletakkan.



Gambar 1. 6 letak pembebanan komponen sepeda

Titik berat komponen (TBK) diklasifikasikan menjadi 3 titik yaitu :

- A. Titik berat komponen (TBK) A : Handlebar, Handlebrake, Klem handlebar, Handgrip
- B. Titik berat komponen (TBK) B : Seatpost, Saddle
- C. Titik berat komponen (TBK) C : Cranks, Pedal

Gaya titik berat komponen didapatkan dari titik pembebanan komponen sepeda dikalikan dengan gravitasi yaitu sebagai berikut :

$$F = (m_{\text{komponen}}) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

Titik berat komponen (TBK) A :

$$F_1 = (m_{\text{Handlebar}} + m_{\text{Handlebrake}} + m_{\text{Klemhandlebar}} + m_{\text{Handgrip}}) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_1 = (0,32 \text{ Kg} + 0,36 \text{ Kg} + 0,29 \text{ Kg} + 0,10 \text{ Kg}) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_1 = 10,4967 \text{ N}$$

Titik berat komponen (TBK) B :

$$F_2 = (m_{\text{Seatpost}} + m_{\text{Saddle}}) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_2 = (0,38 \text{ Kg} + 0,31 \text{ Kg}) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_2 = 6,7689 \text{ N}$$

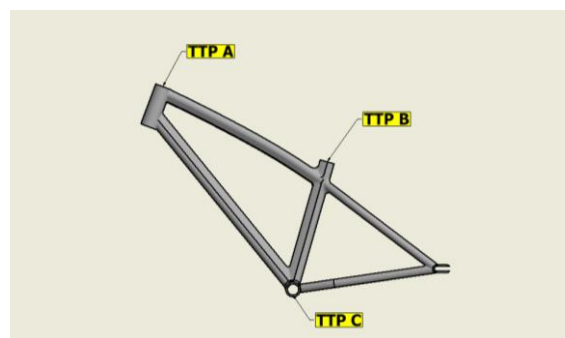
Titik berat komponen (TBK) C :

$$F_3 = (m_{\text{Cranks}} + m_{\text{Pedal}}) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_3 = (0,73 \text{ Kg} + 0,94 \text{ Kg}) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_3 = 16,5789 \text{ N}$$

- Total pembebanan sepeda :



Gambar 1. 7 letak pembebanan total rangka

Berikut perhitungan titik berat pengendara (TBP) ditambah dengan titik berat komponen (TBK) untuk mendapatkan titik Total Pembebanan (TTP) pada rangka:

Titik Total Pembebanan (TTP) A

$$F_1 = \text{TBP A} + \text{TBK A}$$

$$F_1 = 49,6386 \text{ N} + 10,4967 \text{ N}$$

$$F_1 = 60,1353 \text{ N}$$

Titik Total Pembebanan (TTP) B

$$F_2 = \text{TBP B} + \text{TBK B}$$

$$F_2 = 561,132 \text{ N} + 6,7689 \text{ N}$$

$$F_2 = 567,9009 \text{ N}$$

Titik Total Pembebanan (TTP) C

$$F_3 = \text{TBP C} + \text{TBK C}$$

$$F_3 = 155,6847 \text{ N} + 16,5789 \text{ N}$$

$$F_3 = 172,2636 \text{ N}$$

Setelah didapatkan perhitungan pembebanan pada rangka, langkah selanjutnya memberikan *setup fixed support* pada atas *head tube* dan bagian poros as roda belakang dan force akan ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 1. 1 Letak Pembebanan dan nilai Pembebanan

Force	Nilai	Lokasi
F _A	60,135 N	Bagian atas <i>head tube</i>
F _B	567,9 N	Bagian atas <i>seat tube</i>
F _C	172,26 N	Bagian

5. Solution

Proses selanjutnya yaitu memasukkan parameter solusi, yang merupakan bentuk hasil perhitungan yang diinginkan untuk diproses pada simulasi ini. Parameter termasuk: total deformasi yang akan digunakan sebagai nilai displacement, equivalent stress (Von - Mises) sebagai nilai distribusi tegangan, dan safety factor sebagai nilai angka keamanan. Selanjutnya yaitu proses perhitungan numerik simulasi metode elemen hingga dijalankan.

6. Result

Pada proses ini data hasil perhitungan ditampilkan sesuai dengan yang telah diprogram dalam solusi. Data ini terdiri dari geometri dan preview laporan yang dapat diambil sebagai hasil dari perhitungan simulasi pada rancangan rangka.

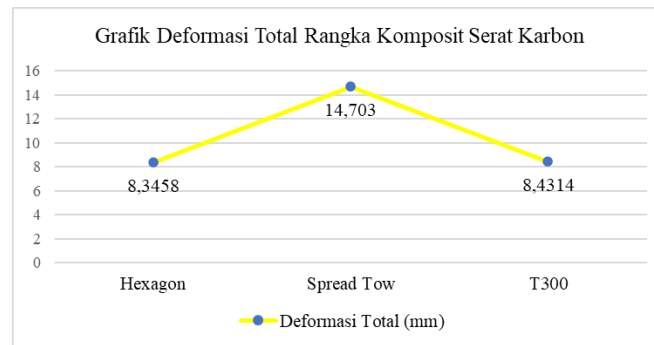
3 Hasil dan Pembahasan

Berikut data yang dihasilkan dari proses simulasi ansys rangka sepeda variasi motif karbon hexagon, spread tow, dan T300 :

A. Deformasi total

	Deformasi total		
	Motif hexagon	Motif spread tow	Motif T300
Maks	8,3458	14,703	8,4314
Min	0	0	0
Rata-rata	4,4748	7,887	4,609

Dari data tabel berikut maka didapatkan perbandingan pada grafik deformasi total berikut :



Grafik Deformasi Total

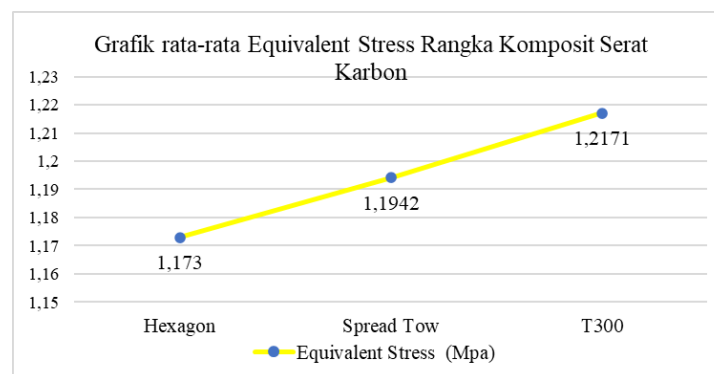
Pada Grafik Deformasi Total didapatkan nilai maksimal deformasi total pada rangka berbahan karbon motif *hexagon* sebesar 8,3458 mm, motif *spread tow* menunjukkan nilai maksimal deformasi total sebesar 14,703 mm dan motif *T300* menunjukkan nilai maksimal deformasi total sebesar 8,4314 mm. Nilai maksimal deformasi seluruh motif terletak pada bagian sambungan antara *seat tube* dan *seat stay* rangka sepeda. Dari grafik simulasi ini diperoleh nilai terkecil deformasi total pada motif *hexagon* dengan selisih 74,2% lebih kecil dibanding motif *spread tow* dan 1,01% pada motif *T300*. Perbedaan nilai ini dikarenakan pengaruh nilai elastisitas pada material, dimana *hexagon* memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 283,31 Mpa sedangkan *spread tow* memiliki nilai 160 Mpa dan 245,31 pada *T300*. Maka dapat disimpulkan bahwa material dengan modulus elastisitas yang tinggi cenderung mengalami deformasi lebih kecil.

B. Equivalent Stress

Tabel 9. Equivalent Stress (Von - Mises)

	Motif <i>hexagon</i>	Motif <i>spread tow</i>	Motif <i>T300</i>
Maks	12,209	12,497	12,337
Min	4,3987e-010	3,2274e-010	2,3657e-010
Rata-rata	1,173	1,1942	1,2171

Dari data tabel berikut maka didapatkan perbandingan pada grafik *equivalent stress* berikut :



Gambar 4.1 Grafik rata-rata Equivalent Stress

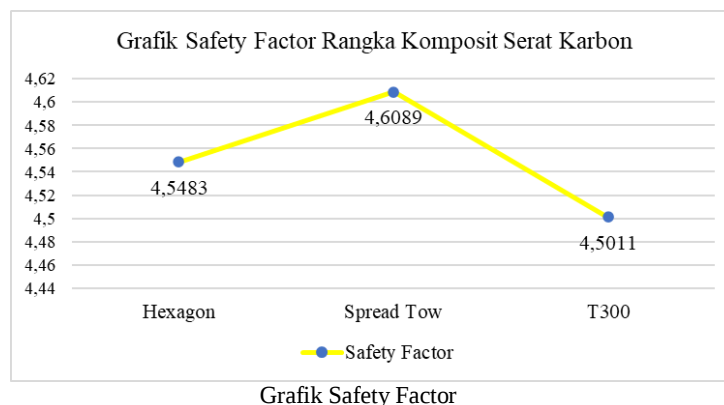
Pada grafik didapatkan nilai rata-rata *equivalent stress* pada rangka berbahan karbon motif *hexagon* sebesar 1,173 Mpa, Pada motif *spread tow* menunjukkan nilai rata-rata *equivalent stress* sebesar 1,1942 Mpa dan pada motif *T300* menunjukkan nilai rata-rata *equivalent stress* sebesar 1,2171 Mpa. Nilai maksimal *equivalent stress* seluruh motif terletak pada bagian sambungan antara *bottom bracket* dengan *chainstay* rangka sepeda. Maka diperoleh nilai rata-rata terkecil *equivalent stress* motif *hexagon* sebesar 3,7% lebih kecil dibanding dengan nilai terbesar pada motif *T300*. Motif *Hexagon* menunjukkan nilai *equivalent stress* rata-rata terendah, yang mengindikasikan distribusi tegangan yang lebih baik sedangkan Motif *T300* memiliki nilai *equivalent stress* rata-rata tertinggi, menunjukkan bahwa motif ini mungkin kurang efektif dalam mendistribusikan tegangan dibandingkan dua motif lainnya.

C. Safety Factor

Tabel 10. Safety Factor

	<i>Motif hexagon</i>	<i>Motif spread tow</i>	<i>Motif T300</i>
Maks	15	15	15
Min	4,5483	4,6089	4,5011
Rata-rata	14,94	14,941	14,941

Dari data tabel berikut maka didapatkan perbandingan pada grafik *equivalent stress* berikut :



Pada Grafik *Safety Factor*, didapatkan nilai maksimal *safety factor* pada material karbon motif *hexagon* sebesar 15 sedangkan nilai minimal sebesar 4,5483, nilai maksimal *safety factor* motif *spread tow* sebesar 15 sedangkan nilai minimal sebesar 4,6089 dan nilai maksimal *safety factor* motif *T300* sebesar 15 sedangkan nilai minimal sebesar 4,5011. nilai minimal *safety factor* seluruh motif terletak pada sambungan antara bagian *bottom bracket* dengan *chainstay*. Dari grafik simulasi ini diperoleh nilai minimal *safety factor* yang menunjukkan titik terlemah pada struktur untuk masing-masing motif. Nilai *spread tow* memiliki selisih lebih besar 1,3% dibanding *hexagon* dan 2,3% pada *T300*. Meskipun *spread tow* menunjukkan performa sedikit lebih baik, Perbedaan pada tiap motif relatif kecil akan tetapi semua motif memiliki *safety factor* minimal diatas 4,5 yang dianggap sangat aman.

4 Kesimpulan

Hasil pengujian struktur statis pada sepeda rangka karbon hexagon, spread tow, dan T300 sebanyak 3 lapis. Dengan total beban pengendara ditambah total beban komponen sepeda menghasilkan gaya total sebesar 800,2998 Newton. Dari hasil penelitian didapatkan motif karbon terbaik untuk rangka sepeda menggunakan motif hexagon, dikarenakan pada motif hexagon ini memiliki nilai 62 deformasi terkecil dibandingkan dengan motif spread tow dan motif T300 yang disebabkan oleh pengaruh elastisitas karbon, dimana semakin kaku atau semakin besar modulus elastisitas suatu material maka deformasi total semakin kecil, sedangkan untuk nilai *equivalent stress*, motif hexagon memiliki nilai rata-rata terkecil dibandingkan motif spread tow dan T300. Hal ini membuktikan bahwa semakin kuat material maka akan semakin kecil nilai rata-rata *equivalent stress*. Untuk *safety factor*, semua material memiliki kriteria keamanan yang sangat baik karena mendapatkan nilai *safety factor* diatas 1.

5 Referensi

- [1] Balaguru, S., Elango Natarajan, S. Ramesh, and B. Muthuvijayan. 2019. Analisis Struktural Dan Modal Rangka Skuter Untuk Desain Peningkatan. 16:1106– 16.
- [2] A. H. Soesilo, Fadelan, and W. T. Putra. 2020. Perancangan dan Analisis Car Body Lokomotif dengan Metode Elemen Hingga. pp. 8–18.
- [3] Kroemer, Karl H. E., Hiltrud J. Kroemer, and Katrin E. Kroemer-Elbert. 2010. Engineering Physiology.
- [4] Berli Paripurna Kamiela, Ghozi Adib Nugraha, Sunardi. 2018. Perancangan Dan Analisis Kekuatan Frame Sepeda Lipat Menggunakan Autodesk Inventor.