

Karakterisasi Komposit Serat Karbon Epoksi untuk Perangkat Elektronik Berdasarkan Densitas dan Kekasaran Permukaan Menggunakan Metode Vacuum Assisted Resin Infusion

Nasywa Salmanova Haryanto¹, Deri Teguh Santoso², Kosim Abdurrohman³

Program Studi Teknik Mesin, Teknik, Universitas, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jl. HS.Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Singaperbangsa Karawang

^{1,2}Jl. HS.Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 4136, Indonesia

³Program Studi Teknik Mesin, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

³Jl. Raya LAPAN, Rumpin Bogor, Jawa Barat 16350, Indonesia

¹nasywasalmanova@gmail.com

²deri.teguh@ft.unsika.ac.id

³kosi001@brin.go.id

INFORMASI ARTIKEL

diajukan : 24-04-2026
revisi : 27-04-2026
diterima : 12-05-2026
dipublish : 30-06-2026

ABSTRAK

Penelitian ini menjelaskan serat karbon *unidirectional* (UD) menggunakan metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI). Material komposit memiliki keunggulan yang terdiri dari serat karbon UD dan resin *epoxy* 1011, dikembangkan untuk meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan ketahanan terhadap korosi, sekaligus mengurangi bobot struktur udara. berupa massa jenis $\pm 2,3$ g/cm, biasanya digunakan konfigurasi komposit *carbon* dan *Kevlar hybrid* dengan susunan laminasi simetris untuk meningkatkan performa mekanik material. Metode VARI yang meliputi persiapan cetakan, pemasangan sistem vakum, penyusunan serat, hingga proses *impregnation* resin di bawah tekanan *vacum*. Setelah proses curing selama 24 jam pada suhu ruang, panel komposit dipotong sesuai standar ASTM. Komposisi material terdiri dari 30% serat karbon dan 70% resin. Densitas diukur menggunakan densitometer berbasis prinsip Hukum *Archimedes* dengan hasil rata-rata sebesar 1,25 g/cm³. Serat karbon memiliki potensi sebagai bahan struktural ringan biasa aplikasi kombinasi kekuatan mekanik dan konduktivitas listrik tertentu.

Kata kunci : Serat *Unidirectional*; *Vacuum Assisted Resin Infusion*; Densitas; Resin Epoksi 1011; Surface roughness

PENDAHULUAN

Material komposit yang diperkuat dengan serat sintetis kini semakin luas pemanfaatannya di berbagai sektor, seiring dengan kemajuan teknologi yang berkembang pesat, tidak hanya terbatas pada sektor otomotif, tetapi juga meluas ke transportasi udara seperti pesawat di bagian *landing gear* dan *Wings*. Komposit adalah material yang terbentuk dari gabungan dua atau lebih bahan berbeda yang penyatuannya tidak berlangsung secara homogen, di mana masing-masing komponen memiliki sifat mekanik yang berbeda. Secara umum, material ini terdiri atas *fiber* yang berfungsi sebagai penguat dan *matrix* yang berperan sebagai pengikat *fiber*, sehingga menghasilkan sifat mekanik dan karakteristik yang lebih unggul dibandingkan material penyusunnya secara terpisah (Abdurohman, K 2025). Dalam beberapa tahun terakhir, material komposit semakin banyak di gunakan pada *industry Kedirgantaraan* karena kemampuannya dalam meredam getaran, *coefficient* mulai *thermal* yang rendah, serta ketahanan korosi yang baik. Seiring dengan perkembangannya, Jenis serat penguat yang dimanfaatkan tidak terbatas pada serat sintetis seperti *fiberglass*, tetapi juga telah berkembang penggunaan *natural fiber*. Meskipun material komposit masih memiliki keterbatasan tertentu, seperti tingginya penyerapan air dan rendahnya ketangguhan patah (Abdurohman, K. M 2016)

Pembuatan komposit terdiri dari berbagai teknik, salah satunya adalah *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) yang banyak dikembangkan untuk komposit berbasis *polymer*. Metode *non- Vacuum* proses VARI membutuhkan kondisi pencetakan yang kedap udara agar proses

Resin *Infusion* dapat berlangsung secara optimal (Adelela Nasheren, K.S 2021). Metode ini efektif dalam meminimalkan cacat akibat kontaminasi yang sering terjadi selama proses *manufacturing*, sehingga mampu meningkatkan kualitas material komposit. VARI memungkinkan pembuatan komponen dengan bentuk yang *Complex* dan ketebalan yang besar, dengan sifat mekanik yang baik serta menghasilkan limbah yang lebih sedikit dibandingkan metode lainnya (Agwa, M. A E 2022).

Keunggulan metode VARI meliputi kemampuan menghasilkan produk dengan berbagai ukuran, waktu proses yang relatif lebih cepat, serta penggunaan resin yang lebih *efficient*. Metode ini juga memiliki tingkat akurasi yang baik dalam mengikuti bentuk ukuran dan mampu mengontrol ketebalan lamina secara presisi. Namun VARI juga memiliki beberapa keterbatasan, di antaranya risiko kebocoran pada sistem vakum yang cukup tinggi serta penggunaannya yang umumnya terbatas pada *matrix non-metal* (Gibsone, R. F 2007).

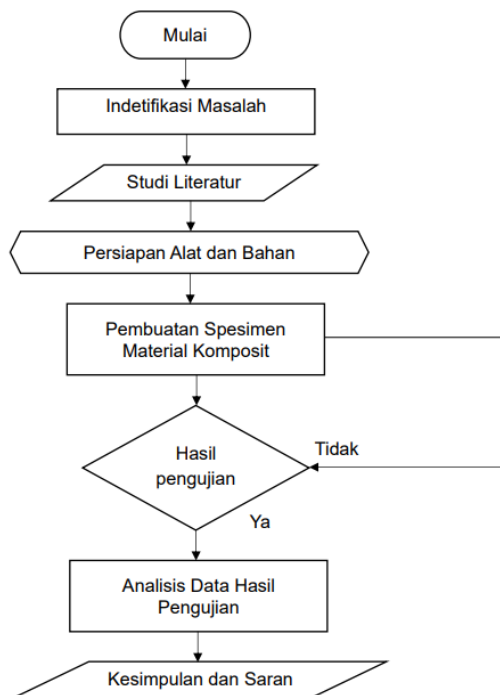
Metode ini masih memiliki beberapa kelemahan, di antaranya proses peresapan resin ke dalam serat yang belum optimal, serta sulitnya mengontrol jumlah resin yang digunakan. Hal tersebut dapat menyebabkan terjadinya *overweight* akibat penggunaan resin yang berlebih, serta menghasilkan ketebalan yang tidak seragam pada setiap produk karena proses *lamination* masih dilakukan secara manual (Gupta, M. K 2022).

Sebelum metode ini diterapkan pada struktur *specimen*, perlu dilakukan karakterisasi terhadap sifat mekanik material. Pengujian yang umum dilakukan antara lain uji *density* dan uji *surface roughness*. Uji *density* bertujuan untuk

mengetahui massa jenis setiap sampel, sedangkan uji *surface roughness* digunakan untuk mengukur tingkat *surface roughness* komposit, yang sangat penting terutama dalam aplikasi di bidang penerbangan.

TEORI

Pada penelitian ini perlu adanya tahapan-tahapan perencanaan penelitian. Dengan tujuan agar didapatkan hasil yang memenuhi syarat penelitian dan hasil yang akurat juga. Untuk penelitian ini di lakukan penelitian terdahulu yang nantinya akan di buat/akan di gunakan pada transportasi udara (*aeroplane*). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram alir sebagai berikut;



Gambar 1. Diagram Alir

Material

Serat *carbon* UD (*Unidirectional*) dikenal memiliki bobot yang ringan sekitar

2.3 g/cc serta unggul dalam hal kekuatan dan kekakuan (*modulus elastisitas*) yang tinggi, dengan tingkat kekerasan yang besar. Meskipun demikian, material ini memiliki beberapa kelemahan, yaitu sifatnya yang agak getas, kemampuan regangan yang rendah, dan biaya produksi yang mahal (Hind Abdellaoui, H. B 2015). Dalam klasifikasi pola jalinan tenunan, seperti yang terlihat pada Gambar bahwa ini, tenunan motif bergaris berbentuk benang merupakan jenis yang paling dasar (Pradana, M. D 2024). Pola ini dibentuk oleh benang lusi dan benang pengisi yang saling silang secara bergantian satu di atas, satu di bawah. Karena memiliki jalinan terbanyak per satuan luas, tenunan motif bergaris berbentuk benang menghasilkan kain dasar yang sangat rapat dan paling tahan terhadap pergeseran di bidangnya. Hasilnya, kain ini tahan terhadap *distortion* saat penanganan, namun sulit dibentuk pada kontur yang *Complex* dan memakan waktu lebih lama untuk dibasahi dalam proses *impregnation*. Kerugian tambahan dari tenunan motif bergaris berbentuk benang adalah seringnya benang berpindah posisi dari atas ke bawah, yang menimbulkan keriting atau kerutan. Hal ini pada akhirnya akan mengurangi tingkat kekuatan dan kekakuan komposit yang dihasilkan. Bentuk serat Yudi juga dapat diamati pada (Gbr.2) bawah ini :



Gambar 2. Serat UD (*Unidirectional*)

Tenunan Yudi sering dipilih karena *flexibility* yang lebih unggul dibandingkan dengan tenunan polos. Jenis tenunan ini juga dikenal karena sifat pembasahan yang

sangat baik selama proses *impregnation*. Secara pola, tenunan Yudi dibentuk ketika satu atau lebih benang lusi *warp* secara bergantian melintas di atas dan di bawah dua atau lebih benang pengisi *weft* dengan pola pengulangan yang teratur. Pengulangan ini menciptakan efek visual berupa garis miring tulang rusuk atau pola patahan pada permukaan kain.

Pembuatan Panel Komposit

Komposit dibuat menggunakan metode VARI. Terdapat komposit *hybrid carbon* dan *Kevlar-Carbon*. Komposit *hybrid carbon* terdiri dari 8 lapisan serat *carbon*. Urutan penumpukannya *symmetrical* dan jenis susunan.

Komposit *hybrid carbon* terdiri dari 8 lapisan serat *carbon* di bagian tengah *lamination* dan 4 lapisan serat di lapisan luar *lamination*. Urutan penumpukannya simetris dan jenis laminasinya adalah [(KC)2/C3].

Proses *fabrication* komposit dengan metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) terdiri dari beberapa tahapan. Tahap awal dilakukan dengan mempersiapkan seluruh bahan dan peralatan yang dibutuhkan dalam proses VARI. Langkah selanjutnya meliputi pembersihan cetakan, meja kaca, untuk menghilangkan kotoran, dan pemberian agen pelepas untuk memudahkan pelepasan panel komposit kering. Setelah itu, pita *sealant* dipasang di sekitar area *lamination*, dan selang masuk resin, selang keluar resin, dan selang *spiral* dipasang (Setyanto, H. R 2012). Lembaran serat komposit kering kemudian ditempatkan di area laminasi pada cetakan kaca, ditutup dengan lapisan *peel-ply*, lapisan *mesh*, dan plastik pembungkus untuk menciptakan segel kedap udara. Udara di area *lamination* dievakuasi

menggunakan pompa *Vacuum*. Langkah selanjutnya meliputi pemeriksaan kebocoran dengan mematikan pompa *Vacuum* dan memantau jarum pada pengukur tekanan, serta menggunakan detektor kebocoran untuk memeriksa area laminasi. Kebocoran dapat diidentifikasi dengan penurunan jarum pada pengukur tekanan atau dengan mendeteksi suara melalui detektor kebocoran. Setelah kondisi vakum tercapai, resin dan promotor dicampur dan diaduk dengan kecepatan 500 rpm selama satu menit menggunakan pengaduk. Kemudian, pengeras ditambahkan ke dalam campuran resin promotor dan diaduk hingga homogen dengan prosedur yang sama. Resin yang telah dicampur dengan promotor dan pengeras kemudian dialirkan melalui saluran masuk untuk membasahi seluruh bagian serat komposit. Pompa *Vacuum* terus beroperasi hingga resin mengeras, dengan mempertahankan tekanan *Vacuum* 100 kPa selama proses berlangsung. Panel komposit dibiarkan mengeras pada suhu ruang selama 24 jam (Gbr.3).



Gambar 3. Panel saat *Vacuum*

Pompa vakum yang digunakan adalah pompa *vacuum Vacmobile* dari Selandia Baru. Metode VARI menggunakan tekanan *Vacuum* dari pompa *Vacuum* untuk mengalirkan resin ke area laminasi serat. Ketika kondisi *Vacuum* telah tercapai, resin dialirkan dari *Reservoir* resin melalui tabung

masuk ke area laminasi sampai area serat sepenuhnya basah (Struk, P. P. 2019).

Pertahankan kondisi *vacuum* sampai resin gel. Panel komposit diawetkan pada suhu kamar selama 24 jam. Fraksi volume serat carbon 30% dan 70% resin. Sampel uji dipotong dari panel komposit sesuai dengan dimensi rekomendasi standar ASTM. Hibrida karbon dan masing-masing adalah perbandingan 2:1

Densitas Komposit

Massa jenis diperoleh melalui pengujian eksperimen dengan menggunakan Densitometer Precisa. Perangkat ini digunakan untuk menentukan nilai densitas pada material padat, maupun cair secara otomatis dengan menerapkan prinsip Hukum Archimedes (Windiarta, I. W 2017).

$$p = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Keterangan:

P = Densitas (g/cm^3)

m = Massa (g)

V = Volume (cm^3) => panjang (cm) x lebar (cm) x tinggi (cm)



Gambar 4. Pengukuran densitas

Memperlihatkan proses penimbangan komposit di udara, gambar 4. Menunjukkan penimbangan komposit dengan menggunakan media air. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, nilai densitas komposit serat karbon UD menunjukkan hasil tertentu sesuai karakteristik materialnya searah 0° yang

dibuat dengan metode *vacuum infusion* diperoleh sebesar $1,25 g/cm^3$. Ketebalan laminat komposit dapat ditentukan baik melalui perhitungan secara teoritis maupun melalui pengukuran langsung.

Analisis Surface Roughness

Analisis ini dilakukan untuk mengkarakterisasi permukaan sambungan yang dihasilkan melalui proses pengamplasan menggunakan sabuk amplas dengan ukuran 800 *grit*. Karakterisasi tersebut meliputi evaluasi kekasaran permukaan, *morfologi* permukaan, serta pengukuran sudut kontak cairan. *Surface roughness* memiliki peranan penting dan dapat *modifikasi* melalui beberapa metode, seperti *sandblasting*, *sandpaper*, *ceramic shot peening*, dan *laser shock processing*. Perlakuan permukaan tersebut berpengaruh signifikan terhadap kekuatan sambungan struktur antara komposit dan resin (WILLIAM, D CALLISTER, J. D 2027).



Gambar 5. Pengujian Surface Roughness

Pengujian *Surface Roughness* bertujuan untuk menentukan nilai rata-rata *Surface Roughness* dengan menggunakan alat uji *Surface Roughness* Mitutoyo SJ-301 yang diproduksi oleh Mitutoyo di laboratorium LTMEPPO, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia Serpong.

METODOLOGI

Waktu Dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilaksanakan di Pusat Riset Teknologi Penerbangan (BRIN Brin F RTP-ORPAL) dengan

pembuatan spesimen terlebih dahulu di Gedung *manufacturing* dan Gedung *Material* dan nantinya akan melakukan pengujian terhadap spesimen yang telah dibuat. Penelitian ini dilakukan selama 4 bulan, dimulai 29 September sampai dengan 29 Januari 2026.

Alur Kerja Pengambilan Data

A. Uji densitas

Di bawah cara kerja Density di mana melakukan 3 spesimen berbeda yaitu serat, resin dan komposit

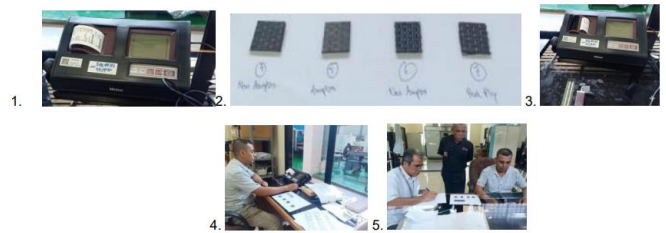


Gambar 6. Pengujian *Density*

1. Tekan ESC hingga muncul angka 0.998205
2. Tekan CAL sampai tampil 0.000 g
3. Timbang bandul kaca di udara, tunggu stabil
4. Tekan SET hingga 24.91 g, lalu lanjut ke penimbangan cairan
5. Letakkan gelas ukur berisi air di alat,
6. Letakkan *specimen* akan uji
7. Nilai *density* muncul (± 0.9999 g) + Catat hasil *density* air/udara

B. Uji *Surface Roughness*

Spesimen di lakukan sebanyak sebanyak 3× titik pada *Horizontal* dan *Vertical*.



Gambar 7. Pengujian *Surface Roughness*

1. Siapkan alat *Surface Roughness* SJ-301 dan spesimen.
2. Letakkan spesimen di atas V-block pada meja rata.
3. Pasang stylus pada penyangga (height gauge). Lalu lakukan kalibrasi dengan sampel standar (*Ra* diketahui). Tempelkan stylus ke spesimen, tekan start/stop untuk ukur.
4. Tempelkan stylus ke spesimen, tekan start/stop untuk ukur
5. Catat nilai kekasaran di display sebanyak 3× per spesimen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran *density* suatu material umumnya dapat dilakukan dengan metode penimbangan *hydrostatic*, yaitu dengan membandingkan berat sampel ketika berada di udara dan air, saat dicelupkan ke dalam air dan berada udara berfungsi sebagai menghitung berat massa. Metode ini tidak selalu dapat diterapkan pada semua jenis material. Beberapa material memiliki karakteristik tertentu yang membuat teknik pencelupan ke dalam air dan di gantungan udara pada bandul. Pada material-material tersebut, udara dapat masuk ke dalam pori-pori atau menyebabkan perubahan struktur, sehingga hasil pengukuran menjadi akurat. Oleh karena itu, diperlukan metode alternative yang lebih sesuai untuk menentukan kepadatan pada jenis material. Penelitian dilakukan di Brin FRTP-ORPAL. Beberapa sampel diambil dari masing-

masing spesimen dan diukur nilai *density* selanjutnya dirata-rata. Pengukuran *density* menggunakan dua macam *densitometer* sebagaimana ditampilkan pada Gambar 6.(a) *Density* Air dan (b) *Density* Udara, hasil pengukuran densitas dilakukan otomatis sehingga angka yang muncul pada *display* adalah nilai *Density* bahan yang diukur.



a. Air b. Udara

Gambar 8. a) *Density* Air, (b) *Density* Udara

Pada Gambar 6.(a) *Density* Air ditampilkan proses pengukuran kepadatan yang dilakukan di dalam air di mana *specimen* dicelupkan menggunakan air mineral dengan suhu ruang sekitar 23°C. Sementara itu, pada Gambar 6.(b) *Density* Udara pengukuran *density* dilakukan di udara. Berbeda dengan gambar pertama dan gambar kedua tidak tersedia pilihan jenis material. Oleh karena itu, pengukuran *density* propelan pada alat ini diasumsikan mengikuti prosedur pengukuran material padat pada umumnya. Selain itu, hasil pengukuran dari *instrument* kedua langsung ditampilkan secara otomatis, melainkan perlu tidak perlu dihitung terlebih dahulu secara manual sebelum diperoleh nilai kepadatannya. Dalam penelitian ini, digunakan sebanyak 10 *specimen* yang dibagi menjadi dua kelompok, yaitu 5 *specimen treatment* dan 5 *non-treatment*.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Density* non-treatment

Perbandingan	Metode Pengujian ρ (g/cm ³)		
	Serat UD	Resin	Komposit
Non Treatment	1.464	1.114	1.43
	1.718	1.113	1.434
	1.568	1.113	1.448
	1.392	1.109	1.44
	1.524	1.096	1.445
Rata-rata	1.533	1.109	1.439
Standar Deviasi	0.123	0.008	0.074

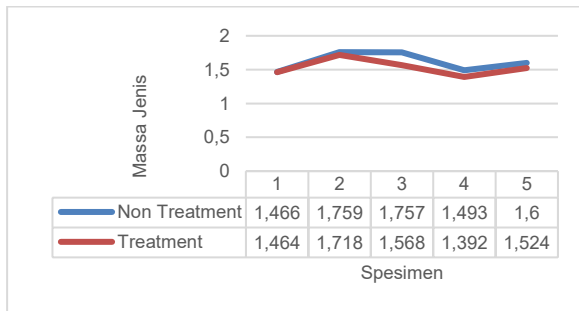
Pengujian dalam penelitian ini mencakup beberapa metode, yaitu pengukuran *density* menggunakan media pada resin epoxy 1011, serat UD, serta material komposit. Dari kedua metode utama tersebut diperoleh perbandingan nilai massa jenis untuk setiap *specimen* yang diuji. Secara keseluruhan, penelitian ini melibatkan lima jenis pengujian yang bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik material serta kualitas sambungan adhesive yang dihasilkan.

Tabel 2. Hasil Pengujian *Density Treatment*

Perbandingan	Metode Pengujian ρ (g/cm ³)		
	Serat UD	Resin	Komposit
Treatment	1.466	1.144	1.45
	1.759	1.124	1.45
	1.757	1.128	1.45
	1.493	1.142	1.434
	1.6	1.129	1.44
Rata-rata	1.615	1.133	1.444
Standar Deviasi	1.466	1.144	1.45

Uji Densitas Serat UD (*Unidirectional*)

Pada pengujian *density* serat UD dilakukan pengukuran pada tekanan densitas di mana dilakukan pengukuran massa jenis di udara dan massa di dalam air. Pengujian ini juga membandingkan kondisi serat dengan *treatment* dan *non-treatment*.

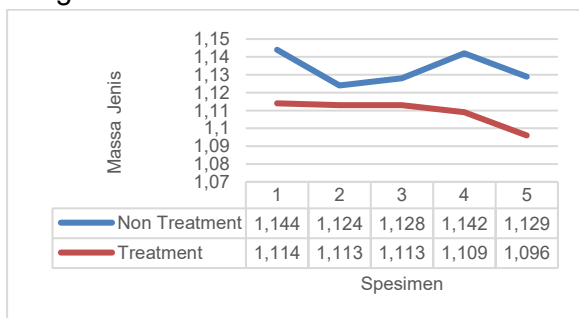


Gambar 9. *Density* Serat UD

Hasil pengujian pada Gambar 7. Menunjukkan karakteristik massa jenis pada serat UD, menjelaskan besar tekanan massa jenis pada serat UD mendapatkan rata-rata $1.533 \pm 0.123 \text{ g/cm}^3$ pada *non-treatment* sedangkan rata-rata pada *treatment* sebesar $1.615 \pm 0.140 \text{ g/cm}^3$. Melihat dari rata-rata nilai massa jenis paling besar diperoleh oleh *treatment*, dikarenakan adanya perlakuan grit 800 sebelum *density*.

Uji Densitas Resin

Untuk menentukan nilai *density resin* diukur massanya dalam dua kondisi, yakni massa udara dan massa dalam air. Pengujian ini dilakukan untuk melihat tekanan pada *treatment* terhadap perubahan massa jenis serat dibandingkan dengan *non-treatment*.



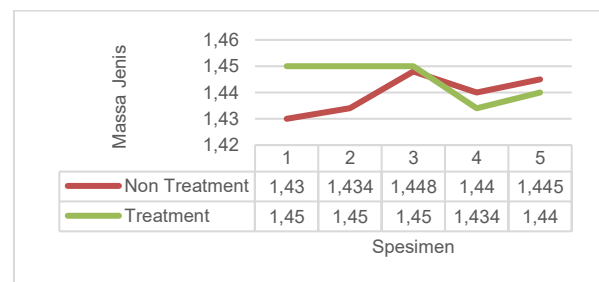
Gambar 10. *Density* Resin Epoxy 1011

Data pada Gambar 8. Menunjukkan rata-rata massa jenis pada Resin, besar tekanan massa jenis pada Resin mendapatkan rata-rata *non-treatment* sebesar $1.109 \pm 0.008 \text{ g/cm}^3$, dan pada

treatment mendapatkan rata-rata sebesar $1.133 \pm 0.009 \text{ g/cm}^3$. Melihat dari tabel 4.1 bahwa nilai massa jenis pada *treatment* lebih besar di dibandingkan nilai *non-treatment*, dikarenakan adanya perlakuan *grit* 800 sebelum *density*.

Uji Densitas Komposit

Pengujian *density* komposit dilakukan dengan metode penimbangan massa udara dan massa dalam air. Prosedur ini bertujuan untuk membandingkan tekanan massa jenis antara komposit yang telah diberi *treatment* dan serat *non-treatment*.



Gambar 11. *Density* Komposit

Berdasarkan Gambar 9. Nilai rata-rata massa jenis komposit, mendapatkan nilai tekanan *non-treatment* sebesar $1.439 \pm 0.074 \text{ g/cm}^3$ dan nilai tekanan pada *treatment* sebesar di udara tercatat sebesar $2.4448 \pm 0.074 \text{ g/cm}^3$. Dari hasil tabel 4.1 nilai rata-rata tekanan tertinggi di peroleh pada *treatment*.

Pengujian Hasil Uji Surface Roughness

Data penelitian diperoleh melalui pengujian di BOSDM - BRIN dengan melakukan analisis komparatif antara *specimen non-treatment* dan *treatment* sebelum dilakukan uji *Single Lap Shear Joint* (SLJ). Penelitian ini mengevaluasi parameter yang diduga memengaruhi *Surface Roughness*, termasuk penggunaan mesin tipe RK7866 dalam proses *treatment*

sebelum pengujian *surface roughness*. Seluruh *specimen* yang digunakan memiliki keseragaman dalam hal ketebalan dan jumlah lapisan serat. Adapun pengolahan data hasil penelitian dilakukan dengan mengacu pada standar ISO 21920-2:2021, sebagaimana disajikan pada Tabel 3 dan 4.

Hasil Uji *Treatment*.

Penentuan *Surface Roughness* pada spesimen dengan perlakuan melibatkan dua sampel uji yang diukur menggunakan orientasi *Vertical* dan *Horizontal*. Ra yang diartikan sebagai rata-rata kekasaran. Rz merupakan jarak rata-rata 5 puncak tertinggi kurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah sedangkan, Rq (μm) adalah jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah. Pengujian nantinya akan sebagai perbandingan sambungan *Single Lap Shear Joint* (SLJ) dan uji *density*. Prosedur ini dirancang untuk melakukan analisis komparatif terhadap karakteristik profil permukaan pada berbagai area *treatment*.

Tabel 3. Data Nilai *Treatment*

Perbandingan	Titik Pengukuran	Hasil Pengukuran		
		Ra (μm)	Rz (μm)	Rq (μm)
<i>Horizontal</i>	1	7.67	40.33	9.85
	2	7.07	41.24	9.15
	3	6.96	36.83	8.75
Rata-rata		7.23	39.4	9.25
Standard Deviation		0.38	2.32	0.55
<i>Vertical</i>	1	8.51	41.67	10.23
	2	6.72	29.11	8.02
	3	7.80	37.67	9.68
Rata-rata		7.67	36.1	9.31
Standard Deviation		0.90	6.41	1.15

Hasil pengamatan tabel 3. Menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara nilai Ra *horizontal* dan *vertical*, di mana orientasi memiliki nilai 3 kali pengukuran. Nilai *Horizontal* pada Ra mendapatkan rata-rata $7.23 \pm 0.38 \mu\text{m}$, sedangkan nilai pada *Vertical* mendapatkan

rata-rata $7.67 \pm 0.90 \mu\text{m}$. Dari hasil tabel 4.2 menjelaskan nilai *Horizontal* lebih tinggi di banding nilai *Vertical* di karenakan nilai Ra merupakan sebagai rata-rata kekasaran.

Hasil Uji *Non-Treatment*

Pengujian *Surface Roughness* pada *specimen* dengan perlakuan dilakukan menggunakan 3 titik pengukuran dengan orientation pengukuran *vertical* dan *horizontal*. Pada setiap *orientation*, dilakukan pengukuran terhadap tiga parameter utama, yaitu Ra (μm), Rz (μm), dan Rq (μm). Nantinya sampel akan di uji sebagai perbandingan pengujian sambungan *Single Lap Shear Joint* (SLJ) dan *density*. Prosedur ini bertujuan untuk melakukan analisis comparative terhadap karakteristik *Surface Roughness* antara area *non-treatment*.

Tabel 4. Data Nilai *non-Treatment*

Perbandingan		Hasil Pengukuran		
		Ra (μm)	Rz (μm)	Rq (μm)
<i>Horizontal</i>	1	1.36	8.64	1.72
	2	1.35	8.01	1.69
	3	1.37	8.01	1.67
Rata-rata		1.36	8.22	1.67
Standard Deviation		0.01	0.36	0.02
<i>Vertikal</i>	1	1.14	6.73	1.39
	2	1.15	6.73	1.45
	3	1.18	9.75	1.53
Rata-rata		1.15	7.73	1.45
Standard Deviation		0.02	1.74	0.05

Dari tabel 4. Merupakan data nilai *treatment* di mana kecepatan melintang sebesar 1 mm/detik. Hasil pengukuran *horizontal* dan hasil pengukuran *vertical* dengan nilai Ra, Rz, Rq tercatat sekitar 3 kali pengukuran. Nilai Ra pada arah horizontal mendapatkan nilai rata-rata $1.36 \pm 0.01 \mu\text{m}$, sedangkan arah vertical nilai rata-rata $1.15 \pm 0.02 \mu\text{m}$. Dari hasil tabel 4.3 menjelaskan nilai *Horizontal* lebih tinggi di banding nilai *Vertical* di karenakan nilai Ra merupakan sebagai rata-rata kekasaran.

KESIMPULAN

penggunaan metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) pada pembuatan komposit *epoxy* berpenguat serat karbon berhasil meningkatkan kualitas struktural dan permukaan material. Pengujian densitas menunjukkan nilai sekitar $1,25 \text{ g/cm}^3$, yang sesuai dengan karakteristik material serat karbon UD. Selain itu, analisis *Surface Roughness* (Ra) menghasilkan nilai rata-rata sekitar $1,36 \mu\text{m}$ untuk arah *horizontal* dan $1,15 \mu\text{m}$ untuk arah *vertical*, menunjukkan adanya perbedaan kekasaran yang berasal dari proses pengamplasan dan pengaruh arah pengukuran. Meski metode ini efektif, terdapat tantangan dalam mengontrol ketebalan dan distribusi resin secara optimal sehingga dapat mempengaruhi keseragaman dan kualitas akhir komposit. Secara keseluruhan, VARI mampu meningkatkan kualitas material komposit dengan hasil yang cukup baik, namun perlu penanganan dan pengendalian proses yang lebih teliti agar hasilnya dapat memenuhi standar industri, terutama untuk aplikasi di bidang penerbangan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Ir. Deri Teguh Santoso, S.T., M.T., penasihat kampus saya; Kosim Abdurrohman, S.T., M.T., pembimbing saya di Brin Lapan, tempat saya mengerjakan proyek akhir; dan kepada Allah SWT, Tuhan saya, keluarga/orang tua saya, dan teman-teman terdekat saya. Tanpa doa dan nasihat Anda, saya tidak akan sampai sejauh ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrohman, K. (2025). Influence of Adhesive Variation and Inserts on The Strength of CFRP-to-CFRP Single Lap Bonded Joint. *Gazi University Journal of Science*, 937-957. DOI : 10.35378/gujs.1540440
- Abdurrohman, K. M. (2016). Kajian Eksperimental Tensile Properties Komposit Poliester Berpenguat Serat Karbon Searah Hasil Manufaktur Vacuum Infusion Sebagai Material Struktur Lsu. *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 61. DOI : 10.30536/j.jtd.2016.v14.a2568
- Adelela Nasheren, k. S. (2021). Effect of surface treatments on metal–composite adhesive bonding for high-performance structures: an overview. *Composite Interfaces*, 1221-1256.
- Agwa, M. A.-E. (2022). Integrated vacuum assisted resin infusion and resin transfer molding technique for manufacturing of nano-filled glass fiber reinforced epoxy composite. *Journal of Industrial Textiles*, 5113S-5144S. DOI : 10.1177/1528083720932337
- Gibson, R. F. (2007). Principles of Composite Material Mechanics. *Boca Raton*, 608.
- Gupta, M. K. (2022). Applications and Challenges of Carbon-fibres reinforced Composites: A Review. *Evergreen*, 682-693. DOI : 10.5109/4843099

- Hind Abdellaoui, H. B. (2015). Fabrication, characterization and modelling of laminated composites based on woven jute fibres reinforced epoxy resin. *Materials and Design*, 104-113.
- Pradana, M. D. (2024). Kekuatan Bending Rangka Produk Komposit Menggunakan Material Komposit Sandwich Dengan Inti Polimer Produk 3D. Retrieved from <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/dspace.uui.ac.id/123456789/53>
- Setyanto, H. R. (2012). Teknik Manufaktur Komposit Hijau dan Aplikasinya. *Performa*, 9-18.
- Struktur, P. P. (2019). OPTIMASI PARAMETER PROSES VACUUM ASSISTED RESIN INFUSION TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK KOMPOSIT POLYESTER FIBER GLASS.
- Widiarta, I. W. (2017). Komposit Berpenguat Serat Alam Batang Kulit Waru (Hibiscus Tiliaceust) Dengan Matrik Polyester. *Jurnal Jurusan Pendidikan Teknik Mesin (JJPTM)*, 1-17.
- WILLIAM D. CALLISTER, J. D. (2017). MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING.