

Optimasi Parameter *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) Produk Bilah Turbin Angin Terhadap Uji Bending

Alfin Nur Hidayat¹, Aris Zainul Muttaqin², Muhammad Trifiananto³, Ahmad Syuhri⁴, Dedi Dwilkasana⁵,
and M. Dimiyati Nasrullah⁶.

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jl Kalimantan No. 37 – Kampus Bumi Tegalboto Kotak POS 159 Jember, Jawa Timur, 68121,
E-mail: ¹alfinnurhidayat1922@gmail.com

Submitted Date: Januari 21, 2025

Reviewed Date: Januari 29, 2025

Revised Date: Januari 30, 2025

Accepted Date: Januari 31, 2025

Abstract

This research aims to optimize the parameters of the Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) method in the production of composite specimens and wind turbine blade products to enhance mechanical strength, particularly bending strength. The research was conducted with variations in parameters including fiber volume (10% and 20%), vacuum pressure (0.6 bar and 0.8 bar), and catalyst (1% and 2%). The variations were tested using bending tests and loading tests, and then the Taguchi method was used to identify the parameter combinations that produced the best performance. The bending test results show that a 20% fiber volume variation yields the highest average bending test result of 198.20 MPa, compared to a 10% fiber volume which only reaches 112.20 MPa. A vacuum pressure of 0.6 bar yields a bending test result of 198.20 MPa, which is better compared to a vacuum pressure of 0.8 bar with an average bending test result of 112.20 MPa. The 1% catalyst variation produced the highest bending test value of 198.20 Mpa, higher than the 2% catalyst variation, which yielded a bending test value of 125.13 Mpa. The conclusion of this study is that the optimal combination for producing the best bending test is using a fiber volume of 20%, a vacuum pressure of 0.6 bar, and a catalyst of 1%. This research provides important insights into the development of lighter, stronger, and more environmentally friendly composite materials, which can be used as an alternative to metals in various industrial applications, including the manufacturing of wind turbine blade products.

Keywords: *Vacuum Assisted Resin Infusion, Bending Test, Composite, Polyester Resin, Fiber, Catalyst.*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan parameter metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) pada pembuatan spesimen komposit serta produk bilah turbin angin untuk meningkatkan kekuatan mekanik, khususnya kekuatan lentur (bending). Penelitian dilakukan dengan variasi parameter meliputi volume serat (10% dan 20%), tekanan vakum (0,6 bar dan 0,8 bar), serta katalis (1% dan 2%). Variasi tersebut diuji menggunakan uji bending dan uji pembebanan kemudian metode Taguchi digunakan untuk mengidentifikasi kombinasi parameter yang menghasilkan performa terbaik. Hasil pengujian bending menunjukkan bahwa variasi volume serat 20% menghasilkan uji bending rata-rata tertinggi sebesar 198,20 MPa, dibandingkan dengan volume serat 10% yang hanya mencapai 112,20 MPa. Tekanan *vacuum* 0,6 bar memberikan hasil uji bending 198,20 Mpa yang lebih baik dibandingkan dengan tekanan *vacuum* 0,8 bar yang dengan hasil uji bending rata-rata 112,20 Mpa. Variasi katalis 1% menghasilkan nilai uji bending tertinggi 198,20 Mpa lebih tinggi dibandingkan dengan variasi katalis 2% yang menghasilkan nilai uji bending 125,13 Mpa. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa kombinasi optimal untuk menghasilkan uji bending terbaik adalah menggunakan volume serat 20%, tekanan *vacuum* 0,6 bar, dan katalis 1%. Penelitian ini memberikan wawasan penting dalam pengembangan material komposit yang lebih ringan, kuat, dan ramah lingkungan, sehingga dapat digunakan sebagai alternatif pengganti logam dalam berbagai aplikasi industri, termasuk manufaktur pembuatan produk bilah turbin angin

Kata kunci: *Vacuum Assisted Resin Infusion, Uji Bending, Komposit, Resin poliester, Serat Fiber, Katalis.*

I. Pendahuluan

Indonesia memiliki potensi energi angin yang besar, dengan kecepatan angin rata-rata 3,5-7 m/s (Pradana et al, 2013), yang dapat dimanfaatkan melalui turbin angin untuk menghasilkan listrik. Turbin angin mengubah energi angin menjadi energi mekanik untuk menggerakkan generator. Komponen utama

turbin angin adalah bilah yang umumnya terbuat dari logam.

Namun, penggunaan logam memiliki kelemahan seperti biaya tinggi dan bobot yang lebih berat dibandingkan bahan lain, seperti komposit. Komposit adalah kombinasi makroskopik dari dua atau lebih material yang memiliki sifat berbeda dari material

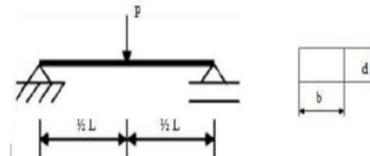
penyusunnya (Abdurohman, k., & Marta, A., 2018). Komposit yang lebih ringan dan terbuat dari kombinasi material berbeda, menawarkan alternatif yang lebih ramah lingkungan meskipun memiliki kekurangan seperti sifat mekanik yang buruk dan ketahanan terhadap kelembaban yang rendah. Untuk meningkatkan sifat mekanik komposit, campuran bahan diperlukan, dengan resin poliester sebagai matriks yang sering digunakan. Berdasarkan kombinasi itu, menghasilkan sifat dan material baru yang memiliki karakteristik berbeda dari material penyusunnya (Muhajir, Mizar & Sudjimat, 2016).

Beberapa teknik pembuatan komposit, seperti vacuum assisted resin infusion, dapat meningkatkan kualitas komposit dengan menghilangkan gelembung udara dan memastikan distribusi resin yang merata. Hal itu disebabkan karena pada saat proses fabrikasi daya tekan vacuum dengan mesin vacuum nantinya dapat menghilangkan gelembung udara yang ada pada saat proses pembuatan komposit (Alandro et al, 2022). Penelitian terkini menunjukkan bahwa faktor-faktor seperti tekanan vakum, penambahan katalis, dan fraksi volume serat berpengaruh besar terhadap sifat mekanik komposit, dengan tujuan menghasilkan material yang lebih kuat, ringan, dan terjangkau.

Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) adalah metode pembuatan komposit yang memanfaatkan perbedaan tekanan vakum untuk menghisap resin ke dalam cetakan, mengisi ruang yang telah dipersiapkan, dan membentuk material komposit (Utami, 2019). Dibandingkan dengan metode hand layup, VARI menghasilkan komposit dengan kualitas yang lebih baik karena sistem kontrol tekanan vakum yang lebih konsisten. Setelah lembaran resin dan penguat terbentuk, vakum digunakan untuk menghisap sisa resin agar ketebalan komposit merata.

II. Metode Penelitian

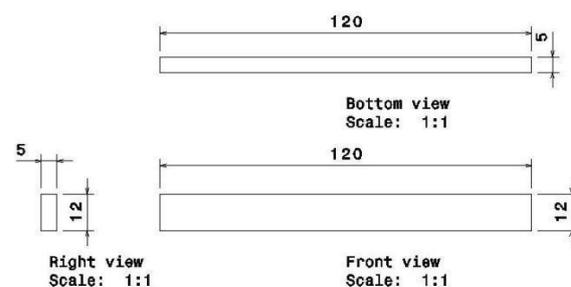
Uji Bending *Three Point* digunakan dalam penelitian ini untuk menguji spesimen komposit. Pada pengujian ini menggunakan mesin Tension tipe RTH 230 yang ada di laboratorium Fakultas Teknik, Universitas Jember. Pada *three point* bending dua titik di bawah bertindak sebagai tumpuan, serta titik atas sebagai penekannya. Berikut merupakan Uji *three point* bending



Gambar 1. *Three Point* Bending (Sumber: Mukmin., 2019)

Adapun perhitungan yang di pergunakan : $\sigma_f = 3PL / (2bd^2)$.

Berikut merupakan gambar standar uji bending standar ASTM-D 790 bisa dilihat dibawah ini



Gambar 2. Standar benda uji bending standar ASTM-D 790. (Sumber: Arifadhillah, N. 2022)

Setelah melakukan uji bending spesimen komposit seperti diatas, selanjutnya dilakukan uji pembebanan (Bending Moment). Pada penelitian ini uji pembebanan digunakan untuk uji pada produk bilah turbin hasil variabel paling optimum guna untuk mengetahui kekuatan lentur bilah turbin. Uji pembebanan dihitung menggunakan pers :

$$M = F \cdot L \dots i)$$



Gambar 3 Uji Pembebanan

Selanjutnya, untuk menganalisis data hasil uji bending spesimen komposit Pada penelitian ini menggunakan metode Taguci dengan matriks *orthogonal* $L_4(2^3)$ untuk mempermudah analisis data dengan menguraikan variabilitas total menjadi

kontribusi masing-masing factor dan interaksinya.

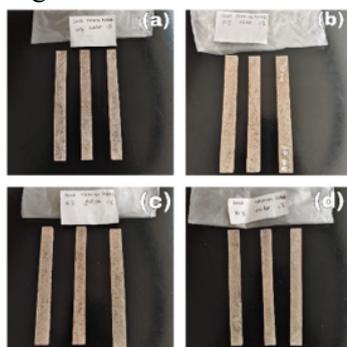
Tabel 1. Matriks Orthogonal $L_4(2^3)$
Matriks Orthogonal $L_4(2^3)$

Eksperimen	Faktor		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

(Soejanto, 2009)

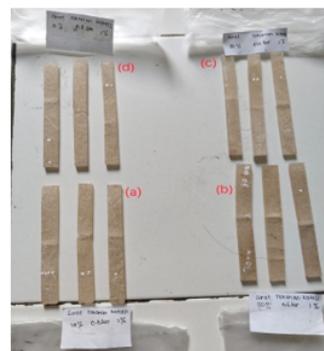
III. Hasil dan Pembahasan

Hasil pembuatan biokomposit matriks resin poliester dengan penguat serat fiber menggunakan metode *vacuum assisted resin infusion* dengan variasi 1 (serat 20%, tekanan 0,8 bar, katalis 2%), variasi 2 (serat 20%, tekanan 0,6 bar, katalis 1%), variasi 3 (serat 10%, tekanan 0,8 bar, katalis 1%), variasi 4 (serat 10%, tekanan 0,6 bar, katalis 2%) dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. Sampel biokomposit berpenguat serat fiber (a) variasi 1, (b) variasi 2, (c) variasi 3, (d) variasi 4

Kemudian spesimen dari hasil uji bending dapat dilihat pada gambar dibawah ini. Hasil patahan berada pada daerah tengah spesimen uji dikarenakan beban terpusat pada area tersebut.



Gambar 5. Sampel biokomposit setelah diuji bending (a) variasi 1, (b) variasi 2, (c) variasi 3, (d) variasi 4.

Pengujian ini menggunakan analisis data Metode Taguchi dengan desain eksperimen $L_4(2^3)$. Data hasil pengujian bending dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

Tabel 2. Hasil Uji Bending

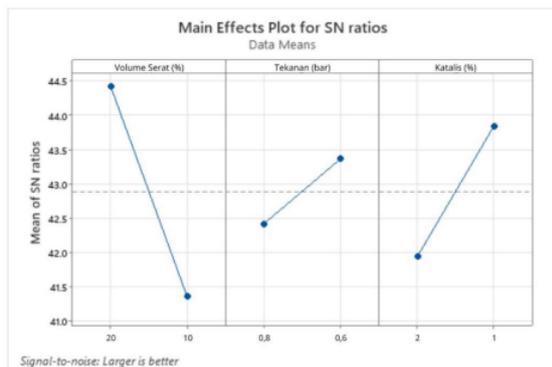
Eksperimen	Parameter Kendali			Nilai Uji Bending (MPa)			Rata-rata
	Faktor			I	II	III	
	Volume	Tekan	Katalis				
1	20	0,8	2	140,90	136,68	146,60	198,20
2	20	0,8	1	205,77	175,86	212,96	125,13
3	10	0,6	1	140,74	122,46	112,19	112,20
4	10	0,6	2	115,98	122,40	98,21	112,20
			Rata-Rata				144,32

Hasil nilai uji bending tertinggi pada serat 20%, tekanan 0,6 bar, dan katalis 1% dengan nilai rata-rata sebesar 198,20 MPa. Sedangkan hasil terendah pada serat 10%, tekanan 0,8 bar, dan katalis 2% yang mendapat nilai rata-rata sebesar 112,20 MPa.

Pada variasi volume serat 20%, tekanan 0,6 bar, katalis 1% diperoleh hasil rata-rata uji

bending tertinggi sebesar 198,20 MPa, yang lebih baik dibandingkan dengan variasi serat 10%, tekanan 0,8 bar, katalis 2% dengan hasil rata-rata 112,20 MPa. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan volume serat hingga 20% dapat menghasilkan uji bending yang optimal. Temuan ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan (Aizul Haq dkk., 2022) bahwa

semakin kecil volume serat pada komposit maka akan semakin kecil uji bending yang dihasilkan, dan semakin besar volume serat maka semakin besar uji bending yang dihasilkan.



Gambar 6. Rasio S/N

Kemudian Pada tekanan vakum rendah, resin lebih mampu meresap ke dalam pori-pori serat fiber dibandingkan dengan tekanan vakum tinggi. Hal ini menciptakan interaksi mekanis yang lebih baik antara serat dan matriks resin, yang penting untuk meningkatkan ketahanan lentur. Oleh karena itu, tingkat tekanan vakum akan berdampak pada peningkatan kekuatan bending pada material komposit (Setyo wahyu Utomo, 2020).

Variasi katalis memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai uji bending spesimen. Penambahan katalis yang berlebihan dapat membuat spesimen menjadi rapuh. Hasil ini selaras dengan penelitian Partuti dkk., (2024.), yang menjelaskan nilai uji bending cenderung menurun seiring dengan bertambahnya katalis.

Dalam pengaplikasian produk bilah turbin angin yang dibuat menggunakan *vaccum assisted resin infusion* (VARI) dengan komposisi serat 20%, tekanan 0,6 bar, dan katalis 1%.



Gambar 7. Produk bilah

Uji Pembebanan (Bending Moment) pada penelitian ini pengujian dilakukan

menggunakan pembebanan pada ujung bilah dengan cara memberikan beban pada ujung bilah seperti dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 8. Uji Pembebanan

Pembebanan dilakukan secara bertahap dengan cara menaruh botol berisi air mineral 1,5 Kg dalam kata lain 1 botol tersebut memiliki beban 1,5 Kg, Kemudian pada gambar diatas pembebanan maksimum terjadi pada 4 botol atau setara dengan 7,5 Kg.

Produk cetak diatas juga dihitung menggunakan pers berikut:

$$M = F \cdot L$$

$$M = 73,575 \text{ N} \cdot 0,7 \text{ m}$$

$$M = 51,5025 \text{ Nm}$$

Di mana :

M = Momen lentur (Nm atau Nmm)

F = Gaya yang bekerja pada bilah (N)

F = 7,5 kg (konvesi ke Newton)

F = 7,5 x 9,81

F = 73,575 N

L = Jarak dari titik aplikasi gaya ke titik tumpuan (m atau mm)

L = 70 cm (konversi ke meter)

L = 0,7 m

IV. Kesimpulan

Berdasarkan eksperimen dan analisis pengaruh parameter proses VARI terhadap kekuatan bending biokomposit menggunakan metode Taguchi, dapat disimpulkan bahwa peningkatan fraksi volume serat fiber meningkatkan kekuatan bending, dengan 20% serat menghasilkan nilai uji bending 198,20 MPa yang lebih baik dibandingkan 10% serat (112,20 MPa), karena serat berfungsi sebagai penguat utama. Tekanan vakum 0,6 bar juga memberikan hasil yang lebih baik (198,20 MPa) dibandingkan 0,8 bar (112,20 MPa), karena tekanan lebih rendah memungkinkan resin meresap lebih merata, meningkatkan ikatan

serat dan resin. Selain itu, peningkatan variasi katalis menurunkan kekuatan bending, di mana 1% katalis menghasilkan 198,20 MPa, lebih baik dibandingkan 2% yang hanya 125,13 MPa, karena kelebihan katalis membuat matriks resin lebih rapuh.

Ucapan terimakasih

Terima kasih kepada LP2M UNEJ yang telah mendanai penelitian ini melalui skema hibah kelompok riset Mekatronika 2024.

Daftar pustaka

- Abdurohman, K., & Marta, A. (2018). Kajian eksperimental tensile properties komposit poliester berpenguat serat karbon searah hasil manufaktur vacuum infusion sebagai material struktur Lsu. *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 14(1), 61-72.
- Alandro, D., Nugraha, A. D., Maulana, I. A., Nugroho, A. D., Erlangga, W., & Muflikhun, M. A. (2024). Comprehensive assessment of hybrid GFRP-graphite filler using modified complex Arcan fixture: Experimental and simulation approach. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 180, 108094.
- Arifadhillah, N. (2022). *Analisa Perlakuan Alkali (NAOH) Pada Serat Terhadap Kekuatan Impact Dan Bending Komposit Bermatrik Epoxy* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Riau).
- Fatah, K. M. A., & Wisnaningsih, W. (2020, November). OPTIMASI PARAMETER PROSES PENJEMURAN GABAH DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI. In *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat* (Vol. 1, No. 1, pp. 123-132).
- Hestiawan, H., & Jamasri, K. (2017). Pengaruh Penambahan Katalis Terhadap Sifat Mekanis Resin Poliester Tak Jenuh. *Teknosia*, 3(1), 1-7.
- Hidayat, A. R., & Widyantoro, W. (2024). Analisis Sifat Mekanik Komposit Berbahan Serat Bulu Ayam. *Journal of Cross Knowledge*, 2(1), 331-340.
- Istanta, D. (2020). Analisis Pengaruh Texture Serat Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Aramid Epoksi Prepreg. *Jurnal: Industri Elektro dan Penerbangan*, 3(1).
- Muhajir, M., Mizar, M. A., Sudjimat, D. A., & Mesin-ft, J. P. T. (2016). Analisis kekuatan tarik bahan komposit matriks resin berpenguat serat alam dengan berbagai varian tata letak. *Jurnal Teknik Mesin*, 24(2), 1-8.
- Mukmin, K. (2019). Pengaruh Arah Serat Ijuk Terhadap Kekuatan Tarik Dan Bending Material Komposit Serat Ijuk-Epoxy. *Semarang: Universitas Negeri Semarang*.
- Nuraini, A., Abadi, C. S., & Fachruddin, F. (2019, October). Analisis perbandingan bilah turbin angin jenis taper dengan taperless pada turbin angin skala mikro di PT. Lentera Bumi Nusantara. In *Seminar Nasional Teknik Mesin* (Vol. 9, No. 1, pp. 138-146).
- Partuti, T., Si, S., Si, M., & Yustanti, D. E. (n.d.). Pengaruh Fraksi Volume Serat Dan Persentase Katalis Terhadap Sifat Mekanik Komposit Polyester Berpenguat Serat Ijuk Dengan Metode Vacuum Bag Skripsi
- Pradana, A. J., Nugroho, G., & Musyafa, A. (2013). Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Jenis Savonius dengan Variasi Profil Kurva Blade untuk Memperoleh Daya Maksimum. *Jurnal Teknik POMITS*, 7(7), 1-6.
- Rahmawaty, S. A., Parmita, A. W. Y. P., & Laksono, A. D. (2021). Analisa Kekuatan Tarik dan Tekuk pada Komposit Fiberglass-Polyester Berpenguat Serat Gelas dengan Variasi Fraksi Volume Serat. *JTM-ITI (Jurnal Teknik Mesin ITI)*, 5(3), 146-155.
- Refiadi, G., judawisastra, H., & Suratman, R. (n.d.). Optimasi Produk Komposit Polimer *Vacuum Asisted Resin Infusion* (VARI) Menggunakan Metode Taguchi (Gunawan Refiadi dkk) Optimasi Produk Komposit Polimer *Vacuum Asisted Resin Infusion* (VARI) Menggunakan Metode Taguchi the product optimasion of Composite Made From Vacuum Asisted Resin Infusion (VARI) Polymer Using Taguchi Method.
- Saputa, D. O., Setiawan, F., & Wicaksono, D. (2023). *The Effect Of Variation Of Temperature On Pull Test Of Fiberglass Fiber Composite Materials With Vacuum Assisted Resin Infusion (Vari)*. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 9(1), 128-137.
- Soejanto (2009). Desain Eksperimental dengan Metode taguchi. Yogyakarta: Ilmu Graha.
- Utami, L. P., Ginting, D., Nasution, A. K., & Istana, B. (2019). Perbandingan Nilai Kekuatan Tarik Komposit Menggunakan Metode Hand Lay Up dan Metode

Vari. *Photon: Jurnal Sain dan Kesehatan*, 9(2), 235-237.

Utomo, S. W. E. (2020). Analisis Pengaruh Tekanan Vacuum Pada Proses Pembuatan Komposit *Carbon Fiber* Menggunakan Metode *Vacuum Infusion. Machine: Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 6-11.

Zaen, U., Sugiman, P. D. S., & Setyawan, P. D. (2014). Investigasi Kekuatan Bending Komposit Laminat Aluminium-Fiberglass-Bambu. In *Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke 20*.