

ANALISIS CARBON FIBER DENGAN BALSA WOOD CORE TERHADAP KEKUATAN MEKANIK MENGGUNAKAN UJI BENDING

Moh. Rifqi Khumaidillah

Firman Yasa Utama, S.Pd., M.T., Dyah Riandadari, S.T., M.T., Andita Nataria Fitri Ganda, S.T., M.Sc.
Email : moh.rifqi.19019@mhs.unesa.ac.id

D4 Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya

Abstrak

Kendaraan membutuhkan sebuah bodi, tidak hanya untuk memperindah tampilan mobil, tapi juga untuk melindungi pengendara dan komponen-komponen lainnya. Perkembangan dunia otomotif semakin pesat sehingga industri kendaraan dituntut memiliki kemajuan efisiensi, seperti menurunkan masa kendaraan. Performa motor penggerak menjadi lebih ringan akibat pengurangan masa yang akan berdampak pada konsumsi bahan bakar yang diperlukan. Bodi dan sasis kendaraan adalah salah satu area mobil yang masanya dapat berkurang. Pembuatan bodi kendaraan umumnya terbuat dari bahan plat logam (*Stell plate*) dan beberapa bagian yang terbuat dari *fiberglass* yang bersifat berat dan mudah mengalami kerusakan. Maka dari itu diperlukan inovasi dalam hal mereduksi masa kendaraan dengan penggunaan bahan *carbon fiber* yang sifatnya kuat, tahan lama dan ringan. Penelitian ini menggunakan core kayu balsa tebal 10 mm dengan variasi arah serat karbon 0°, 30°, 60° dan arah serat campuran yaitu 0° 30°, 0° 60°, 30° 60° dengan perlakuan *curing* temperatur Suhu kamar ($\pm 27^\circ\text{C}$) menggunakan metode *vacuum infusion*. Matriks yang digunakan berjenis *epoxy resin super clear* dengan *hardener resin super clear* dengan perbandingan matriks dan *hardener* adalah 2:1. Proses *vacuum* menggunakan tekanan 1/4 *Horse Power*, *number of stages* 1, dan perpindahan udara 3 *cubic fit per-minute* (*cfm*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi arah orientasi serat karbon terhadap hasil uji *bending* komposit *sandwich* pada core kayu balsa berpenguat serat karbon. Hasil penelitian ini adalah “tidak terdapat perbedaan yang signifikan kekuatan bending pada spesimen komposit *sandwich* variasi arah serat karbon menggunakan jenis core kayu balsa”. Hasil uji bending tertinggi pada material komposit sendwich serat karbon dengan core kayu balsa mampu menahan kerusakan 31,03MPa pada variasi arah serat 0°. Sedangkan hasil uji bending terendah pada material komposit sendwich serat karbon dengan core kayu balsa mampu menahan kerusakan 22,04MPa pada variasi arah serat campuran 30° 60°.

Kata Kunci: *Carbon fiber, Arah Serat, Bending, Komposit Sendwich, Vacuum Infusion.*

Abstract

Vehicles require a body not only for enhancing the appearance but also for protecting the driver and other components. With the rapid development of the automotive industry, vehicle manufacturers are being challenged to innovate in terms of efficiency, such as reducing the mass of vehicles. Mass reduction leads to lighter propulsion systems, which in turn affects fuel consumption. One part of a car that can be targeted for mass reduction is the body and chassis. Typically, car bodies are made from heavy materials like steel plates, with some parts made of fiberglass, which are prone to damage. Therefore, innovation is needed to reduce vehicle mass by using carbon fiber, which is strong, durable, and lightweight. This research utilized a 10mm thick balsa wood core with variations in carbon fiber orientation, including 0°, 30°, 60°, and mixed orientations such as 0° 30°, 0° 60°, and 30° 60°. The curing process was conducted at room temperature (approximately 27°C) using the vacuum infusion method. The matrix material used was a type of super clear epoxy resin, mixed with a super clear epoxy resin hardener in a ratio of 2:1. The vacuum process was carried out at a pressure of 1/4 Horse Power, with a single stage and an air displacement rate of 3 cubic feet per minute (cfm). The aim of this research was to investigate the influence of variations in carbon fiber orientation on the bending test results of the composite sandwich with a balsa wood core reinforced with carbon fiber. The results of this research indicate that there is no significant difference in bending strength among the composite sandwich specimens with various carbon fiber orientation variations using a balsa wood core. The highest recorded bending strength was 31.03 MPa for the carbon fiber composite sandwich with a 0° fiber orientation variation. The lowest recorded bending strength was 22.04 MPa for the carbon fiber composite sandwich with a mixed fiber orientation variation of 30° and 60°.

Keywords: *Carbon fiber, Fiber orientation, Bending, Composite sandwich, Vacuum infusion.*

PENDAHULUAN

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, material tersebut memiliki sifat fisik dan kimia yang berbeda tergantung fungsi dan kebutuhan (Matthews dkk, 1993). Komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari 3 lapisan yang terdiri dari *flat composite* sebagai *skin* berada diantara *core* atau inti. Komposit *sandwich* dirancang untuk seringan mungkin dengan tetap mempertahankan tingkat kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Oleh karena itu, *core* memasang bagian perantara antara dua *skin* untuk mendapatkan properti ini. Kekuatan struktur *sandwich* dipengaruhi oleh sifat mekanis *skin* dan *core*, tebal *skin* dan *core*, serta kekuatan ikatan antara *skin* dan *core* (Diharjo, 2011).

Pada tahun 2022, Lies Benowati, Muhammad Firdaus dan Harry Hartopo melakukan penelitian dengan judul *analisis pengaruh jumlah layer skin pada komposit sandwich carbon fiber core kayu balsa terhadap karakteristik kekuatan bending dan kekuatan impact* pada penelitian tersebut kekuatan bending tertinggi untuk komposit sandwich carbon fiber *core* kayu balsa yaitu pada variasi 2 layer sebesar 94 Mpa dan kekuatan banding terendah yaitu ada variasi 6 layer *skin* sebesar 63 Mpa. Dimana untuk modulus kegagalan yang terjadi adalah *core shear* (lemahnya kekuatan *core*), *Micro buckling* dan *bond failure* (terlepasnya *skin* dengan *core*).

Pada komposit dengan *filler*/penguat serat (*Fiber*) arah orientasi merupakan suatu hal yang harus diperhatikan sebelum membuat material. Arah orientasi serat pada komposit sangat dipengaruhi kekuatan dan distribusi tegangan yang diterima oleh material. Setyo Wahyu Eko Utomo (2020) melakukan penelitian dengan judul “*Kekuatan impak dari Serat Rami Sandwich Fiber Laminate Hybrid Composite (FML) dengan Penguat Serat Karbon dipengaruhi oleh fraksi volume dan arah komposit*”. Hasil temuan penelitian ini, uji anova dua arah menunjukkan bahwa kekuatan *impact* dan Bending dipengaruhi oleh arah orientasi serat rami, dengan kekuatan *impact* dan *bending* meningkat seiring dengan orientasi serat rami. Berkurang dari 90°, 45°, dan 0° dengan nilai yang besar

Proses *curing* melibatkan pemanasan material komposit ke suhu di atas suhu kamar untuk mempolimerisasi resin dan meningkatkan kemampuan ikatannya dengan serat. Untuk menawarkan ikatan silang untuk material komposit, suhu *curing* harus dinaikkan. Hal ini meningkatkan kecepatan *curing* yang diikuti oleh pemadatan matriks/resin, pada proses *curing* ini bisa mengurangi rongga-rongga yang ada didalam komposit sehingga dihasilkan komposit yang berkualitas. Pada penelitian yang dilakukan oleh Wahyu Budi Utomo (2020) dengan judul “*Pengaruh variasi core, temperatur curing dan post-curing terhadap karakteristik bending komposit sandwich serat karbon dengan metode vacuum infusion*” penelitian yang dilakukan menggunakan variasi *core* kayu balsa, *honeycomb polypropylene*, *PVC foam board*. Setiap *core* terdiri dari tiga spesimen dengan menerima perlakuan yang

berbeda. Spesimen pertama di-*curing* pada suhu 27°C selama 24 jam, spesimen kedua di-*curing* pada suhu 27°C selama 24 jam, diikuti *post-curing* pada suhu 90°C, dan spesimen ketiga di-*curing* pada suhu 90°C selama 24 jam. penelitian ini menghasilkan nilai kekuatan *bending* maksimum terdapat pada *core* kayu balsa dengan temperatur proses *curing* 27°C selama 24 jam.

Serat serat karbon adalah jenis serat yang digunakan dalam penelitian ini. Dibandingkan dengan logam atau serat lainnya, serat karbon memiliki kelebihan karena lebih kuat dan lebih ringan. Zat yang dikenal sebagai serat karbon, karbon grafit, atau CF sebagian besar terdiri dari atom karbon dan untaian yang sangat tipis dengan diameter 0,005-0,010 mm. (kopeliovich & Dimitri, 2012).

Ada beberapa metode yang digunakan untuk proses pembuatan komposit seperti *hand lay up*, *vacuum bag*, *pressure bag*, *spray up*, *filamen winding*. Beberapa waktu terakhir, matriks epoksi digunakan untuk membuat konstruksi komposit menggunakan metode *infusion resin*, yang semakin populer. Misalnya dibandingkan dengan teknik konvensional, proses infus resin memungkinkan produksi potongan yang rumit dan tebal dengan kualitas yang unggul. Suyadi, Hafez Haris Ariya (2015) melakukan penelitian Dalam “*Pengaruh Metode Hand Lay Up dan Vacuum Infusion Terhadap Sifat Mekanik Material Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) Pada Pembuatan Kapal Patroli beacukai*” penulis membahas temuannya. Berdasarkan temuan penelitian, teknik *hand lay up* memiliki nilai rata-rata 1644,47 kg/cm², sedangkan nilai rata-rata untuk uji tarik adalah 2463,28 kg/cm². Rata-rata hasil uji bending metode infus vakum adalah 3007,58 kg/cm², sedangkan hasil *hand lay up* adalah 2583 kg/cm². Infus vakum menggunakan jumlah bahan yang sama tetapi 11,11% lebih efisien dalam hal waktu yang dibutuhkan. Sesuai dengan kebutuhan material, teknik *hand lay-up* menghasilkan hasil yang sama di area yang sama dengan 6,3 kg resin dan 63 cc katalis, sedangkan metode infusi vakum menghasilkan 3 kg resin dan 15 cc katalis. pendekatan vakum karena itu dapat digunakan untuk kebutuhan material.

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, penulis sangat tertarik untuk “*Analisis Kekuatan Mekanik Bending Carbon Fiber Menggunakan Variasi Arah Serat Skin Dan Balsa Wood Core Dengan Metode Vacuum Infusion*”. Dengan bantuan studi eksperimental ini, diharapkan dapat tercipta komposisi material komposit yang kuat, ulet dan ringan. Sebagai manufaktur bodi kendaraan atau produk komersil lainnya.

METODE

Penelitian ini akan menggunakan teknik pendekatan kuantitatif sebagai metodologinya. Dimungkinkan untuk mendefinisikan metode penelitian kuantitatif sebagai metode yang didasarkan pada filosofi *positivisme* dan digunakan untuk mempelajari populasi atau sampel tertentu. Teknik pengambilan sampel biasanya acak, instrumen penelitian digunakan untuk pengumpulan data, dan statistik kuantitatif digunakan untuk analisis data

dengan tujuan menguji hipotesis yang telah dikembangkan.

Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat Penelitian

Pembuatan spesimen dilaksanakan di Workshop Garuda Unesa Recing Team (GARNESA) Universitas Negeri Surabaya. Pengujian spesimen bending dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang (POLINEMA).

Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada semester genap 2022/2023

Objek Penelitian

Objek yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah komposit *sandwich* serat karbon dengan *core* kayu balsa, variasi arah serat karbon 0°, 30°, 60° dan arah serat campuran yaitu 0° 30°, 0° 60°, 30° 60° dengan perlakuan *curing* temperatur Suhu kamar ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) menggunakan metode *vacuum infusion*. Target dan harapan utama penelitian ini adalah mengkaji pengaruh arah serat karbon terhadap *core* kayu balsa menggunakan perlakuan *curing* temperatur terhadap kekuatan *bending*.

Variabel Penelitian

Variabel Bebas (Independent Variable)

Dalam penelitian ini yang menjadi variabel bebas adalah variasi Arah serat karbon 0°, 30°, 60° dan arah serat campuran 0° 30°, 0° 60°, 30° 60°.

Variabel Terikat (Dependent Variable)

Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah hasil uji *bending*.

Variabel Kontrol (Control variable)

- Matriks yang digunakan berjenis *epoxy resin super clear* dengan *hardener resin super clear*
- Perbandingan matriks dan *hardener* adalah 2:1.
- *Curing* temperatur pada suhu kamar ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) selama 24 jam
- Tekanan *vacuum* yang digunakan sebesar $\frac{1}{4}$ HP dengan perpindahan udara 3 *cubic fit per-minute* (*cfm*).
- Tebal *core* komposit *sandwich* sebesar 10mm.
- Menggunakan serat karbon tipe *weave 4x4 twill*, berat 10,2oz/300gsm, ketebalan 0,3mm dan *yarn size* 3K.

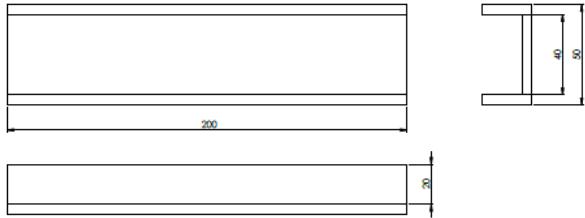
Rancangan Penelitian



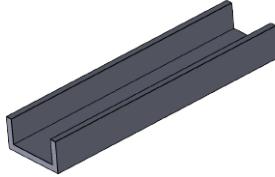
Gambar 1 Flowchart Penelitian

Penelitian dimulai dengan studi literatur dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, dan skripsi. Menentukan identifikasi masalah berdasarkan hasil dari penelitian sebelumnya dan studi literatur. Menentukan rumusan masalah beserta tujuan penelitian yang ingin dicapai. Perhitungan fraksi volume cetakan, fraksi volume *core*, dan fraksi volume matrik yang digunakan agar sesuai dengan kebutuhan. Pembuatan *core*, skin dan arah serat karbon terdiri dari pengukuran kemudian dipotong-potong sesuai ukuran yang diinginkan. Pompa vakum $\frac{1}{4}$ HP dan teknik infus vakum tertutup digunakan untuk membuat komposit *sandwich*. Kemudian dengan menggunakan suhu ruangan, proses *curing* dilakukan selama 24 jam. Bentuk *sandwich* sudah selesai dan dikeluarkan dari cetakan. Komposit tersebut kemudian diperiksa kekurangannya setelah itu. Jika terdapat kekurangan, konfigurasi tidak dapat diterapkan sebagai gantinya, prosedur pembuatan harus dimulai kembali. Material komposit kemudian dipotong sesuai dengan spesifikasi ASTM D 790-03 untuk uji *bending*. Selanjutnya, tiga benda uji untuk masing-masing variabel akan dibending selama pengujian. Data uji *bending* yang telah dibatasi dalam satuan (Mpa) diperoleh setelah proses pengujian. Data uji *bending* dihitung untuk

memperoleh nilai rata-rata. Hasil uji bending pada benda uji kemudian dilihat untuk melihat bagaimana pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat. Faktor otonom dimasukkan variasi arah serat karbon yang terdiri dari arah 0° , 30° , 60° dan arah serat campuran yaitu 0° 30° , 0° 60° , 30° 60° . Penentuan ini berdasarkan peninjauan dan studi literatur penelitian relevan.



Gambar 2 Ukuran Molding



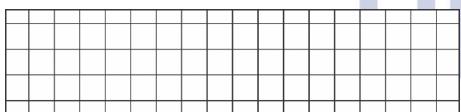
Gambar 3 Ilustrasi Molding



Gambar 4 Ilustrasi Carbon Sandwich

Pengaturan Arah Serat Karbon

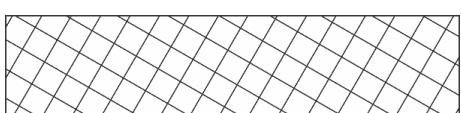
Salah satu aspek yang memengaruhi kemampuan material komposit untuk mendapatkan hasil terbaik saat menggunakan komposit sandwich adalah arah peletakan lamina. Material yang dipakai adalah carbon fiber dengan *filament* 3000. Variasi arah serat dapat dilihat dari gambar berikut



Gambar 5 Ilustrasi Arah Serat Carbon Fiber 0°

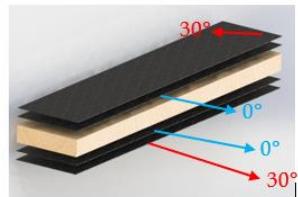


Gambar 6 Ilustrasi Arah Serat Carbon Fiber 30°



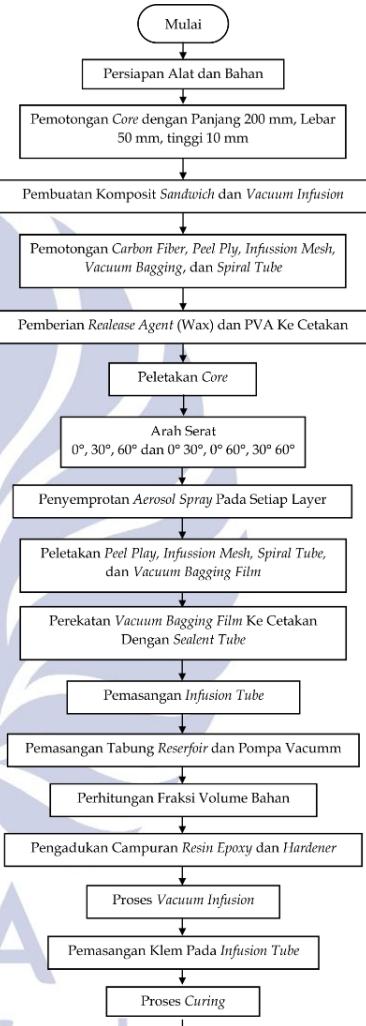
Gambar 7 Ilustrasi Arah Serat Carbon Fiber 60°

Arah serat campuran terdiri dari 0° 30° , 0° 60° , 30° 60° di setiap benda uji. Benda uji *carbon sandwich* memiliki 4 *skin* yang terdiri dari 2 *skin* primer dan 2 *skin* skunder



Gambar 8 Ilustrasi Arah Serat *Carbon Fiber* Campuran

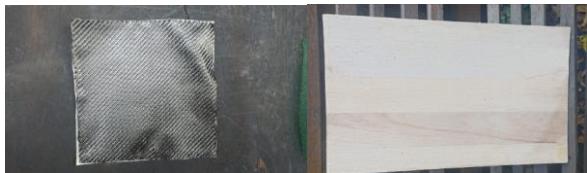
Proses Pembuatan Komposit



Gambar 9 Flowchart Proses Pembuatan Komposit Sandwich

Persiapan bahan

Proses persiapan bahan diawali dengan pembelian bahan yaitu kayu balsa, *carbon fiber*, dan resin *epoxy*. Pembelian kayu balsa didapatkan dari pengrajin yang berada daerah Kab. Sidoarjo, *Carbon fiber* didapatkan dari toko carbon *composite* yang berada di kota Bandung dan resin *epoxy* didapatkan dari toko kimia yang ada di Ngagel Surabaya. Bahan tersebut kemudian dibentuk dengan cara dipotong sesuai dimensi cetakan yang telah ditentukan sebelumnya dan selanjutnya ditata sesuai susunan pada cetakan.



Gambar 10 Carbon Fiber dan Kayu Balsa
Persiapan alat

Pada penelitian ini untuk pembuatan spesimen menggunakan metode *vacuum infusion*. Peralatan yang perlui disiapkan diantaranya adalah pompa vakum merek value, *catch pot* (tabung reservoir), *infusion tube*, *spiral tube*, *vacuum bagging film*, *peel ply*, *infusion mesh*, T connector, dan stop kran yang didapatkan dari toko carbon composite. Cetakan komposit menggunakan bahan akrilik dengan ketebalan 3 mm.



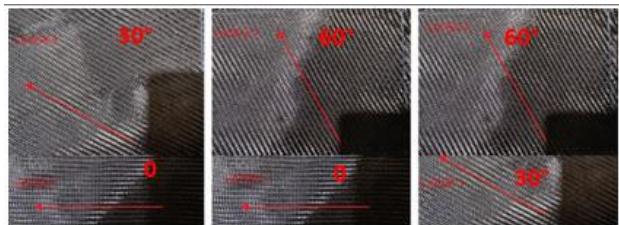
Gambar 11 Tabung Reservoir, Vacuum, Infusion Tube, Spiral Tube, T Connector, Peel Ply, Vacuum Bagging, Infusion Mash

Proses Pembuatan

proses pembuatan spesimen hal yang pertama dilakukan adalah pemotongan *carbon fiber*, *vacuum bagging film*, *infusion mesh*, *peel ply* dan *spiral tube* sesuai ukuran cetakan. Selanjutnya cetakan diberi *wax (mirror glaze)* kemudian ditunggu hingga kering. Pada bagian tepi cetakan diberi *sealant tape* untuk merekatkan *vacuum bagging film* agar tidak terjadi kebocoran resin dan kebocoran udara. Peletakan *carbon fiber* sebanyak dua lapis pada bagian primer (atas) dan sekunder (bawah) dengan arah serat yang telah ditentukan. Dilanjutkan dengan peletakan *core* serta pemasangan *peel ply*, *infusion mesh*, *siral tube* dan T connector. Langkah terakhir adalah penutupan menggunakan *vacuum bagging film*. Setiap lapisan disemprot dengan *spray adhesive* sebagai perekat agar tidak bergerak ketika dilakukan proses vakum.



Gambar 12 Arah Serat Singel Layer



Gambar 13 Arah Serat Campuran

Untuk *spesimen* dengan arah serat campuran susunan arah serat *carbon fiber* seperti pada gambar 13 dimana setiap speismennya terdiri dari dua layer *skin primer* (atas) dan dua layer *skin skunder* (bawah). Sebagai contoh pada arah serat $0^{\circ} 30^{\circ}$, pada *skin layer* pertama pada susunan primer (atas) menggunakan arah serat 0° , untuk *skin layer* kedua menggunakan arah serat 30° begitupun dengan susunan arah serat *skin skunder* (bawah) dimana *skin layer* pertama menggunakan arah serat 0° , untuk *skin layer* kedua menggunakan arah serat 30° .

Setelah proses penyusunan dalam cetakan selesai, maka selanjutnya adalah proses pemvakuman, dimana cetakan yang telah dibungkus dengan *peel ply*, *infusion mesh*, dan *vacuum bagging film* akan ditekan menggunakan pompa *vacuum*. Langkah pertama yaitu pengujian tekanan kebocoran pada spesimen, apabila masih terdapat kebocoran maka dilakukan pembenahan lagi pada area *sealant tape*. Berikutnya melakukan penimbangan resin *epoxy* dan *hardener* dengan perbandingan yang telah ditentukan. Pompa vakum selanjutnya akan mendistribusikan resin dan *hardener* secara merata pada cetakan melalui injektor yang terdapat pada spesimen.

Proses Curing

Proses *curing* menggunakan suhu ruang pada temperatur $\pm 27^{\circ}\text{C}$. Proses *vacuum infusion* sudah selesai dilanjutkan proses *curing*. Proses *curing* di lakukan di ruaga workshop GARNESA RACING TEAM UNESA selama 24 jam. Pada saat *curing* temperatur spesimen masih dalam keadaan mengalami tekanan dari hasil proses *vacuum infusion*.



Gambar 14 Proses Curing Temperatur

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Bending

Tabel 1 Tabel Hasil Pengujian Beban Maksimum (Kg)

Skin Layer	Arah Serat Carbon Fiber	Spesimen	Beban Maksimum (Kg)
2 Layer	0°	1	183,40
		2	172,40
		3	125,80
		Rata - Rata	160,53

Skin Layer	Arah Serat Carbon Fiber	Spesimen	Beban Maksimum (Kg)
2 Layer Arah Serat Campuran	30°	1	52
		2	148
		3	174,20
		Rata - Rata	124,73
	60°	1	126,60
		2	115,40
		3	155,60
		Rata - Rata	132,53
3 Layer Arah Serat Campuran	0°, 30°	1	143,80
		2	131,20
		3	137
		Rata - Rata	137,33
	0°, 60°	1	132,80
		2	138,60
		3	209,60
		Rata - Rata	160,33
	30°, 60°	1	164,40
		2	134
		3	43,60
		Rata - Rata	115

hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan beban *bending* maksimal dalam satuan kilogram (kg). Untuk memperoleh kekuatan *bending*, beban maksimal harus dikonversi menjadi newton (N). Perhitungan untuk mengkonversi satuan kilogram (kg) menjadi newton (N) dapat dihitung sebagai berikut dengan contoh variasi 60°:

$$P = \text{Beban maksimal (kg)} \times \text{Gravitasi} \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

$$P = 126,60 \text{ kg} \times 9,8 \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

$$P = 1240,68 \text{ kg} \cdot \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

$$P = \mathbf{1240,68 \text{ N}}$$

Dari hasil konversi yang telah dilakukan didapatkan P maks bending dari masing-masing variabel dalam satuan Newton (N). Untuk mendapatkan kekuatan bending komposit dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2}$$

$$\sigma = \frac{3 \times 1240,68 \text{ N} \times 100\text{mm}}{2 \times 50\text{mm} \times 12,33^2\text{mm}}$$

$$\sigma = \frac{372204 \text{ Nmm}}{15202,89\text{m}^3}$$

$$\sigma = 24,48 \text{ Nmm}^2$$

$$\sigma = \mathbf{24,48 \text{ MPa}}$$

Keterangan:

σ = Tegangan bending (MPa)

P = Beban Maksimal (N)

L = lebar span (mm)

b = lebar spesimen (mm)

d = tebal spesimen (mm)

Perhitungan untuk mendapatkan nilai rata-rata dari uji *bending* dapat dihitung sebagai berikut:

$$\sigma_{\text{rata-rata}} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

$$\sigma_{\text{rata-rata}} = \frac{24,48 + 22,31 + 30,09}{3}$$

$$\sigma_{\text{rata-rata}} = \frac{76,88}{3}$$

$$\sigma_{\text{rata-rata}} = \mathbf{25,62 \text{ MPa}}$$

Pembahasan

Tabel 2 Tabel Hasil Pengujian Bending (Mpa)

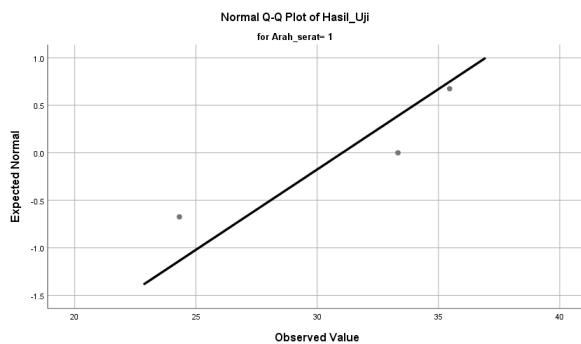
Skin Layer	Arah Serat Carbon Fiber	Spesimen	Hasil Uji Bending (MPa)
2 Layer	0°	1	35,46
		2	33,33
		3	24,32
	30°	Rata - Rata	31,03
		1	10
		2	28,62
		3	33,68
	60°	Rata - Rata	24,10
		1	24,48
3 Layer		2	22,31
0°, 30°	3	30,09	
	Rata - Rata	25,62	
	1	27,80	
	2	25,37	
	3	26,46	
0°, 60°	Rata - Rata	26,54	
	1	25,68	
	2	26,8	
30°, 60°	3	40,53	
	Rata - Rata	31	
	1	31,79	
4 Layer	0°	2	25,91
		3	8,43
		Rata - Rata	22,04

Uji Statistika

Kami menggunakan program SPSS 25 untuk mengukur sejauh mana pengaruh temuan penelitian. Pada aplikasi ini akan digunakan metode ANOVA tunggal (One Way ANOVA) untuk mengevaluasi data. Sebelum menjalankan uji ANOVA, data harus diperiksa untuk memastikan bahwa data tersebut homogen (memiliki distribusi yang sama di semua variasi), terdistribusi normal, dan tidak terkait satu sama lain. Oleh karena itu,

penting untuk melakukan uji homogenitas dan normalitas terlebih dahulu.

Uji Normalitas



Gambar 15 Grafik Uji Normalitas

Berikut kriteria pengambilan keputusan :

- 1) Data dianggap berdistribusi menyimpang jika sig. nilainya kurang dari 0,05.
- 2) Data dinyatakan berdistribusi normal jika sig. lebih besar dari 0,05.

Uji homogenitas dilakukan, hasil pengujian yang terkumpul menunjukkan bahwa variabel tersebut memiliki nilai sig lebih dari 0,05 yang menunjukkan bahwa data uji berdistribusi normal.

Uji Homogenitas

Tabel 3 Hasil Uji Homogenitas Pengujian Bending

Test of Homogeneity of Variances				
	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Hasil_Uji Based on Mean	3.302	5	12	.042
Based on Median	.557	5	12	.731
Based on Median and with adjusted df	.557	5	7.231	.731
Based on trimmed mean	2.926	5	12	.059

Berikut kriteria pengambilan keputusan:

- 1) Data dianggap berdistribusi menyimpang jika sig. nilainya kurang dari 0,05, data dinyatakan tidak homogen.
- 2) Data dinyatakan homogen apabila nilai sig. lebih dari 0,05.

Hasil ujian homogenitas memiliki nilai tertinggi sig. sebesar 0,731 yang diatas nilai 0,05 tetapi pada pengujian homogenitas terdapat nilai 0,042 dimana nilai tersebut masih dibawah 0,05 sebagai nilai sig data dapat dikategorikan tidak homogen. Meskipun demikian, masih memungkinkan untuk dilanjutkan ke tahap uji ANOVA dengan data yang normal tetapi tidak homogen. (Irfan, 2019).

Uji Anova

Analisa yang menggunakan berbagai teknik ANOVA harus memiliki spekulasi sebelum dapat mencapai suatu determinasi, teori yang diajukan adalah.

- 1) Ho
Tidak terdapat perbedaan yang signifikan kekuatan bending pada spesimen komposit sandwich dengan

variasi arah serat karbon dengan jenis *core* kayu balsa.

- 2) Ha

Terdapat perbedaan yang signifikan kekuatan *bending* pada spesimen komposit *sandwich* dengan variasi arah serat karbon dengan jenis *core* kayu balsa.

Berikut adalah tabel uji anova dari data pengujian bending.

Tabel 4 Hasil Uji Anova Pengujian Bending

ANOVA

Hasil_Uji	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	200.828	5	40.166	.568	.723
Within Groups	848.190	12	70.682		
Total	1049.017	17			

Perbandingan p hitung dengan tingkat signifikansi 5% (0,05) berfungsi sebagai dasar penilaian pada ANOVA berulang. dalam keadaan berikut:

- 1) Ho disetujui jika Sig. temuan aritmatika > 0,05; lain, Telah ditolak.
 - 2) Ho ditolak sedangkan Ha disetujui jika Sig. nilai aritmatika kurang dari atau sama dengan 0,05.
- Sig. Nilai uji bending adalah 0,723 sesuai dengan temuan yang dihitung pada tabel 4.5. menurut Sig. Ho disetujui dan Ha ditolak, atau dengan kata lain, tidak ada perubahan yang berarti dalam kekuatan bending spesimen *carbon sandwich* dengan variasi arah jenis inti serat karbon dan kayu balsa, sesuai dengan data pada tabel 4.5.

Analisa Data Nilai Kekuatan Bending



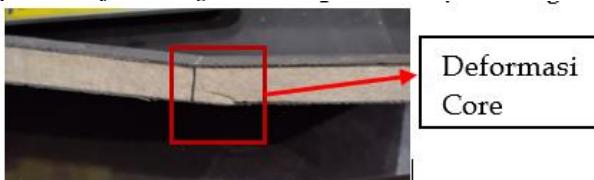
Gambar 16 Grafik Hasil Pengujian Bending

Berdasarkan gambar 16 mengilustrasikan keterkaitan antara perubahan arah serat karbon yang memanfaatkan inti kayu balsa dan nilai kekuatan bending. Gambar tersebut menunjukkan bahwa arah serat 0° memiliki nilai rata-rata 31,03Mpa, yang dapat dianggap lebih besar dari pada variasi arah serat singel 30°, 60° dan arah serat campuran 0° 30°, 0° 60° dan 30° 60°. Sedangkan arah serat campuran dengan variasi 30° 60° memiliki nilai rata rata 22,04Mpa yang dapat diartikan memiliki nilai paling rendah dari pada variasi 0°, 30°, 60° dan arah serat campuran 0° 30° dan 0° 60°. Pada variasi arah serat 0° penyebaran resin *epoxy* terdistribusi sangat baik pada area *skin* dan *core* kayu balsa sehingga pada setiap spesimen mampu menahan beban maksimum dan mendistribusikan tekanan

dari uji bending secara merata ke seluruh area spesimen untuk mendapatkan hasil uji bending terbaik 31,03Mpa. Sedangkan pada variasi arah serat campuran 30° 60° resin *epoxy* tidak terdistribusi secara merata sehingga pada saat pengujian *bending* pembebanan tidak terdistribusi merata pada setiap area spesimen sehingga memiliki hasil uji *bending* terendah 22,04Mpa.

Kegagalan Uji Bending

Dari hasil pengujian *bending* selain data kekuatan bending (*flexural strength*) patahan spesimen juga digunakan untuk menganalisa hasil pengujian spesimen, dimana dari hasil. Berikut adalah hasil dari analisa patahan uji *bending*.



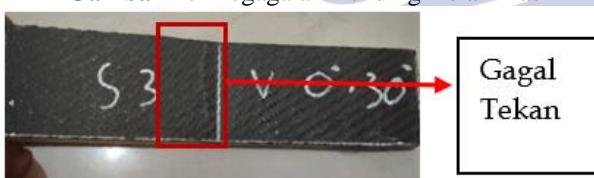
Gambar 17 Kegagalan Bending Core Retak



Gambar 18 Kegagalan Bending Core Retak Dan Delaminasi



Gambar 19 Kegagalan Bending Delaminasi



Gambar 20 Kegagalan Bending Gagal Teken

Pada spesimen *bending* variasi 0 ° jenis kegagalannya yaitu delaminasi dan deformasi *core*. Jenis kegagalan pada variasi 30° 60° adalah Delaminasi. Jenis kegagalan pada variasi 0°30° adalah gagal tekan pada *skin*. Tegangan lentur berlebihan yang diteruskan dari kulit bawah ke inti inilah yang menyebabkan deformasi inti. Inti mengalami deformasi karena tidak dapat menahan beban. Distorsi inti, yang dimulai dari bawah, menjadi buktinya. Batas elastisitas kulit bagian atas terlampaui saat terdistorsi, yang mencegah kulit terkompresi. Setelah inti terdeformasi oleh tegangan tekuk, cangkang yang pertama kali terkena beban tekan akhirnya runtuh.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dapat dikatakan bahwa "Tidak terdapat perbedaan kekuatan bending yang signifikan pada spesimen komposit sandwich variasi serat karbon dengan

menggunakan jenis inti kayu balsa" berdasarkan temuan penelitian dan analisis data menggunakan uji serat ANOVA yang telah dilakukan pada karbon *komposit sandwich*. Hasil uji bending tertinggi pada material komposit sandwich serat karbon dengan core kayu balsa mampu menahan kerusakan 31,03Mpa pada variasi arah serat 0°. Sedangkan hasil uji bending terendah pada material komposit sandwich serat karbon dengan core kayu balsa mampu menahan kerusakan 22,04Mpa pada variasi arah serat campuran 30° 60°.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka diperoleh saran sebagai berikut:

1. Diperlukan penyemprotan *spray adhesive* yang lebih banyak sehingga Kulit dapat menempel dengan sempurna. Delaminasi atau pengelupasan inti dengan kulit mendominasi jenis kegagalan komposit dalam penelitian ini.
2. Penting untuk memperhatikan arah aliran resin epoksi selama prosedur infus vakum untuk memastikan bahwa hasilnya konsisten di atas dan di bawah *skin*.
3. Beberapa pemeriksaan kebocoran pada cetakan, film kantong vakum, sambungan selang, tabung reservoir, dan keran harus dilakukan sebelum proses infus vakum.
4. Untuk mencegah agar rongga udara tidak terperangkap dalam material komposit dan mengurangi kekuatan bendingnya, kehati-hatian harus diberikan selama injeksi resin epoksi, pengadukan, dan pencetakan matriks.
5. Penelitian lebih lanjut bisa dikembangkan dengan menambahkan variasi tekanan pada proses *vacuum infusion*.

DAFTAR PUSTAKA

- Benowati, L., Firdaus, M., & Hartopo, H. (2022). Analisa Pengaruh Jumlah Layer Sirkuit Pada Komposit Sandwich Carbon Fiber Core Kayu Balsa Terhadap Karakteristik Kekuatan Bending Dan Kekuatan Impact. *Universitas Nurtniai*, 57-68.
- Diharjo, K. (2011). Kekuatan Bending Komposit Sandwich Serat gelas Dengan Core Divinycell PVC H-60 (pengaruh Orientasi Serat jumlah Laminat Dan Tebal Core Terhadap kekuatan bending). *Universitas Sebelas Maret*, 313-319.
- Utomo, S. W. (2020). Pengaruh Fraksi Volume Dan Arah Orientasi Serat Rami Komposit Hibrid Sandwich Fibre Metal Laminate (FML) Berpenguat Serat Carbon Terhadap Kekuatan Impak. *Universitas Negeri Surabaya*, 73-79.
- Utomo, W. B. (2021). Pengaruh Variasi Jenis Core, Temperatur Curing Dan Post-Curing Terhadap Karakteristik Bending Komposit Sandwich Serat Karbon Dengan Metode Vacuum Infusion. *Universitas Negeri Surabaya*, 45-54.

Sari, N. (2018). Analisa Pengaruh Sudut Karbon Twill Dan Fiber E-Glass Dengan Core Polyurethane Pada Komposit Sandwich Menggunakan Metode Bagging Vacuum dan Pengujian Three Point Bending. *Institut Teknologi Sepuluh Noverember*.

Supriyadi, R. A., Styowati, V. A., & Rosidah, A. A. (2021). Pengaruh Jumlah Layer Dan Orientasi Sudut Filler Karbon Pada Plymer Matrix Composite Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impact. *Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya*, 149-156.

Saputra, I. N., & Suwarta, P. (2012). Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur dan Waktu Terhadap Karakteristik Tarik Komposit Polyester Partikel Hollow Glass Microspheres. *Institut Teknologi Sepuluh Noverember*.

Febriyanto, S. (2011). Penggunaan Metode Vacuum Assisted Resin Infusion Pada Bahan Uji Komposit Sandwich Untuk Aplikasi Kapal Bersayap Wise-. *Universitas Indonesia*.

