



Pengaruh Konfigurasi Orientasi Serat 0^0 Dan 45^0 Karbon/Epoksi (*Woven*) terhadap Karakterisasi Mekanik *Drive Shaft*

Firman Alhaffis¹, Rahmat Fajrul²

¹Politeknik Negeri Bengkalis, Jurusan Teknik Mesin, email : firman.alhaffis@polbeng.ac.id,

²Politeknik Negeri Bengkalis, Jurusan Teknik Mesin, email : rahmatfajrul@polbeng.ac.id

[1] Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari material serat karbon TC35-12K tipe woven dipadukan dengan resin epoksi sebagai matrik. Orientasi serat yang diterapkan adalah 0^0 dan 45^0 pada masing-masing layer dan menemukan susunan layer yang paling optimal. Metode dalam penelitian ini yaitu dengan simulasi matematis dan komputasi menggunakan software finite element Analysis (FEA). Hasil dari penelitian menemukan bahwa orientasi serat 45^0 serat karbon serat karbon TC35-12K/epoksi woven memiliki kemampuan sangat baik terhadap torsi dengan nilai total deformation 1,38 mm apabila diberikan torsi 120 N.m. Selain itu orientasi serat 0^0 memiliki kemampuan lebih baik terhadap beban tarik dan bending. Orientasi serat 0^0 juga meningkatkan nilai natural frequency 151,65 Hz karena kekakuan menjadi lebih baik. Konfigurasi orientasi serat dan urutan susunan layer optimal adalah 45/45/0/0 yang mampu terhadap torsi, tarik, bending, dan putaran kritis. Putaran kritis berdampak pada punca getaran, semakin tinggi angka putaran kritis akan lebih baik. Konfigurasi yang dipilih mampu hingga putaran 9000 rpm. **Kata kunci:** drive shaft, serat karbon, orientasi serat, frekuensi pribadi.

[2] Abstract

This study aims to determine the characteristics of the woven type TC35-12K carbon fiber material combined with epoxy resin as a matrix. The fiber orientation applied was 0^0 and 45^0 on each layer and found the most optimal layer arrangement. The method in this research is a mathematical and computational simulation using finite element analysis (FEA) software. The results of the study found that the orientation of 45^0 carbon fibers TC35-12K carbon fiber/epoxy woven has an excellent ability to torsion with a total deformation value of 1.38 mm when given a torque of 120 N.m. furthers fiber orientation 0^0 has a better ability to tensile and bending loads. The fiber orientation of 0^0 also increases the natural frequency value of 151.65 Hz because the stiffness becomes better. The optimum fiber orientation configuration and layer arrangement order are 45/45/0/0 which is capable of critical speed, tensile, and bending. The critical speed has an impact on the vibration, if the higher critical speed is a better. The selected configuration is capable to 9000 rpm of rotation.

Keywords: drive shaft, carbon fiber, winding angle, natural frequency.

1. Pendahuluan

Drive shaft umumnya menggunakan material baja dengan bobot yang berat dan mudah terkorosi. Massa dijadikan tolak ukur kelembaman benda (inersia). Jika massa benda besar, maka benda sukar dipercepat atau sukar dirubah gerakannya, sebaliknya jika massa benda kecil, maka benda mudah dipercepat atau mudah dirubah gerakannya. Penelitian sebelumnya bertujuan untuk meminimalisir kelembaman dari baja. dengan alternatif material alumunium, namun *drive shaft* alumunium tidak mampu terhadap beban kejut yang terlalu besar. Lee dkk [1], meneliti paduan *hybrid* dengan mengkombinasikan serat karbon, serat kaca dan aluminium sebagai lapisan terluar. Hasil uji kemampuan torsi dari kombinasi tiga elemen tersebut yaitu kekuatan yang lebih baik, dan kemampuan torsi mencapai 4320 N.m.

Untuk mengetahui rasio pembebanan komponen dari material serat komposit maka perlu dipertimbangkan beberapa parameter seperti orientasi arah serat, urutan susunan *layer* dan ketebalan *layer*, Cherniaev dan Komarov [2]. Penelitian Abu Thalib dkk [3], melakukan kombinasi dan menggabungkan beberapa *layer* serat kaca dan serat karbon dalam matrik epoksi. Konfigurasi konsep terdiri dari empat *layer*, urutan susunan *layer* yaitu satu *layer* serat karbon dan tiga *layer* serat kaca dalam matrik epoksi. Hasil penelitian menyatakan bahwa konfigurasi arah serat yang tidak optimal berdampak buruk yaitu kehilangan frekuensi pribadi dan berkurangnya *buckling strength*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari material serat karbon TC35-12K tipe *woven*. Orientasi serat yang diterapkan adalah 0^0 dan 45^0 pada masing-masing *layer* dan menemukan susunan *layer* yang dikombinasikan untuk hasil susunan *layer* yang paling optimal. Penentuan parameter material komposit menggunakan simulasi FEA (*finite element analysis*). Hasil simulasi yang diperoleh digunakan sebagai rekomendasi untuk menghindari jumlah *layer* yang berlebihan yang berpengaruh pada biaya manufaktur.

2. Metode Penelitian

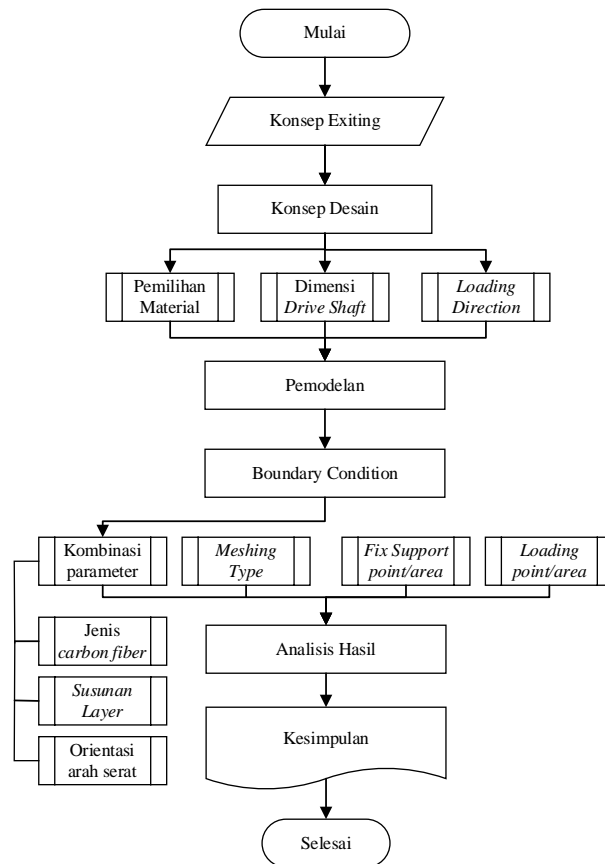
Agar penelitian mencapai tujuan dari penelitian maka perlu disusun diagram alir. Diagram alir penelitian *drive shaft* serat karbon/epoksi dapat dilihat pada gambar 1.

2.1. Objek Penelitian

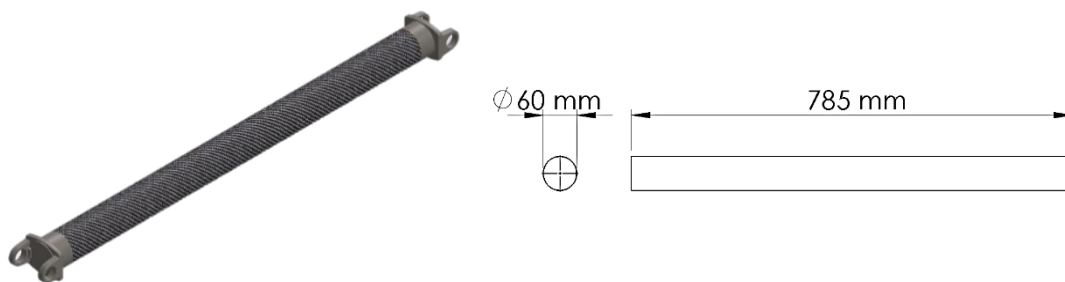
Penelitian dilakukan pada kendaraan 1300cc dengan torsi 120 N.m penggerak roda belakang (*rear wheel drive*). Kendaraan menggunakan *drive shaft* baja SM45C. Spesifikasi kendaraan tertera dalam tabel 1:

Tabel 1 Spesifikasi kendaraan penggerak roda belakang.

SPESIFIKASI KENDARAAN	
Tipe Mesin	4 Cylinder, 16 valve
Daya maksimum (HP/rpm)	96,5/6.000
Torsi maksimum (N.m/rpm)	120/4200
Panjang <i>drive shaft</i> (mm)	785
Diameter luar <i>drive shaft</i> (mm)	60



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

Gambar 2. Model dan geometri *drive shaft* serat karbon/epoksi.

2.2. Material Penelitian

Material komposit yang digunakan adalah serat karbon TC35-12K woven dan resin epoksi sebagai matrik. Berikut pada Tabel 2 dan Tabel 3 menampilkan *properties* dari masing-masing unsur yang akan dipadukan dalam satu laminasi:

Tabel 2 Serat karbon TC35-12K *properties*.

<i>Mechanical properties</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
<i>Modulus young serat karbon (E_f)</i>	240	GPa
<i>Shear modulus (G_f)</i>	96,77	GPa
<i>Poisson ratio (ν_f)</i>	0,240	-
<i>Density (ρ)</i>	1,79	g/cm ³

Sumber: *Technical Fabrics Handbook*, 2010Tabel 3 Epoksi resin *properties*.

<i>Mechanical properties</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
<i>Modulus young matriks epoksi (E_m)</i>	3,78	GPa
<i>Shear modulus (G_m)</i>	1,4	GPa
<i>Poisson ratio (ν_m)</i>	0,35	-
<i>Density (ρ)</i>	1,16	g/cm ³

Sumber: *Technical Fabrics Handbook*, 2010

2.3. Boundary condition

Menentukan *modulus young* komposit serat karbon TC35-12K dan resin epoksi pada arah serat x (E_x), arah y (E_y) dan z (E_z). maka persamaan E_x dan E_y adalah sama:

$$E_x = E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m = 112,33 \text{ GPa}$$

Serat yang digunakan *woven*, maka kekuatan arah x dan y adalah sama:

$$E_x = E_y$$

$$E_y = E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m = 112,33 \text{ GPa}$$

Menentukan *modulus young* arah z (E_z):

$$E_z = \frac{E_f \cdot E_m}{V_f \cdot E_m + V_m \cdot E_f} = 6,79 \text{ GPa}$$

Menentukan *ultimate strength* pada *drive shaft* serat karbon TC35-12K/epoksi:

$$E = \frac{\sigma_t}{\varepsilon_t} \approx \sigma_t = E \cdot \varepsilon_t = 1820 \text{ MPa}$$

Menentukan modulus geser (G_{xy}) pada matriks komposit serat karbon TC35-12K/epoksi:

$$G_{xy} = \frac{G_f \cdot G_m}{V_f \cdot G_m + V_m \cdot G_f} = 2,52 \text{ GPa}$$

Poisson ratio (v_{12}) merupakan konstanta elastisitas yang dimiliki setiap material atau perbandingan antara regangan *transversal* terhadap regangan *longitudinal* saat mengalami tegangan.

$$v_{12} = V_f \cdot v_f + V_m \cdot v_m = 0,3$$

Density atau massa jenis (ρ) adalah suatu besaran kerapatan massa benda yang dinyatakan dalam berat benda per satuan volume.

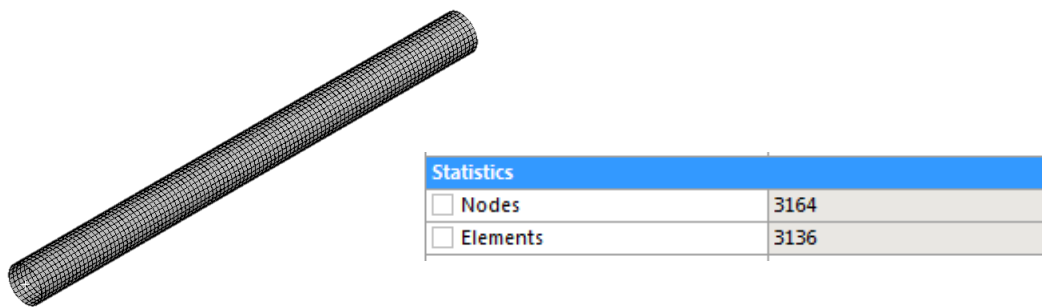
$$\rho_c = \rho_f \cdot v_f + \rho_m \cdot v_m = 1450 \text{ kg/m}^3$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan maka didapat nilai *properties* serat karbon TC35-12K/epoksi *woven* yang akan diinput ke *software finite element analysis* seperti yang tertera pada tabel 4.

Tabel 4 Input *FEA* serat karbon TC35-12K/epoksi *woven*.

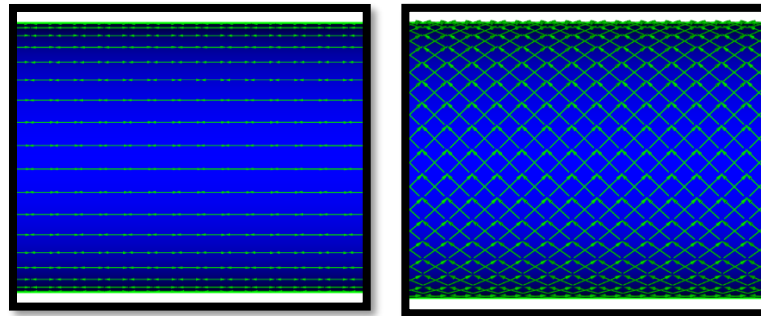
<i>Mechanical properties</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
Density	1450	Kg/m ³
Young's Modulus X Direction	112,3	GPa
Young's Modulus Y Direction	112,3	GPa
Young's Modulus Z Direction	6,8	GPa
Poisson's Ratio XY	0,3	
Poisson's Ratio YZ	0,3	
Poisson's Ratio XZ	0,3	
Shear Modulus XY	17500	MPa
Shear Modulus YZ	2520	MPa
Shear Modulus XZ	2520	MPa

Meshing merupakan proses pembagian objek menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. *Mashing size* yang digunakan pada simulasi ini adalah 7 mm², menghasilkan jumlah *element* sebanyak 3136 dan *node* 3164.



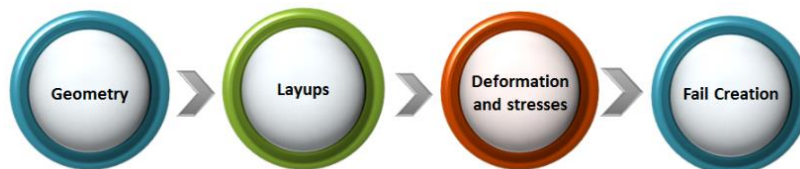
Gambar 3. *Meshing size, node dan element pada drive shaft.*

Serat karbon memiliki kekuatan yang baik jika arah serat sama dengan arah pembebanan. Pada penelitian ini diterapkan orientasi serat 0^0 dan 45^0 seperti yang ditampilkan Gambar 4. Disebutkan bahwa komposit merupakan *orthophic* atau anisotropik material yaitu kekuatan komposit sangat dipengaruhi oleh orientasi serat dan fraksi *volume*, Cherniaev dan Komarov [2].



Gambar 4. Orientasi arah serat 0^0 dan 45^0 yang akan diterapkan pada *drive shaft*.

Pada Gambar 5 terdapat *Geometry* merupakan tahap pemodelan desain mengacu desain sebenarnya dari baja SM45C. *Acp (Pre)* merupakan input data jenis serat karbon, jumlah *layer*, urutan susunan *layer* dan orientasi arah serat. *Static structural* melakukan perhitungan sesuai *boundary* dan *loading*. *Acp (Post)* menganalisis kegagalan dan kerusakan antar *layer* dari struktur, Cherniaev dan Komarov [2].

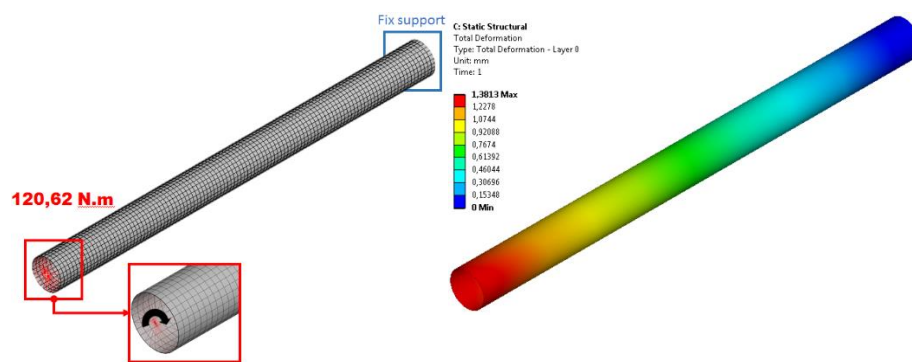


Gambar 5. Skema proses simulasi FEA ACP *PrePost*.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Pengaruh Torsi Terhadap Terhadap Orientasi Serat

Karakteristik *drive shaft* serat karbon/epoksi dapat diketahui ketika struktur diberikan beban. Tujuan pemodelan untuk mengetahui nilai *equivalent stress* dan *total deformation* ketika diberikan beban torsi sebesar 120 N.m. *Equivalent stress* merupakan nilai tegangan yang terjadi pada seluruh bidang *drive shaft* akibat torsi yang diberikan. *Total deformation* adalah nilai perubahan bentuk atau defleksi ketika beban diberikan. Gambar 6 Menunjukkan torsi diberikan pada *drive shaft* serat karbon/epoksi untuk mengetahui nilai *total deformation* dan *equivalent stress*. Ujung *drive shaft* di *fix support* sedangkan sisi ujung lainnya diberikan torsi(*moment*) 120 N.m.



Gambar 6. *Drive shaft* ketika ditorsi 120 N.m.

Dari Tabel 5 diketahui bahwa pada orientasi serat 0° dan 90° diperoleh nilai *total deformation* terbesar 2,15 mm terhadap beban torsi. Maka dapat diketahui bahwa nilai yang lebih kecil lebih baik dalam menyerap beban pada orientasi serat 45° dengan besar deformasi yang terjadi yaitu 1,38 mm. Maka dapat disimpulkan orientasi serat 45° bahwa baik dalam menerima beban puntir.

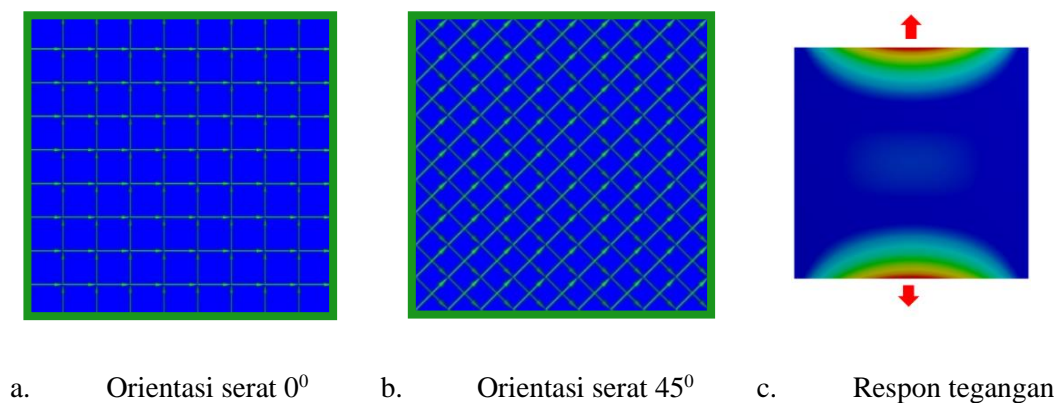
Tabel 5 Perbandingan orientasi serat.

No	Number of layer	Winding angle ($^\circ$)	Total Deformation (mm)	Equivalent Stress (MPa)
1	1	0	2,15	89,25
2	1	5	2,12	88,58
3	1	10	2,06	88,17
4	1	15	1,96	87,50
5	1	20	1,84	86,69
6	1	25	1,71	85,82
7	1	30	1,58	85,01
8	1	35	1,48	84,58

9	1	40	1,41	84,27
10	1	45	1,38	84,18
11	1	50	1,41	84,38
12	1	55	1,48	84,75
13	1	60	1,58	85,40
14	1	65	1,71	86,25
15	1	70	1,84	87,21
16	1	75	1,96	88,15
17	1	80	2,06	88,96
18	1	85	2,12	89,53
19	1	90	2,15	89,78

3.2. Pengaruh Orientasi Serat terhadap Gaya Tarik

Model yang disimulasi berukuran 20x20 cm dengan jumlah 1 *layer*. Masing-masing ujung *layer* diberikan gaya tarik sebesar 60 N dengan arah gaya tarik saling berlawanan seperti yang ditampilkan Gambar 7.



Gambar 7. Karakteristik orientasi serat terhadap gaya tarik.

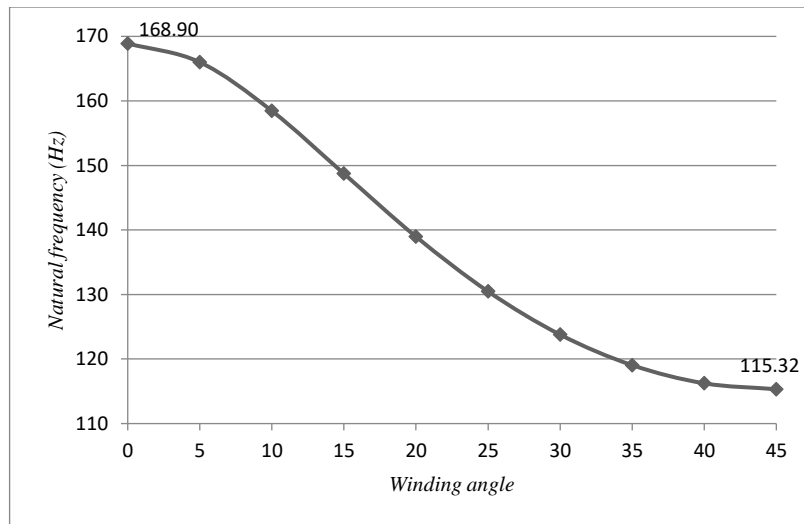
Hasil simulasi gaya tarik ditampilkan pada tabel Tabel 6 Dinyatakan bahwa orientasi serat 0° lebih baik dalam menyerap beban tarik jika dibandingkan orientasi serat 45°.

Tabel 6 Hasil perbandingan orientasi serat terhadap gaya tarik pada *layer*.

<i>Winding Angle</i>	<i>Equivalent stress</i>	<i>Total Deformation</i>
0°	1,20 MPa	0,07 mm
45°	1,51 MPa	0,16 mm

3.3. Natural Frequency terhadap Orientasi Serat

Pada dasarnya setiap struktur memiliki *natural frequency* (frekuensi pribadi), yaitu jika suatu struktur mengalami gangguan (*resonance*) pada frekuensinya maka material tersebut akan terjadi defleksi dan akan menghasilkan getaran. Rancangan *natural frequency* (f_n) dipengaruhi oleh massa dan kekakuan. Simulasi *modal analysis* untuk mengetahui pada frekuensi berapa *drive shaft* serat karbon/epoksi terjadi *resonance* yang berakibat getaran.



Gambar 8. *Natural Frequency* terhadap orientasi serat.

Dari hasil simulasi orientasi serat terbaik adalah 0° . Ditampilkan pada Gambar 8 bahwa orientasi serat 0° menghasilkan *natural frequency* 168,90 Hz. 1 Hz setara dengan 60 RPM maka poros akan mengalami getaran pada 10.134 RPM. Orientasi serat 0° memiliki tulangan yang meningkatkan kekakuan sehingga *drive shaft* mampu pada putaran yang lebih tinggi.

Konsep frekuensi ini secara langsung berkaitan dengan *torsional stiffness* (K), di mana θ adalah *angle of twist* dan T adalah torsi yang diterapkan pada *drive shaft*. Maka dapat diketahui deformasi ketika dipuntir 120 N adalah:

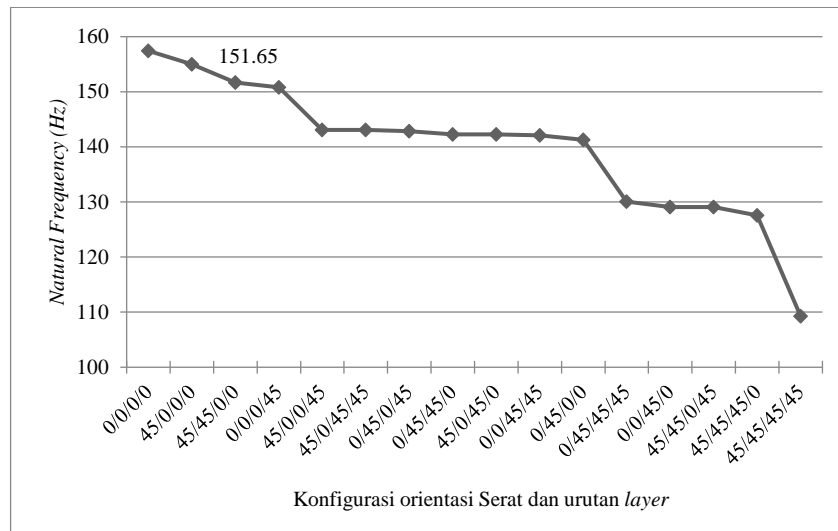
$$\theta = \frac{TL}{2\pi r_m^3 G t} = 3,9^\circ$$

Dari hasil kalkulasi, maka dapat diketahui *Critical buckling* (T_{cr}) yang dimiliki *drive shaft* serat karbon matrik epoksi adalah:

$$T_{cr} = (2\pi r^2 t)(0,272)[E_x \cdot E_h^3]^{1/4} \left(\frac{t}{r}\right)^{3/2} = 879 \text{ N.m}$$

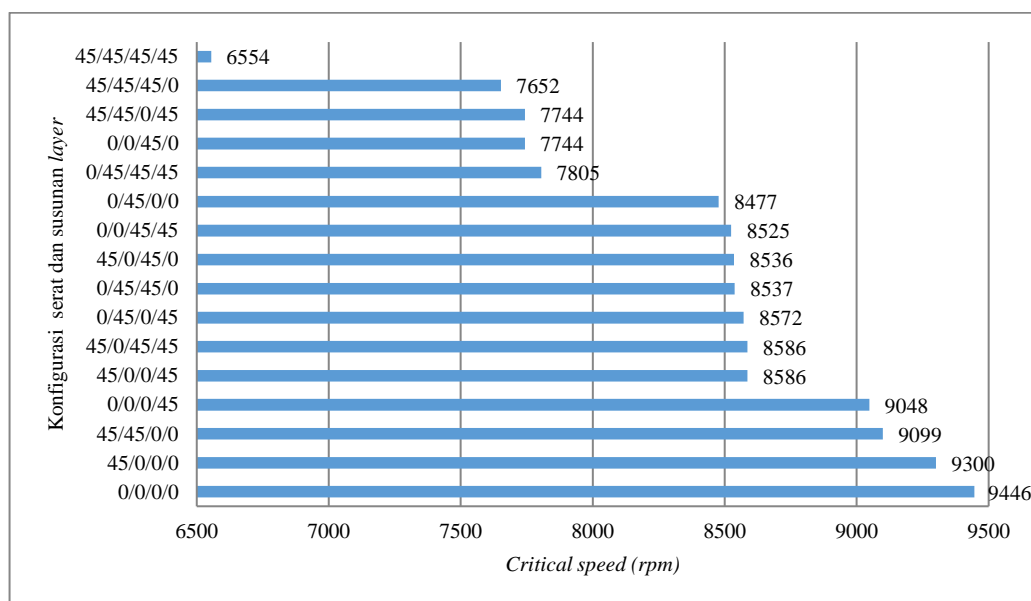
3.4. Konfigurasi Serat dan Susunan Layer Terhadap Natural Frequency

Natural frequency drive shaft memiliki kekakuan yang baik pada orientasi serat 0^0 , kondisi ini akan dikombinasikan dengan 45^0 yang memiliki karakteristik torsi yang sangat baik. Pada *drive shaft* yang harus memiliki kemampuan torsi, tarik, *bending* dan mampu berputar seimbang pada putaran tinggi.



Gambar 9 Pengaruh konfigurasi susunan layer terhadap *natural frequency*.

Pada Gambar 9 orientasi serat dan susunan layer 0/0/0/0, memiliki *natural frequency* tertinggi yaitu 157,43 Hz. Kondisi ini belum yang terbaik karena tidak memenuhi kebutuhan torsi. Berdasarkan pernyataan tersebut maka *natural frequency* untuk konfigurasi susunan layer dan orientasi serat adalah 45/45/0/0 memperoleh *natural frequency* 151,65 Hz. Nilai *natural frequency* serat karbon jauh lebih baik jika dibanding *drive shaft* baja SM45C yaitu 93,40 Hz.



Gambar 10. Konfigurasi serat dan susunan layer terhadap *critical speed*.

Critical speed (putaran kritis) terjadi pada struktur yang prinsip kerjanya berputar. Pada rancangan *drive shaft* serat karbon/epoksi perlu diketahui berapa besar putaran maksimum. *Critical speed* sangat terkait dengan *natural frequency*, semakin tinggi *natural frequency drive shaft* maka kemampuan *drive shaft* terhadap putaran kritis semakin baik ditunjukkan Gambar 10.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada *drive shaft* serat karbon/epoksi, maka karakteristik serat karbon 0° dan 45° dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Orientasi serat 45° serat karbon TC35-12K/epoksi *woven* memiliki kemampuan sangat baik terhadap torsi.
2. Orientasi serat 0° lebih baik terhadap beban tarik dan *bending* jika dibandingkan orientasi serat lainnya.
3. Kekakuan meningkat apabila orientasi serat 0° diterapkan, maka otomatis nilai *natural frequency* juga akan meningkat.
4. Konfigurasi orientasi serat dan urutan susunan *layer* optimal yang mampu terhadap torsi, tarik, bending, dan putaran kritis. Konfigurasi terdiri dari 4 *layer* dengan urutan susunan orientasi serat 45/45/0/0.
5. Putaran kritis berdampak pada punca getaran. untuk konfigurasi orientasi serat dan susunan *layer* 45/45/0/0 ditemukan *drive shaft* mampu bekerja pada putaran 9000 rpm.

Daftar Pustaka

- [1] Lee, D. G., Kim, H. S., Kim, J. W., & Kim, J. K. (2004). Design and manufacture of an automotive hybrid aluminum/composite drive shaft.
- [2] Cherniaev, A., & Komarov, V. (2015). Multistep optimization of composite drive shaft subject to strength, buckling, vibration and manufacturing constraints. *Applied Composite Materials*.
- [3] Talib, A. A., Ali, A., Badie, M. A., Lah, N. A. C., & Golestaneh, A. F. (2010). Developing a hybrid, carbon/glass fiber-reinforced, epoxy composite automotive drive shaft. *Materials & Design*.
- [4] Rastogi, N. (2004). Design of composite driveshafts for automotive applications (No. 2004-01-0485). SAE Technical Paper.
- [5] Chawla, K. K. (2012). *Composite materials: science and engineering*. Springer Science & Business Media.
- [6] Hillier, V. A. W., & Coombes, P. (2004). *Hillier's fundamentals of motor vehicle technology*. Nelson Thornes.