



PENERAPAN ORIENTASI KOMPOSIT SERAT KARBON PADA POROS KEMUDI SEPEDA MOTOR MENGUNAKAN METODE VACUUM INFUSION TERHADAP KEKUATAN PUNTIR

Tyo Echa Feriandra¹⁾, Firman Yasa Utama²⁾

¹⁾ Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email: tyoecha.22001@mhs.unesa.ac.id

²⁾ Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email: firmanutama@unesa.ac.id

Abstract

A motorcycle steering shaft is subjected to torsional loads during vehicle steering; therefore, it requires a lightweight material with adequate mechanical strength. This study aimed to analyze the effect of carbon fiber orientation on the torsional strength of hollow cylindrical composite specimens fabricated using the vacuum infusion method. The specimens were manufactured from 3K 240 gsm twill carbon fiber and epoxy resin with 11 layers and fiber orientation variations of 0°, 45°, and 90°. The specimen geometry was based on a 1:2 scale model of the Honda Vario 125 steering shaft, with an outer diameter of 16.5 mm, an inner diameter of 11 mm, and a total length of 200 mm. Static torsion testing was conducted, and the experimental data were processed to determine the maximum torque, maximum shear stress, and shear modulus. The results showed that the 45° fiber orientation provided the best torsional strength, with an average maximum torque of 35.31 N·m and an average maximum shear stress of 49.89 MPa. Therefore, the 45° fiber orientation produced the highest maximum torsional strength among the tested orientation variations under laboratory conditions.

Keywords: Carbon fiber composite, fiber orientation, vacuum infusion, torsion test, torsional strength.

Abstrak

Poros kemudi sepeda motor menerima beban puntir saat kendaraan dikendalikan sehingga membutuhkan material yang ringan dan memiliki kekuatan mekanik yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh orientasi serat karbon terhadap kekuatan puntir spesimen komposit berbentuk tabung silinder berongga yang dibuat menggunakan metode vacuum infusion. Spesimen dibuat dari serat karbon twill 3K 240 gsm dan resin epoksi dengan 11 lapisan serta variasi orientasi serat 0°, 45°, dan 90°. Geometri spesimen mengacu pada model skala 1:2 poros kemudi Honda Vario 125 dengan diameter luar 16,5 mm, diameter dalam 11 mm, dan panjang total 200 mm. Pengujian dilakukan menggunakan uji puntir statis, kemudian data hasil pengujian diolah untuk memperoleh torsi maksimum, tegangan geser maksimum, dan modulus geser. Hasil penelitian menunjukkan bahwa orientasi 45° memberikan kekuatan puntir terbaik dengan torsi maksimum rata-rata sebesar 35,31 N·m dan tegangan geser maksimum rata-rata sebesar 49,89 MPa. Dengan demikian, orientasi 45° menghasilkan kekuatan puntir maksimum tertinggi di antara variasi orientasi yang diuji pada kondisi laboratorium.

Kata Kunci: Komposit serat karbon, orientasi serat, vacuum infusion, uji puntir, kekuatan puntir.



PENDAHULUAN

Poros kemudi sepeda motor merupakan salah satu komponen mekanis yang berperan penting dalam sistem pengendalian kendaraan. Komponen ini meneruskan input putar dari stang kemudi menuju garpu dan roda depan sehingga memengaruhi respons kendaraan ketika pengendara mengubah arah. Dalam penggunaan nyata, input tersebut diberikan ketika pengendara membelok, melakukan putar balik, berpindah jalur, memasuki tikungan, menghindari hambatan, dan melakukan koreksi arah untuk menjaga keseimbangan kendaraan. Besarnya torsi kemudi dapat berubah sesuai jenis manuver, kecepatan kendaraan, percepatan lateral, serta interaksi antara roda depan dan permukaan jalan. Bartolozzi et al. (2023) menjelaskan bahwa torsi kemudi merupakan salah satu input utama dalam dinamika lateral sepeda motor dan memiliki karakteristik yang berbeda pada manuver stasioner maupun transien. Sementara itu, Cossalter et al. (2011) menunjukkan bahwa torsi kemudi saat kendaraan menikung dipengaruhi oleh gaya ban-jalan, efek giroskopik, gaya sentrifugal, gravitasi, kecepatan kendaraan, serta kondisi percepatan dan perlambatan.

Selain menerima input kemudi dari pengendara, sistem kemudi juga dapat menerima gangguan yang berasal dari kondisi permukaan jalan. Ketika roda depan melewati permukaan yang bergelombang atau tidak rata, gaya dari permukaan jalan dapat diteruskan melalui roda dan garpu menuju sistem kemudi. Limebeer et al. (2002) menunjukkan bahwa gelombang permukaan jalan dapat menghasilkan gaya gangguan yang diteruskan ke sistem kemudi dan, pada kondisi tertentu, memicu osilasi kemudi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa dalam penggunaan nyata poros kemudi tidak hanya menerima beban puntir statis, tetapi juga pembebanan yang berubah dan berulang selama kendaraan dioperasikan. Namun, penelitian ini dibatasi pada pengujian puntir statis sebagai tahap awal untuk menganalisis hubungan torsi–sudut puntir, torsi maksimum, tegangan geser maksimum, dan modulus geser spesimen komposit dalam kondisi laboratorium.

Secara konvensional, industri otomotif masih mengandalkan baja paduan sebagai material utama untuk pembuatan poros kemudi. Pemilihan ini didasarkan pada pertimbangan kekuatan puntir dan sifat ulet baja yang telah teruji dalam berbagai kondisi. Namun, material ini memiliki beberapa keterbatasan mendasar, terutama pada densitasnya yang tinggi ($7,8 \text{ g/cm}^3$) yang berkontribusi terhadap peningkatan massa komponen, serta kerentanan terhadap korosi (Liu et al., 2018). Keterbatasan inilah yang mendorong pencarian material alternatif yang mampu memberikan kekuatan puntir yang memadai dengan massa yang lebih ringan.

Carbon fiber reinforced polymer (CFRP) atau polimer diperkuat serat karbon merupakan material komposit yang terdiri dari serat karbon sebagai elemen penguat (*reinforcement*) dan resin polimer sebagai matriks pengikat. Serat karbon berfungsi menahan beban utama, sementara matriks resin mendistribusikan beban ke seluruh serat dan melindunginya dari kerusakan lingkungan. Material ini menawarkan kombinasi sifat mekanik yang unggul, dengan densitas (kepadatan) rendah ($1,5\text{-}1,6 \text{ g/cm}^3$) namun mampu mencapai kekuatan puntir yang sangat baik (Salafuddin & Fitri, 2025). Keunggulan utamanya adalah kekuatannya yang tinggi, namun beratnya sangat ringan. Hal ini memungkinkan pembuatan komponen yang ringan tanpa mengurangi kemampuannya menahan beban puntir.

Respons puntir komposit serat karbon dipengaruhi oleh arah serat terhadap tegangan geser yang timbul selama pembebanan. Stedile Filho et al. (2018) menunjukkan bahwa susunan laminat pada poros komposit karbon/epoksi memengaruhi kemampuan struktur dalam menerima beban torsi. Lapisan bersudut $\pm 45^\circ$ memiliki peran penting karena arahnya berkaitan dengan tegangan geser yang terjadi akibat pembebanan puntir. Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini menggunakan variasi orientasi 0° , 45° , dan 90° untuk membandingkan respons puntir setiap susunan serat. Metode manufaktur juga berperan penting dalam menentukan kekuatan puntir komposit. Metode fabrikasi turut memengaruhi karakteristik laminasi komposit. Ramdhan et al. (2023) melaporkan bahwa



spesimen karbon–Kevlar yang dibuat menggunakan metode *vacuum infusion* menghasilkan kekuatan lentur rata-rata lebih tinggi dan menunjukkan indikasi rongga yang lebih sedikit dibandingkan spesimen hasil *vacuum bagging*. Namun, hasil tersebut diperoleh melalui pengujian lentur sehingga tidak dapat langsung digunakan untuk menyatakan peningkatan kekuatan puntir. Dalam penelitian ini, metode *vacuum infusion* digunakan untuk membantu proses pengaliran resin dan pemadatan susunan serat melalui perbedaan tekanan.

Berdasarkan kajian literatur, penelitian tentang pengaruh orientasi serat karbon terhadap kekuatan puntir poros kemudi yang diproduksi dengan *vacuum infusion* masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini menganalisis penerapan orientasi serat karbon pada poros kemudi menggunakan metode *vacuum infusion* terhadap kekuatan puntir. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan komponen kemudi yang lebih ringan dan kuat.

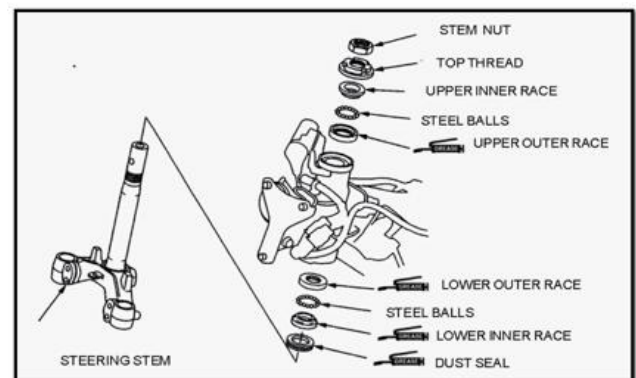
TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Kemudi dan Poros Kemudi Sepeda Motor

Sistem kemudi sepeda motor merupakan sistem yang berfungsi mengarahkan laju kendaraan melalui mekanisme yang meneruskan gerakan stang ke roda depan. Komponen utama sistem ini meliputi batang kemudi, steering stem (poros kemudi), bantalan kemudi, serta garpu depan. Di antara komponen tersebut, steering stem memiliki fungsi sebagai sumbu putar sekaligus media transmisi gaya dari pengendara menuju roda depan sehingga sangat berpengaruh terhadap kestabilan dan keselamatan berkendara. Gangguan pada steering stem maupun bantalan kemudi dapat menyebabkan ketidakstabilan arah kendaraan dan menurunkan kenyamanan berkendara (Putra & Rosyidin, 2023).

Secara mekanis, steering stem menerima kombinasi beban puntir, lentur, dan getaran selama kendaraan beroperasi. Ketika pengendara membelokkan stang, poros menerima momen puntir yang besarnya dipengaruhi oleh gaya kemudi dan kondisi jalan. Oleh karena itu, material

steering stem harus memiliki kekuatan, kekakuan, serta ketahanan lelah yang baik. Bentuk silinder berongga umum digunakan karena mampu mengurangi massa tanpa mengurangi kemampuan menahan torsi secara signifikan (Nurrahman et al., 2018). Dalam penelitian ini, geometri steering stem Honda Vario 125 dijadikan acuan pembuatan spesimen komposit berbentuk tabung berongga untuk mensimulasikan kondisi pembebanan puntir.



Gambar 1. Komponen sistem kemudi sepeda motor

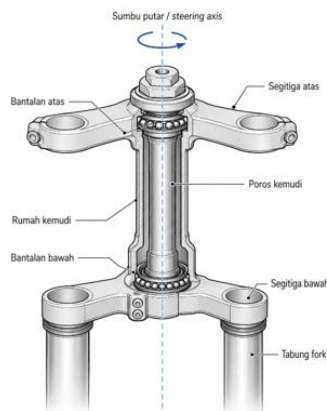
Material Komposit Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)

Material komposit merupakan kombinasi dua atau lebih material berbeda yang menghasilkan sifat mekanik lebih baik dibandingkan material penyusunnya. Pada komposit berpenguat serat, matriks berfungsi mengikat dan melindungi serat, sedangkan serat bertugas menahan sebagian besar beban mekanik. Salah satu komposit yang banyak digunakan pada aplikasi struktural adalah Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP), yaitu komposit yang menggunakan serat karbon sebagai penguat dan resin polimer sebagai matriks (Harun, 2021).

CFRP memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, kekakuan yang baik, ketahanan korosi, serta ketahanan terhadap kelelahan material (fatigue). Sifat tersebut menjadikan CFRP banyak diaplikasikan pada industri otomotif, dirgantara, maupun olahraga. Penelitian Salafuddin dan Fitri (2025) menunjukkan bahwa penggunaan CFRP pada komponen otomotif mampu meningkatkan umur pakai komponen sekaligus mengurangi



massa kendaraan sehingga berkontribusi terhadap efisiensi energi.



Gambar 2. Konfigurasi poros kemudi sepeda motor

Serat Karbon

Serat karbon merupakan material penguat yang tersusun dari atom karbon dengan struktur kristal yang sejajar terhadap arah serat sehingga menghasilkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang sangat tinggi. Kekuatan tarik serat karbon dapat mencapai 4,5–6,5 GPa dengan massa jenis yang relatif rendah sehingga memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang jauh lebih tinggi dibandingkan baja maupun aluminium (Robiansyah & Irfa'i, 2021).

Dalam aplikasi komposit, serat karbon tersedia dalam berbagai bentuk, seperti unidirectional, woven (bidirectional), dan chopped fiber. Pemilihan orientasi serat sangat memengaruhi distribusi tegangan dan kemampuan komposit dalam menerima pembebanan. Untuk komponen yang bekerja dominan terhadap torsi, orientasi serat menjadi faktor penting dalam meningkatkan kekuatan puntir komposit (Mokoagow, 2022). Pada penelitian ini digunakan carbon fiber woven 3K dengan berat areal 240 gsm karena memiliki keseimbangan kekuatan pada dua arah utama.

Resin Epoksi sebagai Matriks Komposit

Resin epoksi merupakan salah satu resin termoset yang paling banyak digunakan sebagai matriks komposit karena memiliki daya rekat tinggi, penyusutan rendah

selama proses curing, serta ketahanan yang baik terhadap kelembapan dan bahan kimia. Setelah dicampur dengan hardener, resin mengalami proses polimerisasi membentuk struktur cross-linked yang permanen sehingga menghasilkan material yang kaku dan stabil (Rita et al., 2023).

Peranan resin epoksi tidak hanya sebagai pengikat serat karbon, tetapi juga sebagai media transfer beban antarserat sehingga memengaruhi kekuatan mekanik komposit secara keseluruhan. Ikatan matriks-serat yang baik akan meningkatkan kemampuan komposit dalam menerima beban tarik, tekan, maupun puntir (Gunarti et al., 2024). Dalam penelitian ini digunakan resin Chempoxy A dan hardener Chempoxy B karena memiliki karakteristik mekanik yang sesuai untuk proses vacuum infusion.

Metode Vacuum Infusion

Vacuum infusion merupakan salah satu metode manufaktur komposit yang menggunakan tekanan vakum untuk menarik resin mengalir ke dalam susunan serat sehingga impregnasi berlangsung secara merata. Dibandingkan metode hand lay-up, vacuum infusion mampu menghasilkan fraksi volume serat yang lebih tinggi, distribusi resin yang lebih seragam, serta kandungan void yang lebih rendah sehingga kualitas mekanik komposit meningkat (Ramdhan et al., 2023).

Keunggulan lainnya adalah proses fabrikasi yang lebih bersih, konsumsi resin lebih efisien, serta menghasilkan ketebalan laminasi yang lebih konsisten. Oleh karena itu, metode ini banyak digunakan dalam industri otomotif, kapal, dan dirgantara untuk memproduksi komponen komposit berkualitas tinggi (Wahyu Utomo et al., 2025).

Pengujian Puntir Komposit

Pengujian puntir dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dalam menahan momen puntir yang bekerja pada suatu komponen. Pada spesimen berbentuk tabung silinder, pembebanan torsi menghasilkan distribusi tegangan geser yang meningkat dari pusat menuju permukaan luar penampang. Tegangan maksimum terjadi



pada bagian terluar spesimen karena memiliki jarak terbesar terhadap sumbu putar (Gere & Goodno, 2013).

Pada material komposit, kemampuan menahan torsi dipengaruhi oleh orientasi serat, fraksi volume serat, kualitas ikatan matriks-serat, serta geometri spesimen. Chai et al. (2020) menunjukkan bahwa spesimen tabung komposit merupakan model yang efektif untuk mengevaluasi perilaku puntir serta mekanisme kerusakan akibat pembebanan torsi. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan spesimen tabung komposit yang mengacu pada geometri steering stem sebagai representasi kondisi kerja aktual pada sistem kemudi sepeda motor.

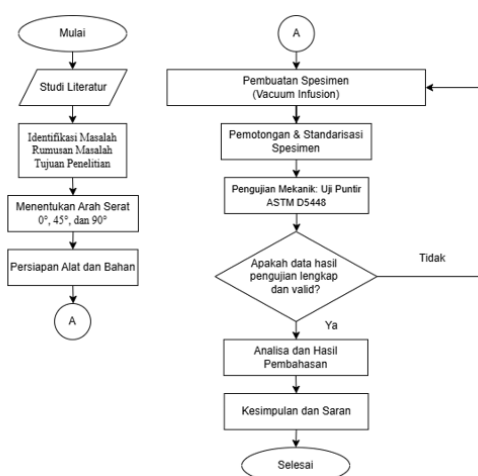
METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan tujuan menganalisis pengaruh variasi orientasi serat karbon terhadap kekuatan puntir komposit berbentuk tabung berongga. Variabel bebas yang digunakan adalah orientasi serat karbon sebesar 0° , 45° , dan 90° terhadap sumbu memanjang spesimen, sedangkan variabel terikat berupa kekuatan puntir yang dinyatakan melalui nilai torsi maksimum, sudut puntir, dan modulus geser. Untuk memperoleh hasil yang valid, seluruh variabel lain seperti jenis serat, jenis resin, jumlah lapisan, dimensi spesimen, metode fabrikasi, serta kondisi pengujian dijaga tetap konstan selama penelitian berlangsung.

Penelitian dilaksanakan pada periode September 2025 hingga Juni 2026. Proses fabrikasi spesimen dilakukan di Workshop Garnesa Racing Team Gedung A1 dan Laboratorium K7 Teknik Mesin Fakultas Vokasi Universitas Negeri Surabaya. Selanjutnya, pengujian mekanik puntir dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang. Seluruh tahapan penelitian diawali dengan studi literatur mengenai karakteristik Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP), perilaku material komposit terhadap pembebanan puntir, metode vacuum infusion, serta standar pengujian puntir yang relevan sebagai dasar penyusunan rancangan penelitian.

Material utama yang digunakan berupa kain serat karbon twill 3K dengan berat areal 240 gsm sebagai material penguat serta resin epoksi Chempoxy A dan hardener Chempoxy B sebagai matriks. Spesimen dibuat mengacu pada geometri poros kemudi Honda Vario 125 yang diperkecil dengan skala 1:2 sehingga diperoleh spesimen berbentuk tabung silinder berongga. Setiap spesimen disusun menggunakan 11 lapisan serat karbon dengan tiga variasi orientasi, yaitu 0° , 45° , dan 90° , serta masing-masing variasi dibuat sebanyak tiga spesimen sehingga total spesimen yang diuji berjumlah sembilan buah.

Fabrikasi spesimen dilakukan menggunakan metode vacuum infusion. Lembaran serat karbon dipotong sesuai pola, kemudian disusun pada cetakan silinder berdasarkan orientasi yang telah ditentukan. Setelah proses penyusunan selesai, sistem vacuum infusion dipasang yang terdiri atas peel ply, flow mesh, selang infusi, resin trap, plastik vakum, dan pompa vakum. Resin dan hardener dicampurkan dengan perbandingan 2:1 kemudian dialirkan ke dalam susunan serat menggunakan tekanan vakum hingga seluruh lapisan terimpregnasi secara merata. Setelah proses infusi selesai, spesimen dibiarkan mengalami proses curing pada suhu ruang selama kurang lebih 24 jam sebelum dilepaskan dari cetakan, dipotong, dan dirapikan sesuai dimensi rancangan.



Gambar 3. Kerangka Penelitian



Pengujian mekanik dilakukan menggunakan mesin uji puntir dengan mengacu pada prinsip ASTM D5448/D5448M. Spesimen dipasang secara koaksial pada mesin uji, kemudian diberikan pembebanan puntir secara bertahap hingga terjadi kegagalan. Selama proses pengujian, mesin secara otomatis merekam hubungan antara torsi dan sudut puntir sehingga diperoleh data torsi maksimum, sudut puntir maksimum, serta daerah linier yang digunakan untuk menghitung modulus geser. Setelah pengujian selesai, kondisi kerusakan spesimen diamati secara visual sebagai data pendukung untuk mengidentifikasi karakteristik kegagalan akibat pembebanan puntir.

Data hasil pengujian kemudian dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan menghitung nilai rata-rata dan membandingkan hasil setiap variasi orientasi serat karbon. Parameter yang dianalisis meliputi torsi maksimum, sudut puntir maksimum, tegangan geser maksimum, dan modulus geser. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memperlihatkan kecenderungan pengaruh orientasi serat terhadap performa puntir komposit. Berdasarkan hasil tersebut kemudian disusun pembahasan yang mengaitkan perilaku mekanik komposit dengan orientasi serat karbon, sehingga dapat ditarik kesimpulan mengenai orientasi serat yang memberikan ketahanan puntir paling baik pada spesimen komposit hasil fabrikasi vacuum infusion.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pembuatan spesimen komposit carbon fiber reinforced polymer (CFRP) berhasil dilakukan menggunakan metode **vacuum infusion** dengan tiga variasi orientasi serat, yaitu 0°, 45°, dan 90°. Seluruh spesimen memiliki bentuk tabung silinder berongga dengan dimensi yang seragam, terdiri atas diameter luar 16,5 mm, diameter dalam 11 mm, panjang ukur 137,5 mm, dan jumlah laminasi sebanyak sebelas lapisan. Hasil pemeriksaan visual menunjukkan bahwa seluruh spesimen memiliki permukaan yang relatif rata, resin terdistribusi merata, serta tidak ditemukan cacat yang signifikan seperti delaminasi maupun gelembung udara berukuran besar. Hal ini menunjukkan bahwa proses

vacuum infusion mampu menghasilkan kualitas laminasi yang baik sehingga layak digunakan pada pengujian mekanik puntir.

Hasil pengujian puntir menunjukkan bahwa orientasi serat memberikan pengaruh nyata terhadap kemampuan spesimen dalam menahan pembebanan torsi. Setiap variasi orientasi diuji sebanyak tiga kali untuk memperoleh nilai yang representatif. Data pengujian menunjukkan bahwa orientasi 45° menghasilkan nilai torsi maksimum paling tinggi dibandingkan orientasi 0° maupun 90°. Fenomena ini menunjukkan bahwa arah serat yang membentuk sudut terhadap sumbu spesimen lebih efektif dalam menahan tegangan geser akibat pembebanan puntir dibandingkan serat yang sejajar maupun tegak lurus terhadap sumbu tabung.

Tabel 1. Data hasil pengujian puntir

Variasi	Spesimen	Torsi Maksimum (N·m)	Sudut Puntir (°)
0°	S1	61,8	13,9
	S2	62,7	14,4
	S3	62,3	14,1
45°	S4	78,6	18,8
	S5	79,5	19,1
	S6	79,1	18,9
90°	S7	51,4	11,9
	S8	50,8	11,7
	S9	51,2	12,0

Data pada Tabel 1 kemudian diolah menggunakan persamaan mekanika puntir untuk memperoleh nilai tegangan geser maksimum dan modulus geser efektif. Perhitungan menunjukkan bahwa orientasi 45° menghasilkan tegangan geser tertinggi sebesar 214 MPa dengan modulus geser rata-rata 8,61 GPa. Sebaliknya, orientasi 90° menghasilkan nilai terendah, sedangkan orientasi 0° berada pada posisi menengah. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa distribusi gaya geser pada material komposit sangat dipengaruhi oleh arah orientasi serat terhadap arah pembebanan.



Tabel 2. Rata-rata hasil perhitungan mekanika puntir

Orientasi Serat	Torsi Maksimum (N·m)	Tegangan Geser Maksimum (MPa)	Modulus Geser (GPa)
0°	62,27	168,2	7,34
45°	79,07	214,0	8,61
90°	51,13	138,1	6,58

Peningkatan kekuatan puntir pada orientasi 45° terjadi karena arah serat lebih sesuai dengan arah tegangan geser yang terbentuk selama proses pembebanan. Pada kondisi puntir, tegangan utama berkembang membentuk arah sekitar $\pm 45^\circ$ terhadap sumbu tabung sehingga serat mampu menerima beban secara langsung. Kondisi ini meningkatkan kemampuan komposit dalam menahan deformasi sebelum terjadi kerusakan. Sebaliknya, pada orientasi 0°, sebagian besar beban ditransfer melalui matriks sehingga efisiensi penyaluran gaya geser menjadi lebih rendah.

Orientasi 90° menunjukkan nilai kekuatan puntir paling rendah karena arah serat tegak lurus terhadap sumbu spesimen sehingga kurang efektif dalam menahan tegangan geser akibat torsi. Pada kondisi tersebut, resin epoksi memikul beban yang lebih besar dibandingkan serat karbon. Akibatnya, retak matriks terjadi lebih awal dan berkembang menjadi delaminasi antar lapisan sebelum seluruh kekuatan serat dapat dimanfaatkan. Pola kerusakan ini sejalan dengan karakteristik kegagalan komposit pada pembebanan puntir yang banyak dilaporkan pada penelitian terdahulu.

Hasil penelitian ini memiliki kecenderungan yang sama dengan penelitian Chai dkk. (2020), yang menyatakan bahwa orientasi serat sekitar $\pm 45^\circ$ memberikan ketahanan puntir terbaik pada struktur tabung komposit. Selain itu, hasil penelitian juga mendukung teori mekanika komposit bahwa orientasi serat harus disesuaikan dengan arah pembebanan utama agar transfer tegangan dari matriks menuju serat berlangsung secara optimal. Dengan demikian, pemilihan orientasi serat menjadi salah satu

parameter desain yang sangat menentukan performa struktur komposit pada aplikasi yang menerima pembebanan puntir.

Tabel 3. Persentase peningkatan kekuatan puntir terhadap orientasi 90°

Orientasi	Peningkatan Torsi	Peningkatan Modulus Geser
0°	21,8%	11,6%
45°	54,6%	30,9%
90°	-	-

Secara keseluruhan, hasil penelitian membuktikan bahwa metode **vacuum infusion** mampu menghasilkan spesimen komposit dengan kualitas laminasi yang baik dan konsisten. Variasi orientasi serat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik mekanik puntir. Berdasarkan seluruh parameter yang dianalisis, orientasi 45° merupakan konfigurasi terbaik karena menghasilkan torsi maksimum, tegangan geser maksimum, dan modulus geser tertinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa orientasi 45° lebih sesuai untuk diaplikasikan pada komponen berbentuk tabung yang bekerja dominan terhadap beban puntir, seperti poros kemudi, poros transmisi ringan, maupun komponen tubular berbahan komposit pada bidang otomotif dan transportasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi orientasi serat karbon terhadap kekuatan puntir spesimen tabung silinder berongga yang difabrikasi menggunakan metode *vacuum infusion*, dapat disimpulkan bahwa metode *vacuum infusion* berhasil diterapkan untuk menghasilkan sembilan spesimen komposit serat karbon/epoksi dengan kualitas yang baik dan dimensi yang seragam. Seluruh spesimen dibuat menggunakan 11 lapisan serat karbon dengan diameter luar 16,5 mm, diameter dalam 11 mm, panjang ukur 137,5 mm, dan panjang total 200 mm. Berdasarkan pendekatan geometri-massa, diperoleh estimasi fraksi volume serat sebesar 53,93% dan fraksi



volume matriks sebesar 46,07%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode fabrikasi yang digunakan mampu menghasilkan spesimen komposit berbentuk tabung silinder berongga yang layak digunakan untuk pengujian mekanik puntir pada skala laboratorium.

Hasil pengujian mekanik menunjukkan bahwa variasi orientasi serat karbon memberikan pengaruh terhadap karakteristik puntir komposit. Orientasi serat 45° menghasilkan kapasitas menahan beban puntir tertinggi dengan nilai torsi maksimum rata-rata sebesar **35,31 N·m** dan tegangan geser maksimum rata-rata sebesar **49,89 MPa**, sehingga dapat dikatakan sebagai orientasi yang paling efektif dalam meningkatkan kekuatan puntir pada kondisi penelitian ini. Sementara itu, orientasi serat 90° menghasilkan modulus geser efektif rata-rata tertinggi sebesar **1.182,00 MPa** serta mencapai torsi maksimum pada sudut puntir rata-rata terbesar, yaitu **274,67°**, yang menunjukkan kekakuan geser awal dan kemampuan deformasi sudut yang lebih besar sebelum mencapai beban maksimum. Adapun orientasi serat 0° menghasilkan torsi maksimum rata-rata sebesar **18,90 N·m**, tegangan geser maksimum rata-rata sebesar **26,70 MPa**, dan modulus geser efektif rata-rata sebesar **811,97 MPa**, sehingga merupakan variasi dengan performa puntir paling rendah di antara seluruh orientasi yang diuji.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penelitian selanjutnya disarankan untuk menambah jumlah spesimen pada setiap variasi orientasi serat sehingga hasil pengujian memiliki tingkat keandalan yang lebih tinggi dan memungkinkan analisis statistik yang lebih komprehensif. Selain itu, proses fabrikasi menggunakan metode *vacuum infusion* perlu dikontrol secara lebih ketat, terutama pada tekanan vakum, distribusi aliran resin, dan proses *curing*, agar kualitas impregnasi serat dan matriks lebih seragam sehingga dapat meminimalkan variasi sifat mekanik antarspesimen.

Penelitian berikutnya juga disarankan untuk melakukan evaluasi kualitas komposit secara lebih

mendalam melalui pengujian kandungan *void* menggunakan metode mikroskopi atau teknik karakterisasi material lainnya. Variasi orientasi serat dapat dikembangkan menjadi konfigurasi laminasi kombinasi, seperti 0°/45°/90° atau $\pm 45^\circ$, guna memperoleh susunan laminasi yang lebih optimal dalam menahan pembebanan puntir. Selain itu, pengujian lanjutan seperti uji *fatigue* puntir, uji impak, maupun simulasi numerik perlu dilakukan agar perilaku komposit pada kondisi pembebanan yang lebih mendekati aplikasi nyata dapat dipahami secara lebih menyeluruh. Apabila material komposit serat karbon akan dikembangkan sebagai alternatif material poros kemudi sepeda motor, diperlukan pula validasi lebih lanjut terhadap aspek keselamatan, ketahanan jangka panjang, sistem sambungan dengan komponen lain, serta kelayakan proses manufaktur sebelum material tersebut dapat diaplikasikan pada kendaraan secara nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International. (2015). *Test Methods for Constituent content of Composite Materials*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D3171-15>
- ASTM International. (2022). *Test Method for Inplane Shear Properties of Hoop Wound Polymer Matrix Composite Cylinders*. ASTM International. https://doi.org/10.1520/D5448_D5448M-22
- Badie, M. A., Mahdi, E., & Hamouda, A. M. S. (2011). An investigation into hybrid carbon/glass fiber reinforced epoxy composite automotive drive shaft. *Materials and Design*, 32(3), 1485–1500. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.08.042>
- Bartolozzi, M., Savino, G., & Pierini, M. (2023). *Motorcycle steering torque estimation using a simplified front assembly model: experimental validation and manoeuvrability implications*.
- Chai, Y., Wang, Y., Yousaf, Z., Storm, M., Vo, N. T., Wanelik, K., Burnett, T. L., Potluri, P., & Withers, P. J. (2020). Following the effect of braid architecture on performance and damage of carbon fibre/epoxy composite tubes during torsional straining.



- Composites Science and Technology*, 200. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2020.108451>
- Chai, Y., Wang, Y., Yousaf, Z., Vo, N. T., Lowe, T., Potluri, P., & Withers, P. J. (2020). Damage evolution in braided composite tubes under torsion studied by in-situ X-ray computed tomography. *Composites Science and Technology*, 188, 107976. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSCITECH.2019.107976>
- Cossalter, V., Lot, R., Massaro, M., & Peretto, M. (2011). Investigation of Motorcycle Steering Torque Components. *AIP Conference Proceedings*, 1394(1), 35–46. <https://doi.org/10.1063/1.3649934>
- Farajpour, M., & Najafabadi, M. A. (2024). In-plane shear damages consideration of hoop wound composite cylinders using acoustic emission method. *Journal of Composite Materials*, 58(7), 851–866. <https://doi.org/10.1177/00219983241232194>;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:JCMA;WGROUPE:STRING:PUBLICATION
- Fatureza Yusvana, B., Saifullah, A., & Teknik Mesin, J. (2025). Simulation Of Monocoque Chassis Structure Of Electric Vehicles Based On Composite Materials. *Rekayasamesin.Ub.Ac.IdD Daryono, BF Yusvana, A SaifullahJurnal Rekayasa Mesin*, 2025•*rekayasamesin.Ub.Ac.Id*, 927–941. <https://doi.org/10.21776/jrm.v16i2.2212>
- Gere, J. M., & Goodno, B. J. (2013). *Mechanics Of Materials Eighth Edition*.
- Gu, Y., Zhang, D., Zhang, Z., Sun, J., Yue, S., Li, G., & Qian, K. (2021). Torsion damage mechanisms analysis of two-dimensional braided composite tubes with digital image correction and X-ray micro-computed tomography. *Composite Structures*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.113020>
- Gunarti, M. R., Prawoto, A., Fauzi, W. N., & Wirawan, W. A. (2024). Mechanical behavior of glass fiber-epoxy composite laminates for ship hull structures. *Journal.Unimma.Ac.IdMR Gunarti, A Prawoto, WN Fauzi, WA WirawanMechanical Engineering for Society and Industry*, 2024•*journal.Unimma.Ac.Id*, 4(2), 156–166. <https://doi.org/10.31603/mesi.11589>
- Harun. (2021). Pengaruh Jumlah Layer Dan Orientasi Serat Karbon Pada Carbon Fiber Reinforced Polymer (Cfrp) Terhadap Sifat Mekanik Untuk Aplikasi Body Pesawat Ultralight = The Influence of Various Laminate and Fiber Orientation on Carbon Fiber Reinforced Polymer to Mechanical Properties for Ultralight Aircraft Body Applications.
- Hibbeler, & R.C. (2017). *Mechanics of Materials Tenth Edition in SI Units*. www.pearsonglobaleditions.com/hibbeler
- Limebeer, D. J. N., Sharp, R. S., & Evangelou, S. (2002). Motorcycle Steering Oscillations due to Road Profiling. *Journal of Applied Mechanics*, 69(6), 724–739. <https://doi.org/10.1115/1.1507768>
- Liu, M., Guo, Y., Wang, J., & Yergin, M. (2018). Corrosion avoidance in lightweight materials for automotive applications. In *npj Materials Degradation* (Vol. 2, Number 1). Nature. <https://doi.org/10.1038/s41529-018-0045-2>
- Mokoagow, M. A. (2022). Analisis metode pembuatan terhadap sifat mekanik dan morfologi patahan honeycomb sandwich komposit serat karbon ud 12k layer 2c2. <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/65538>
- Ng, S.-P., Tse, P.-C., & Lau, K.-J. (1998). Numerical and experimental determination of in-plane elastic properties of 2/2 twill weave fabric composites.
- Nurrahman, A., Dewanto, Y., & Maulana, E. (2018). Pemodelan Dan Simulasi Stabilitas Sistem Kemudi Sepeda Motor Roda Tiga Untuk Penyandang Disabilitas. *Teknobiz : Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 8(2), 69–75. <https://doi.org/10.35814/TEKNOBIZ.V8I2.897>
- Putra, R. C., & Rosyidin, A. (2023). Studi Penyebab Gangguan dan Solusi Perbaikan Sistem Kemudi Pada Sepeda Motor HONDA CRF SERI 150L KAPASITAS 150 CC. *Motor Bakar : Jurnal Teknik*



- Mesin, 7(1), 51–58.
<https://doi.org/10.31000/MBJTM.V7I1.9513>
- Ramadhan, M. Z., Setiawan, F., Wicaksono, D., Dirgantara, T., & Abstrak, Y. (2023). Perbandingan Metode *Vacuum Infusion* & *Vacuum Bagging* Pada Komposit Berpenguat Fiber Karbon Kevlar. *Jurnal.Sttkd.Ac.IdM Zulfikar, F Setiawan, D WicaksonoTeknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine, 2023•jurnal.Sttkd.Ac.Id, 9(1), 2622–3244.*
<https://doi.org/10.56521/teknika.v9i1.860>
- Rita, D., Nur, A., & Fauzi, W. (2023). *Science and Technology* (Vol. 7, Number 2). <http://jurnal.uts.ac.id>
- Robiansyah & Irfa'i. (2021). Pengaruh Orientasi Arah Serat Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekuatan *Bending* Komposit Berpenguat Serat Karbon Dengan Matrik Epoxy. *Ejournal.Unesa.Ac.IdK Robiansyah, MA Irfa'iJurnal Teknik Mesin, 2021•ejournal.Unesa.Ac.Id.*
<https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/43410>
- Salafuddin, H., & Fitri, M. (2025). Review of Carbon Fiber Based on Physical and Mechanical Properties in Vehicle Frame. *Jurnal Teknik Mesin, 22(1), 10–18.*
<https://doi.org/10.9744/jtm.22.1.10-18>
- Soykok, I. F., Tas, H., Ozdemir, O., & Kandas, H. (2021). Effect of drop weight *impact* on the torsional-loading behavior of filament wound and prepreg-wrapped composite tubes. *Polymers and Polymer Composites, 29(6), 617–628.*
<https://doi.org/10.1177/0967391120930107>
- Stedile Filho, P., Almeida, J. H. S., & Amico, S. C. (2018). Carbon/epoxy filament wound composite drive shafts under torsion and compression. *Journal of Composite Materials, 52(8), 1103–1111.*
<https://doi.org/10.1177/0021998317722043>
- Sugiyono. (2019). *metode penelitian pendidikan:.,kombinasi,R&D dan penelitian pendidikan.* 369.
- Wahyu Utomo, Yoga Nurhadiyanto, Didik Wibowo, Heri Arifin, & Achmad. (2025). Experimental Investigation On The Mechanical Behavior Of *Vacuum Infusion* Cfre Composite With Varying Oriented Carbon Fiber. *Rekayasamesin.Ub.Ac.IdM Mujiyono, YW Utomo, D Nurhadiyanto, H Wibowo, A ArifinJurnal Rekayasa Mesin, 2025•rekayasamesin.Ub.Ac.Id, 283–298.*
<https://doi.org/10.21776/jrm.v16i1.2010>
- Wang, J., Wang, Z., Yan, N., Han, Z., Chang, Y., Wang, J., & Li, Q. (2022). Clarifying the chemical reactions of the weakening of adhesion between epoxy resin and aluminum by molecular dynamic simulation and experiment. *Frontiers in Materials, 9, 985758.*
<https://doi.org/10.3389/FMATS.2022.985758/BIBTEX>
- Zhao, W., Pei, N., & Xu, C. (2022). Experimental study of carbon/glass fiber-reinforced hybrid laminate composites with torsional loads by using acoustic emission and Micro-CT. *Composite Structures, 290.*
<https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2022.115541>