

## **Pengaruh Orientasi Arah Serat Karbon/Epoksi Terhadap Kemampuan Torsi *Driveshaft* Komposit**

Firman Alhaffis<sup>1</sup>, Rika Rahmani<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bengkalis

Email: firman.alhaffis@polbeng.ac.id<sup>1</sup>, rikarahmani@polbeng.ac.id<sup>2</sup>

### **Abstract**

*For optimal torque the transmission to differential required lighter of driveshaft, this aims to minimize the losses of powers. The previous studies, fourteen layers of carbon fiber/epoxy were needed to produce a driveshaft capable of torque from a vehicle with an engine capacity of 1300 cc. the efficiency of fuel use will be more optimal if the driveshaft has a lighter weight. this research was conducted to find the best orientation winding angle of carbon fiber direction, layer stacked and the number of layers. In this study is using the composite carbon fiber/epoxy as a drive shafts for rear-wheel drive vehicle with engine capacity is 1.300 cc has maximum 120 N.m is torque. The length is 785 and is 60 mm diameter were taken from reference SM45C steel drive shaft. The design is using by finite element analysis (FEA) simulation method. Furthermore, the manufacturing process of specimen composite drive shaft to according simulation results recommendations. Configuration of winding angle and stacking sequence is found the best is 45/45/0/0. The winding angle 45<sup>0</sup> has a good torque characteristic. The winding angle 45<sup>0</sup> are arranged on the hoop of drive shaft, because the stress is greatest torque occurs on outer side. The winding angle 0<sup>0</sup> have a better ability on tensile and bending conditions. The use of drive shaft composite carbon fiber/epoxy can reduce weight to 88%.*

*Key Words: Carbon Fiber/epoxy, Drive Shaft, Winding Angle, Stiffness.*

### **1. PENDAHULUAN**

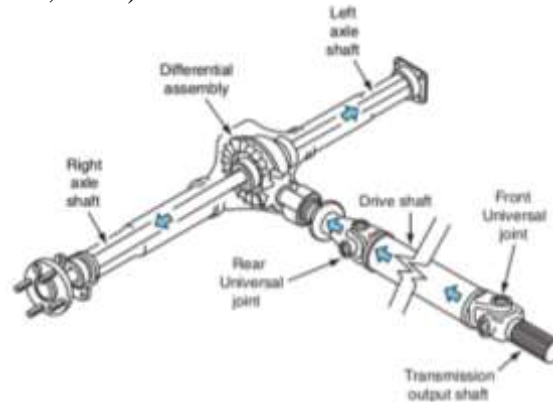
Kendaraan penggerak roda belakang membutuhkan *drive shaft* (poros gardan) untuk menyalurkan torsi dari transmisi ke *differensial*. *Drive shaft* baja memiliki bobot yang berat dan mudah terkorosi. Alumunium mampu meminimalisir bobot dan korosi, namun material alumunium tidak mampu menerima beban kejut yang besar. Paduan *hybrid* yang dikombinasi serat karbon, serat kaca dan alumunium sebagai lapisan terluar. Kombinasi material tersebut memiliki kemampuan torsi 4320 N.m (Lee dkk, 2004).

Saat ini penggunaan material konvensional (baja) mulai dikurangi dan diganti ke penggunaan material komposit. Pada kendaraan roda empat, sudah banyak mengadopsi komposit sebagai komponen kendaraan seperti *bumper*, *velg* dan aksesoris lainnya. Keistimewaan komposit yaitu mampu mereduksi bobot *drive shaft*, selain itu memiliki sifat mekanik yang sangat baik. Komposit sudah digunakan sebagai *blade* pada rotor helikopter, sayap pesawat terbang dan sebagai struktur jembatan dibidang teknik sipil (Bhajantri dkk, 2014).

Penggunaan struktur komposit untuk menggantikan struktur konvensional menghasilkan banyak keuntungan. Keuntungan diperoleh dari kombinasi *winding angle* (orientasi serat), jumlah *layer* (lapisan) serta *stacking sequence* (susunan *layer*). Konfigurasi ketiga faktor tersebut dapat mempengaruhi kekuatan *drive shaft*, nilai getaran dan bobot yang lebih ringan (Mutasher, 2009).

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

*Drive shaft* merupakan komponen yang berbentuk silinder berfungsi sebagai transmisi daya dari transmisi menuju diferensial. Pada kendaraan roda empat, roda belakang kendaraan sering mengalami beban dinamik yang diakibatkan oleh kondisi jalan yang tidak selalu datar. Kondisi ini memberikan efek terhadap *drive shaft* yaitu perubahan jarak antara transmisi dan diferensial. Teknologi terakhir yang digunakan adalah sambungan dua buah *drive shaft* yang dihubungkan dengan *universal joint*, (Hilier, 2004).



Gambar 1. Sistem transmisi penggerak roda belakang.  
(Sumber: Hilier, 2004)

### 2.1. Serat (*fiber*)

Serat adalah konstituen utama dalam komposit, serat merupakan sebagai penguat (*reinforcement*) pada suatu laminasi. Sebagian besar penguat dari laminasi komposit merupakan serat. Melakukan seleksi terhadap jenis serat yang tepat, jumlah *layer* dan orientasi serat sangatlah penting. Hal ini sangat berpengaruh terhadap karakteristik laminasi komposit selanjutnya. Beberapa hal kemampuan serat yang harus diperhatikan (Chawla, 2012):

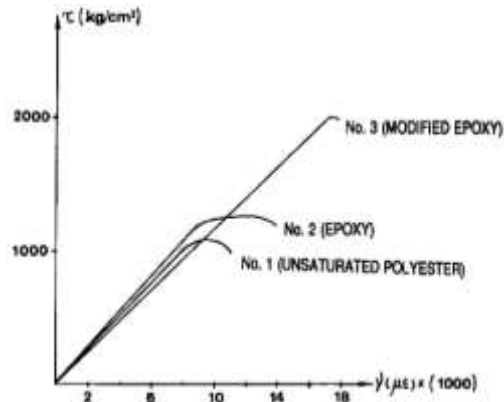
- Berat jenis.
- Kekuatan tarik dan modulus.
- Kekuatan tekan dan modulus.
- Kemampuan fatik dan kegagalan akibat fatik.
- Penghantar listrik dan konduktivitas termal.
- Biaya.

### 2.2. Matriks

Material komposit tersusun atas dua tipe material penyusun yakni matriks dan serat (*reinforcement*). Keduanya memiliki fungsi yang berbeda, serat berfungsi sebagai material rangka yang menyusun komposit, sedangkan matriks berfungsi untuk merekatkan serat dan menjaganya agar tidak berubah posisi. Campuran keduanya akan menghasilkan material yang keras, kuat, namun ringan. Matriks berupa lapisan tipis yang menahan serat secara permanen dalam orientasi serat yang diinginkan dan berfungsi mendistribusikan beban ke semua bidang serat. Matriks juga memainkan peran yang kuat dalam menentukan stabilitas tegangan ke seluruh struktur komposit serta faktor mekanis seperti ketangguhan dan kekuatan geser. Matriks juga melindungi serat dari kerusakan mekanis (abrasi) dan dari pengaruh faktor lingkungan (Chawla, 2012).

### 2.3. Orientasi Arah Serat (*Winding Angle*)

Syarat umum untuk desain *drive shaft* pada industri otomotif yaitu berupa batasan terhadap getaran, kekakuan, kemampuan torsi dan *buckling strength* pada *drive shaft* komposit merupakan faktor penting dari perancangan (Fang-Jing dkk,1991). Pada penelitiannya, melakukan eksperimen terhadap silinder komposit dengan pengujian tekan dan diuji torsi aksial maka diperoleh orientasi serat untuk memenuhi beban kerja *drive shaft* yang digunakan pada kendaraan roda empat Shanghai tipe SH760.



Gambar 2. Kemampuan torsi pada *drive shaft* dengan variasi matriks (Fang-Jing dkk,1991).

Hasil pengujian merekomendasikan bahwa resin *modified epoxy* memiliki sifat mekanik dan biaya yang lebih menguntungkan. Pada Tabel 1 menjelaskan hasil pengujian dari tiga jenis resin tersebut.

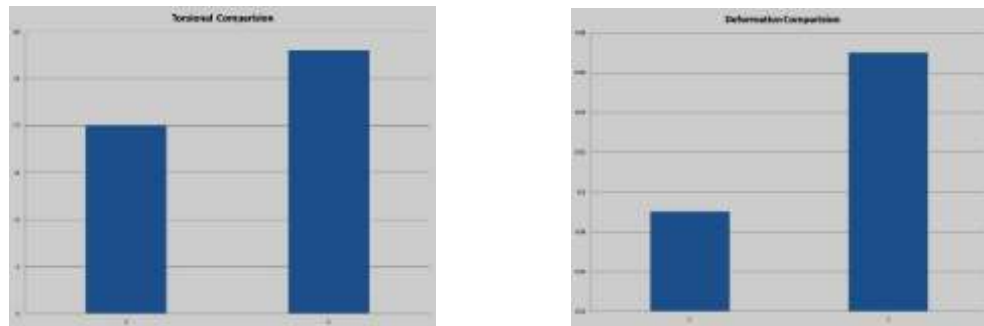
Tabel 1. Perbandingan kemampuan torsi dengan jenis resin berbeda.

No	<i>Winding Angle/Layer</i>	<i>Resin</i>	<i>Thickness</i>	<i>Shear Strength</i>
1	$\pm 45/6$	<i>Unsaturated polyester</i>	0,086 cm	1296 kg/cm <sup>2</sup>
2	$\pm 45/6$	<i>Epoxy</i>	0,086 cm	1630 kg/cm <sup>2</sup>
3	$\pm 45/6$	<i>Modified epoxy</i>	0,086 cm	2100 kg/cm <sup>2</sup>

Sumber: Fang-Jing dkk,1991.

Komposit yang terdiri dari satu layer serat karbon/epoksi dan tiga layer serat kaca/epoksi dengan variasi orientasi serat  $0^0$ ,  $\pm 45^0$  dan  $90^0$ , menunjukkan bahwa konfigurasi orientasi serat karbon yang tidak optimal mengakibatkan hasil yang kurang baik, yaitu kehilangan *natural frequency* (frekuensi pribadi) dan turunnya *buckling strength* (kemampuan torsi). Orientasi serat dan jumlah *layer* perlu dioptimalkan, karena sangat mempengaruhi kekuatan dan kekakuan dari *drive shaft* komposit (Abu Talib dkk, 2010).

Rompicharla dan Rambabu (2012) dengan metode simulasi *finite element analysis* untuk membandingkan *drive shaft* baja (steel SM45) dan *drive shaft* komposit serat kevlar/epoksi. *Drive shaft* serat kevlar/epoksi memiliki kekuatan dan kekakuan seperti *drive shaft* konvensional. Simulasi *drive shaft* serat kevlar/epoksi mereduksi bobot hingga 28% dan tidak mudah terdeformasi jika dibandingkan *drive shaft* baja.



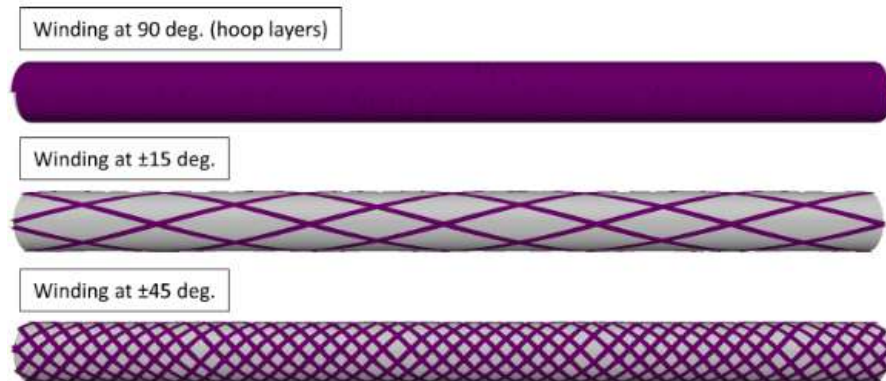
a. Perbandingan tegangan torsi

b. Perbandingan deformasi

Gambar 3. Perbandingan antara *drive shaft* baja SM45 dan kevlar/epoksi.  
(Sumber: Romphicharla dan Rambabu 2012)

Kompleksitas masalah desain *drive shaft* terkait dengan kebutuhan untuk menentukan nilai-nilai rasional (porsi) untuk beberapa parameter karakteristik material komposit seperti sudut *winding angle*, urutan susunan *layer* dan ketebalan *layer* (A. Cherniaev dan V. Komarov 2015). pendekatan yang bisa dilakukan untuk mendesain *drive shaft* serat karbon/epoksi dengan beberapa langkah optimasi, seperti:

- Penentuan sudut orientasi serat dan urutan susunan *layer* disusun berdasarkan analisa kondisi pembebanan dan reaksi beban tekuk (*buckling load*) dan *natural frequency* minimal ideal pada *drive shaft*.
- Menemukan ketebalan *layer* rasional menggunakan prosedur optimasi.
- Analisis verifikasi konfigurasi dioptimalkan dengan penggunaan nonlinier analisis tekuk untuk menjamin batas keamanan stabilitas.

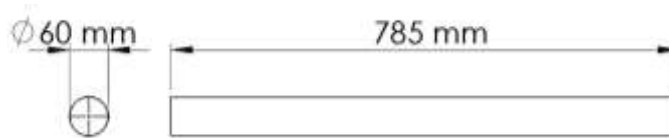


Gambar 4. Orientasi serat *drive shaft* komposit.  
(Sumber: Cherniaev dan V. Komarov 2015)

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Objek Penelitian

Penelitian dilakukan pada *city car* penggerak roda belakang (*rear wheel drive*). Kendaraan menggunakan *drive shaft* baja pada desain sebelumnya. Spesifikasi kendaraan tertera ditabel 2. Tabel 3 menerangkan *mechanical properties* dari serat karbon yang digunakan dan tabel 4 tentang *properties* dari epoksi resin.



Gambar 5. Model dan geometri *drive shaft* serat karbon/epoksi.

Tabel 2. Spesifikasi kendaraan penggerak roda belakang.

SPESIFIKASI KENDARAAN	
Tipe Mesin	4 Cylinder, 16 valve
Isi Silinder (cc)	1.329
Daya maksimum (HP/rpm)	96,5/6.000
Torsi maksimum (N.m/rpm)	120,62/4200
Panjang drive shaft (mm)	785
Diameter luar drive shaft (mm)	60

Sumber: *Toyota specification*, 2015

Tabel 3. Serat karbon TC35-12K *mechanical properties*.

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

Sumber: *Technical Fabrics Handbook*, 2010

Tabel 4. Epoksi resin *mechanical properties*.

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

Sumber: *Technical Fabrics Handbook*, 2010

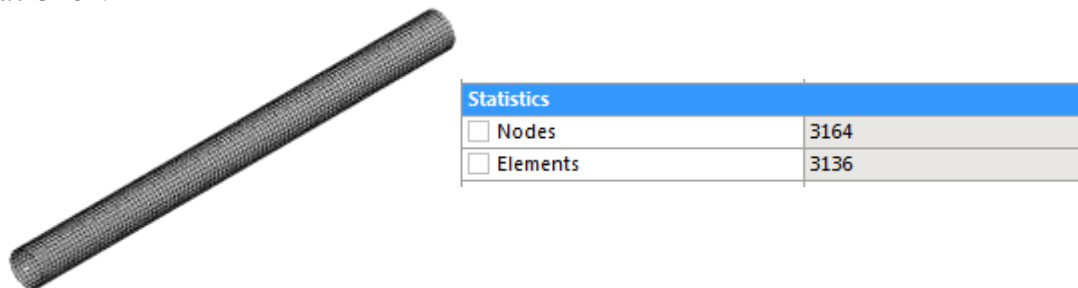
### 3.2. Pemodelan

Pemodelan adalah proses pembentukan objek menggunakan sistem komputasi, sehingga hasil model (*part*) terlihat nyata sesuai objek aslinya. *Output* dari pemodelan berupa *volume*, massa, dan lain sebagainya. Pada tahap simulasi dibutuhkan *surface* sebagai referensi awal (*core*) dari penambahan jumlah *layer* serat karbon/epoksi pada *drive shaft*. Ekstensi file dari pembentukan *surface* adalah “STEP”.



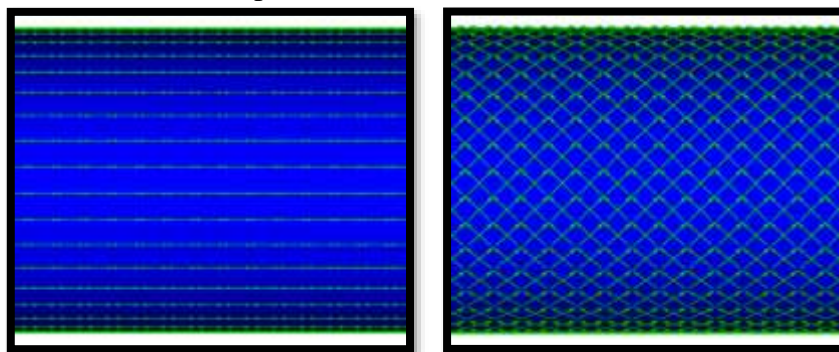
Gambar 6. *Surface* pada pemodelan sebagai referensi awal.

*Meshing* merupakan proses pembagian objek menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Semakin kecil *meshing size* yang digunakan maka hasil perhitungan akan semakin akurat. *Meshing size* yang digunakan pada simulasi ini adalah  $7 \text{ mm}^2$ , menghasilkan jumlah *element* sebanyak 3136 dan *node* 3164.



7. *Meshing* pada *drive shaft* dan jumlah elemen.

Tahap simulasi, khususnya material komposit dilakukan pada *PrePost* untuk menentukan jenis material komposit, orientasi serat, jumlah *layer* dan susunan *layer* yang digunakan merupakan faktor yang mempengaruhi kemampuan produk komposit. Jenis material yang digunakan pada penelitian ini adalah serat karbon/epoksi *woven wet* TC-35 12K.

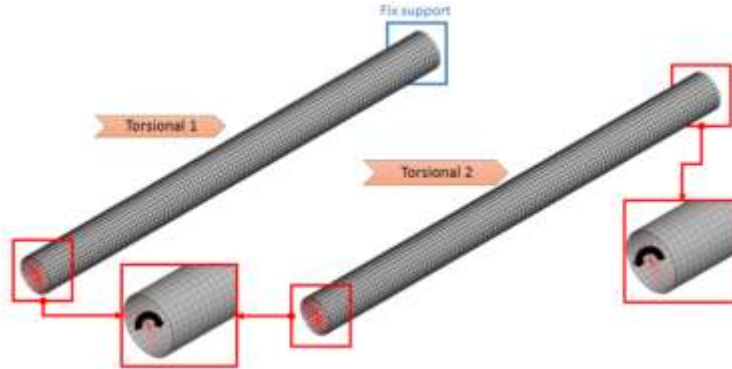


Gambar 8. Arah orientasi serat  $0^0$  dan  $45^0$  pada permukaan silinder *drive shaft*.

Serat karbon memiliki kekuatan yang baik jika arah serat sama dengan arah beban. Pada simulasi disebutkan bahwa komposit merupakan *orthophic* atau anisotropik material yaitu kekuatan komposit sangat dipengaruhi oleh orientasi serat dan fraksi *volume*. Ketika orientasi serat dirubah dari searah dengan pebebanan, maka terjadi penurunan kekuatan dari komposit.

### 3.3. Boundary Condition

Proses terdiri dari input nilai torsi yang diberikan oleh transmisi untuk *drive shaft* lalu diteruskan ke differensial. Pada simulasi *static structural*, akan ditentukan bidang mana yang akan di *fix support* dan bidang mana yang akan diberikan torsi (*moment*), metode pembebanan dijelaskan pada tabel dibawah ini:



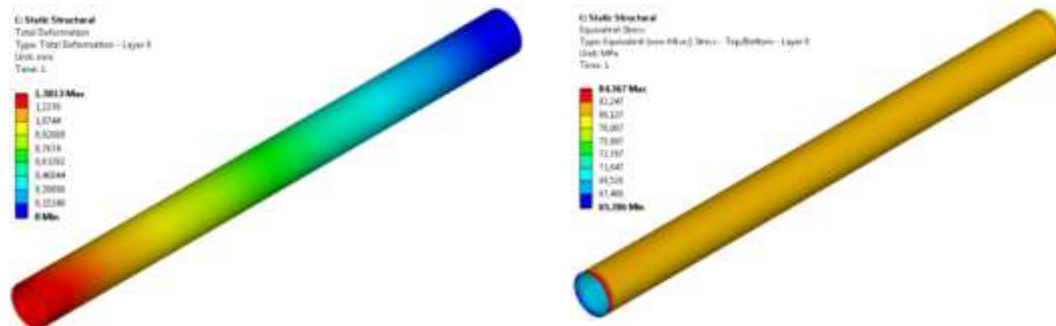
Gambar 9. Konsep *boundary conditions* pada *drive shaft* serat karbon/epoksi.

Metode elemen hingga merupakan salah satu metode numerik yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah struktural. Pendekatan yang dilakukan menggunakan sistem komputasi *software* yang sudah banyak diterapkan pada penelitian-penelitian sebelumnya. *Software* melakukan simulasi kondisi *drive shaft* komposit terhadap total deformasi, tegangan normal, regangan normal dan energi regangan yang dialami *drive shaft*. ACP (*Composite PrePost*) digunakan untuk pemodelan material komposit khususnya serat karbon/epoksi. Pemberian beban (*loading*) bersifat statik untuk kondisi torsi pada *drive shaft*. Maka digunakan simulasi *mode static structural* untuk torsi (*moment*) pada material komposit serat karbon/epoksi.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Pengaruh Torsi

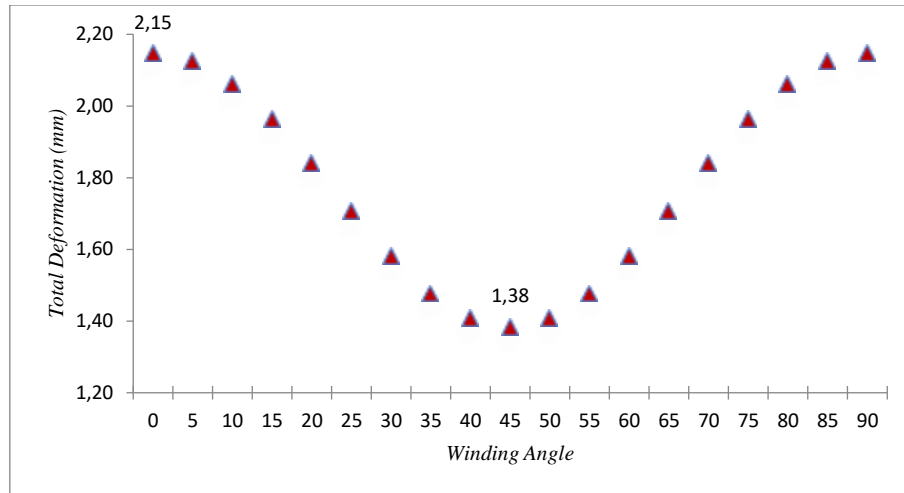
Simulasi menggunakan sistem kompuasi *software finite element analysis* bertujuan untuk mengetahui nilai *equivalent stress* dan *total deformation* ketika diberikan beban torsi sebesar 120 N.m. *Equivalent stress* merupakan nilai tegangan yang terjadi pada seluruh bidang *drive shaft* akibat torsi yang diterapkan. *Total deformation* adalah nilai perubahan bentuk atau defleksi ketika ditorsi. Gambar 10 menunjukkan reaksi *drive shaft* ketika beban torsi diterapkan.



a. Total deformation

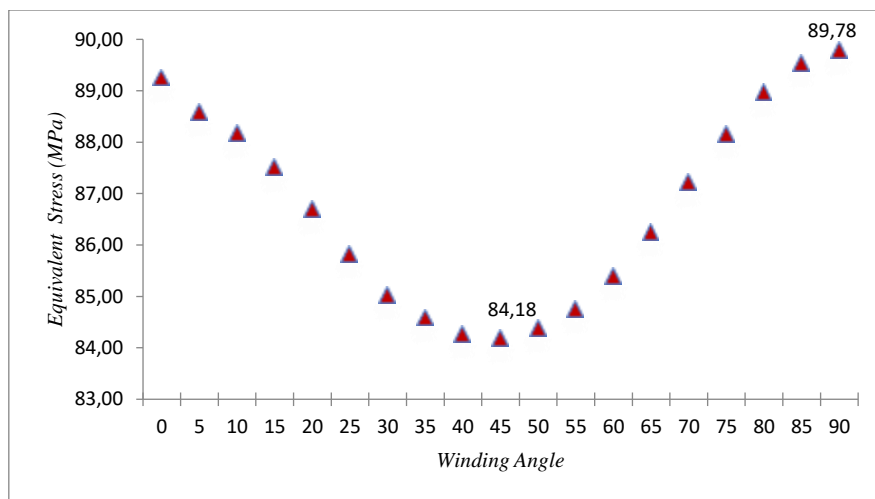
b. Equivalent stress

Gambar 10. *Drive shaft* 1 layer ditorsi 120 N.m.



Gambar 11. Orientasi serat terhadap *total deformation*.

Simulasi dilakukan satu *layer* pada silinder berdiameter (D) 60 mm dan panjang (L) 785 mm. Dari Gambar 11 menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai *total deformation* seiring peningkatan orientasi serat dari  $0^{\circ}$  hingga  $45^{\circ}$ . Nilai *total deformation* kembali meningkat dari orientasi serat  $50^{\circ}$  hingga  $90^{\circ}$ . Hasil tersebut menunjukkan bahwa orientasi serat memiliki pengaruh terhadap kekuatan dan kekakuan *drive shaft* komposit. Hasil orientasi serat  $0^{\circ}$  dan  $90^{\circ}$  memiliki angka yang sama karena *layer* yang digunakan serat karbon tipe *woven* yang memiliki serat pada arah *x* dan *y*.

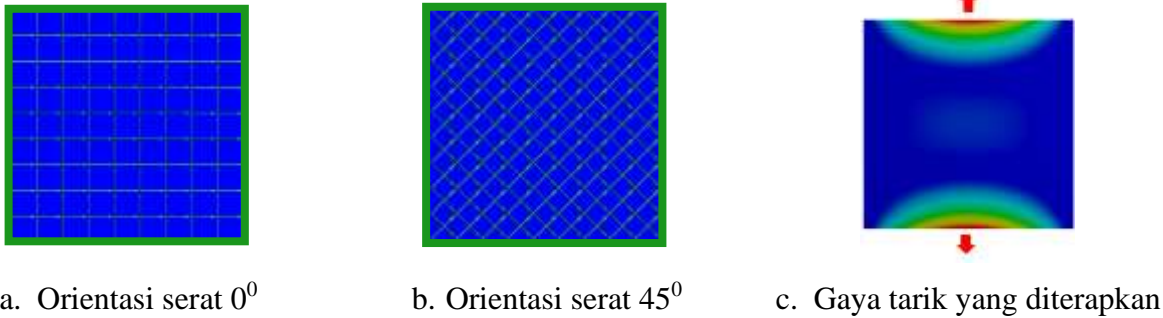


Gambar 12. Orientasi serat terhadap *equivalent stress*.

Gambar 12 menjelaskan tentang *Equivalent stress* terhadap orientasi serat, pada *drive shaft* menunjukkan *trend* data yang sama dengan *total deformation*. *Equivalent stress* ditemukan pada *drive shaft* lebih kecil pada orientasi serat  $45^{\circ}$  sedangkan yang terbesar terjadi orientasi serat  $90^{\circ}$ . *Drive shaft* mampu terhadap *strees* lebih baik jika berada pada orientasi serat terbaik yaitu  $45^{\circ}$ . Nilai tegangan paling besar pada orientasi serat  $90^{\circ}$  yaitu 89,78 MPa. Orientasi serat terbaik untuk mampu lebih baik terhadap tegangan puntir 120 N.m adalah orientasi serat  $45^{\circ}$ .

#### 4.2 Pengaruh Arah Serat terhadap Gaya Tarik

Apabila *drive shaft* ditorsi maka *drive shaft* akan mengalami puntiran (*twist*) dan akan terjadi fenomena gaya tarik pada *drive shaft*, maka perlu diketahui orientasi arah serat yang tepat. Simulasi yang dilakukan dengan membuat model dan diberikan gaya tarik sebesar 120 N secara berlawanan arah. Tabel 5 menunjukkan bahwa orientasi serat  $0^{\circ}$  lebih baik untuk kondisi tarik dengan nilai *equivalent stress* 1,20 MPa dan *total deformation* yaitu 0,07 mm.



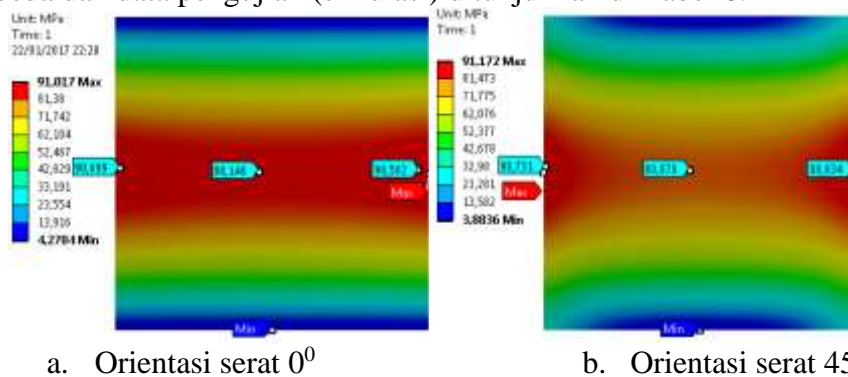
Gambar 13. Metode gaya tarik yang diterapkan pada *layer*.

Tabel 5. Hasil perbandingan orientasi serat terhadap gaya tarik pada *layer*.

Winding Angle	Gaya Tarik (120 N)	
	Equivalent stresses	Total Deformation
$0^{\circ}$	1,20 MPa	0,07 mm
$45^{\circ}$	1,51 MPa	0,16 mm

#### 4.3 Pengaruh Gaya Bending terhadap Orientasi Serat

Uji *bending* dilakukan untuk mengetahui pengaruh orientasi serat terhadap gaya yang diberikan. Gambar 14 menunjukkan bahwa konsentrasi yang terjadi berbeda jika orientasi serat yang diterapkan berbeda dan data pengujian (simulasi) ditunjukkan di Tabel 6.



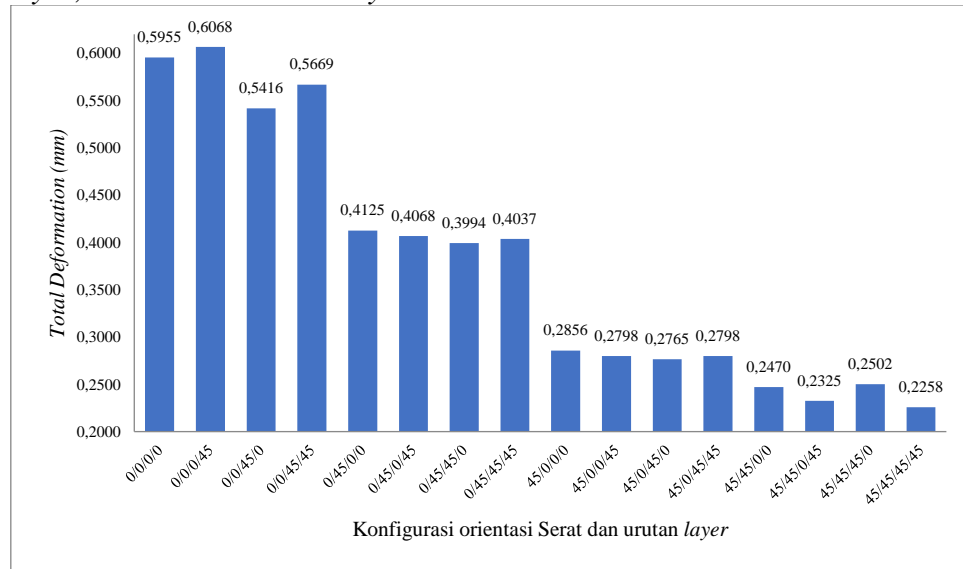
Gambar 14. perbandingan tegangan *bending* yang terjadi pada *layer*.

Tabel 6. Pengaruh orientasi serat terhadap gaya *bending*.

Dimensi	Winding Angle	Gaya (N)	Total Deformation (mm)	Equivalent Stress (MPa)
20x20 cm	0	120	12,84	91,01
20x20 cm	45	120	17,13	91,17

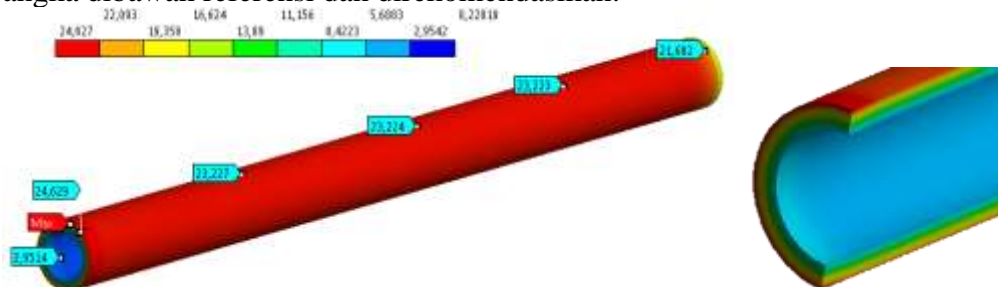
#### 4.6 Pengaruh Konfigurasi Arah Serat dan Susunan Layer

Dari hasil simulasi sebelumnya, orientasi serat  $45^0$  sangat baik untuk kondisi puntir sedangkan orientasi serat  $0^0$  memiliki karakter lebih baik terhadap gaya tarik dan *bending*. Maka pada rancangan *drive shaft* serat karbon/epoksi harus dikombinasikan antara orientasi serat  $45^0$  dan  $0^0$ , jumlah *layer*, dan urutan susunan *layer*.



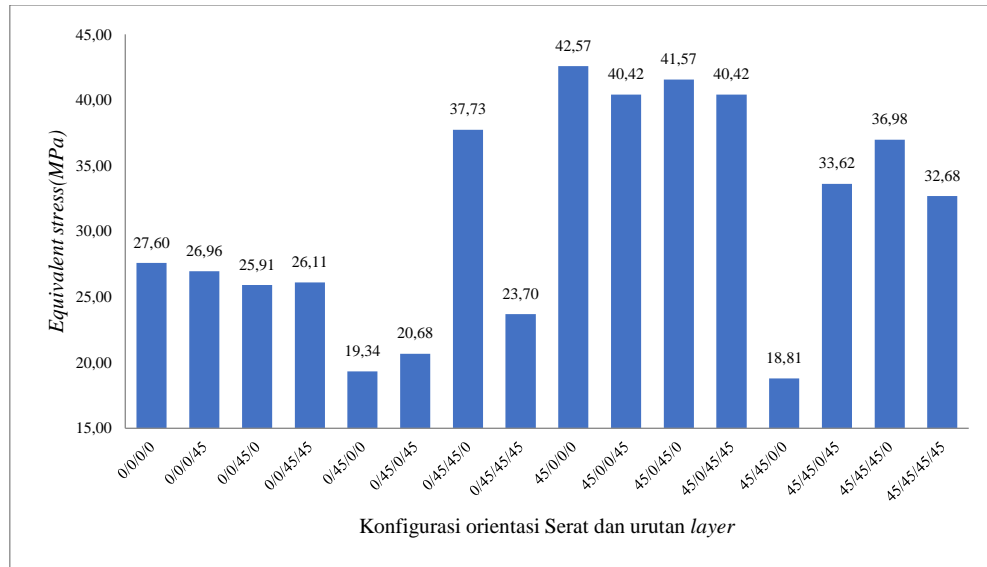
Gambar 15. Orientasi serat dan urutan susunan layer terhadap *total deformation*.

Pada Gambar 15 jika jumlah 4 *layer* diterapkan pada semua variasi untuk memenuhi beban kerja *drive shaft* serat karbon/epoksi, hanya sebagian variasi yang memenuhi nilai referensi *drive shaft* baja. Nilai referensi sebagai patokan diambil dari *drive shaft* baja SM45C dengan *total deformation* 0,3002 mm ketika ditorsi 120 N.m. Susunan *layer* yang diawali orientasi serat  $45^0$  memiliki kemampuan lebih baik jika dibandingkan  $0^0$ . Semua variasi yang diawali dengan  $45^0$  memiliki angka dibawah referensi dan direkomendasikan.



Gambar 16. *Equivalent stress drive shaft* orientasi serat 45/45/0/0

Gambar 16 menunjukkan distribusi tegangan yang terjadi diseluruh bidang *drive shaft* dengan konfigurasi orientasi arah serat 45/45/0/0, urutan susunan *layer*, dan jumlah *layer* serat karbon/epoksi.



Gambar 17. Pengaruh orientasi dan susunan layer terhadap *equivalent stress*.

Ditunjukkan pada Gambar 17 bahwa besarnya sebaran tegangan pada *drive shaft* paling rendah pada konfigurasi orientasi serat dan urutan layer 45/45/0/0 dengan nilai tegangan 18,81 MPa. Dari respon yang digunakan yaitu *total deformation* dan *equivalent stress* maka ditemukan konfigurasi yang tepat dan mampu terhadap torsi 120 N.m adalah 45/45/0/0 sebanyak 4 layer.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada *drive shaft* komposit serat karbon/epoksi untuk kendaraan penggerak roda belakang, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Peningkatan kekuatan dan kekakuan *drive shaft* pada orientasi serat 45<sup>0</sup> lebih baik ketika ditorsi. Orientasi serat 0<sup>0</sup> lebih baik pada gaya tarik dan *bending*.
- Ditemukan konfigurasi orientasi serat dan susunan layer terbaik jika dikenakan torsi 120 N.m dengan jumlah 4 layer dengan urutan susunan layer 45/45/0/0.
- Susunan layer yang diawali orientasi serat 45<sup>0</sup> memiliki kemampuan jauh lebih baik jika dibandingkan 0<sup>0</sup> apabila keduanya dalam satu laminasi untuk beban torsi.
- Menggunakan material komposit serat karbon/epoksi mampu mereduksi bobot *drive shaft* hingga 88% dan *total deformation* 20%.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Hillier, V. A. W., & Coombes, P. (2004). *Hillier's fundamentals of motor vehicle technology*. Nelson Thornes.
- Bhajantri, V. S., Bajantri, S. C., Shindolkar, A. M., & Amarapure, S. S. (2014). Design and Analysis of Composite Drive Shaft. *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3.
- Chawla, K. K. (2012). *Composite materials: science and engineering*. Springer Science & Business Media.
- Cherniaev, A., & Komarov, V. (2015). Multistep optimization of composite drive shaft subject to strength, buckling, vibration and manufacturing constraints. *Applied Composite Materials*, 22(5), 475-487.

- Fang-Jing, X., Jian-Rong, Y., & Yuan-De, X. (1991). Design and mechanical analysis of a hybrid composite driveshaft. In *Composite Structures* (pp. 207-216). Springer Netherlands.
- Lee, D. G., Sung Kim, H., Woon Kim, J., & Kook Kim, J. (2004). Design and manufacture of an automotive hybrid aluminum/composite drive shaft. *Composite Structures*, 63(1), 87-99.
- Mutasher, S. A. (2009). Prediction of the torsional strength of the hybrid aluminum/composite drive shaft. *Materials & design*, 30(2), 215-220.
- Rompicharla, R. K., & Rambabu, K. (2012). Design and Optimization of Drive Shaft with composite materials. *International Journal of Modern Engineering Research*, 2(05).
- 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*, 31(1), 514-521.