PERBANDINGAN FRAKSI VOLUME KOMPOSIT *CARBON TOW/EPOXY* ANTARA METODE MANUFAKTUR *VACUUM INFUSION* DENGAN *FILAMENT WINDING*

Comparison of Volume Fraction of Carbon Tow/Epoxy Composites Between Vacuum Infusion Manufacturing and Filament Winding Methods

Fahri Ramadhan, Hendri Hestiawan*, A. Sofwan F Alqap, Herry Purnomo
Program Studi Teknik Mesin Universitas Bengkulu, Jl. W.R. Supratman Kandang Limun, Kota Bengkulu
*) Email : hestiawan@unib.ac.id

ABSTRACT

Several methods can be applied in composite manufacturing, including the vacuum infusion and filament winding methods. In order to apply this method in the manufacture of composites, it is necessary to know which produces composites with a good target ratio of fiber and resin, namely 60%/40%. The aim of this research is to compare the manufacturing methods that produce the distribution of fibers and resins that are close to the target. The composites in this study used a carbon tow reinforcement material with a matrix, namely araldite LY5052 epoxy resin and aradur 5052 CH hardener. In composite manufacturing, there are three stages, namely molding preparation, process manufacturing, and demolding. Then SEM photo observations were made on the specimen pieces from the composite results with three different locations. Of the two methods, vacuum infusion produces SEM photos with denser fiber distribution than filament winding and voids produced in the filament winding manufacturing method. The volume fraction of the test on the vacuum infusion sample with an average yield of 56.79% and 54.01% for filament winding.

Keywords: *Composite*, *Vacuum infusion, Filament winding, Volume fraction*

1. PENDAHULUAN

Komposit dipilih karena memiliki kekuatan yang baik, mudah untuk dimanufaktur dan lebih ringan daripada logam Komposit yang digunakan ada yang terbuat dari serat karbon (CFRP) maupun serat e-glass (GFRP). Pertimbangan lain penggunaan komposit didasarkan pada rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, sifat mekanik dapat disesuaikan, dan tahan terhadap *fatigue* [1]. Terdapat berbagai metode untuk memproduksi material komposit, yaitu *hand lay up*, *vacuum infusion*, *resin transfer moulding*, *filament winding* dan sebagainya. Adapun yang dipakai peneliti adalah metode *vacuum infusion* dan *filament winding*.

Metode *vacuum infusion* pada suhu tinggi memiliki banyak keuntungan diantaranya yaitu: peningkatan tingkat pengendalian proses, peningkatan dimensi maksimum dari produk yang dicetak, meninggikan tingkat impregnasi dan polimerisasi, meningkatkan karakteristik mekanis dari material [2]. Sedangkan, *filament winding* yaitu proses dimana fiber tipe roving atau single stand di lewatkan wadah yang berisi resin, kemudian fiber tersebut akan diputar sekeliling mandrel yang sedang bergerak dua arah, arah radial dan arah tangensial Proses ini di lakukan berulang, sehingga dengan cara ini di dapatkan lapisan serat dan fiber sesuai dengan yang diinginkan. Proses filament winding ini terutama digunakan untuk komponen belah berlubang, umumnya bulat atau oval [3]

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik terbaik dari mikrostruktur penyusun komposit dalam melalui penerapan analisis fraksi volume pada spesimen *carbon tow/epoxy*. Untuk analisis dilakukan secara eksperimental dengan pengujian sampel SEM yang dilanjutkan dengan analisa *software image j*.

2. PERSAMAAN MATEMATIK

Salah satu faktor penting yang menentukan karakteristik dari komposit adalah perbandingan matrik dan penguat atau serat. Perbandingan ini dapat ditunjukkan dalam bentuk fraksi volume serat (Vf) atau fraksi massa serat (wf). Untuk menghitung fraksi volume, parameter yang harus diketahui adalah berat jenis resin, berat jenis serat, berat komposit dan berat serat [4]. Namun formulasi kekuatan komposit lebih banyak menggunakan fraksi volume serat. Jika selama proses pembuatan komposit diketahui massa serat dan matrik, serta *density* serat dan matrik, fraksi volume dan fraksi massa serat dapat dihitung dengan persamaan:

$$V_f = \frac{{}^{W_f}/_{\rho_f}}{{}^{W_f}/_{\rho_f} + {}^{W_M}/_{V_M}} \quad \text{.....(1)}$$

$$W_f = \frac{\rho_f V_f}{\rho_f V_f + \rho_M V_M} \quad \text{.....(2)}$$

Dimana:
V_f = Fraksi volume (cm^3)
V_M = Volume matrik (cm^3)
W_f = Berat fiber (gr)
W_M = Berat matrik (gr)
ρ_f = Massa jenis fiber (gr/cm^3)
ρ_M = Massa jenis matrik (gr/cm^3)

Untuk laminasi komposit tingkat lanjut, ada rentang yang cukup sempit dari rasio resin/serat fungsional yang akan menghasilkan rasio kekuatan-terhadap-berat terbaik pada produk akhir. Dengan terlalu sedikit resin, penurunan sifat tekan dan geser. Dengan terlalu banyak resin (dengan asumsi semua serat masih dalam komposit), berat dan kekakuan laminasi naik tanpa peningkatan kekuatan yang signifikan. Dengan demikian, rasio kekuatan-terhadap-berat turun.

Dengan bentuk *woven pabric* dalam laminasi, persentase serat menjadi resin target adalah sekitar 60% serat hingga 40% resin, berdasarkan volume. Di lingkungan toko, persentase "berdasarkan berat" biasanya lebih mudah untuk dihitung. Namun, perlu dicatat bahwa persentase berat 60/40 tidak selalu sama dengan fraksi volume 60/40 untuk semua kombinasi serat/resin. Akan ada banyak variasi hubungan berat serat/resin ini, tergantung pada jenis serat, bentuk, dan jenis serta jumlah resin yang digunakan. Bentuk pita searah biasanya membutuhkan kandungan resin yang lebih rendah, karena tidak ada banyak area di antara serat yang perlu diisi dengan resin seperti halnya dengan bentuk anyaman. Rasio resin dalam kisaran 30% rendah hingga menengah, berdasarkan volume, menghasilkan hasil terbaik (mis., 31% resin/69% serat) [5].

Untuk menentukan fraksi volume serat juga dapat ditentukan menggunakan Teknik fotomikrografi di mana jumlah serat dalam area tertentu dari penampang yang dipoles dihitung dan fraksi volume ditentukan sebagai fraksi area dari masing-masing konstituen. Volume rongga komposit dihitung, jika memungkinkan, dengan menggunakan kerapatan komposit yang diketahui, kerapatan resin yang diawetkan, kerapatan serat, dan kandungan resin dan serat yang ditentukan menurut beratnya [6].

3. METODE PENELITIAN

Proses pembutan spesimen uji pada penelitian ini menggunakan metode *vacum infusion* dan *filament winding* lalu spesimen diuji SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Pemrosesan *vacuum infusion* adalah proses yang lebih bersih dan presisi daripada layup basah karena semua penguatan ditempatkan kering, *vacuum* infusion mengacu pada proses ketika resin didorong ke dalam laminasi menggunakan tekanan vakum [7] . Penguat dibungkus ke cetakan dan *flow media* ditempatkan di atasnya untuk memungkinkan pemerataan resin di seluruh laminasi. Vakum diterapkan sebelum resin mulai dialiri. Setelah proses instalasi proses vakum tercapai, dilakukan pengecekan kebocoran pada plastik *bagging*.

Setelah itu, *Vacuum* ditarik pada plastik dan bentuk awal dipadatkan di tempatnya sebelum resin dimasukkan ke dalam laminasi. Prosesnya bekerja berdasarkan dinamika fluida standar, di mana aliran resin ditentukan oleh perbedaan tekanan rendah yang dibuat di bawah kantong. Resin akan mengalir sampai tercapai kesetimbangan tekanan. Jarak resin akan mengalir ditentukan oleh jumlah tekanan yang tersedia (jumlah *vacuum*), viskositas resin, dan permeabilitas serat preform. Alat *vacuum infusion* dapat dilihat pada Gambar 1

Proses penggulungan filamen terdiri dari dua elemen utama: penguat tipe filamen/pita dan matriks/resin. Proses membungkus pita serat resin-diresapi terus menerus di sekitar mandrel berputar, yang kemudian disembuhkan pada suhu kamar atau dalam oven di bawah tekanan yang ditentukan dan suhu yang ditentukan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 Sifat mekanik dari produk akhir tergantung pada bahan, sudut belitan, kekuatan serat, kimia resin, dan siklus curing [8] . Pola belitan dikendalikan melalui kecepatan putaran mandrel dan pergerakan mekanisme umpan serat. Sifat mekanik komponen *filament winding* sangat dipengaruhi oleh sifat mekanik serat, interaksi permukaan serat dan resin (antarmuka), jumlah serat dalam komposit, dan orientasi serat. Sifat-sifat komposit sangat bergantung pada arah dan serat dapat diletakkan pada arah pembebanan signifikan yang diharapkan untuk memastikan integritas struktur yang tinggi [8]. Alat *filament winding* dapat dilihat pada Gambar 2

Gambar 1. Alat Vacuum

Gambar 2. Alat *Filament Winding*

Scanning Electron Microscope (SEM) didefinisikan sebagai mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron terfokus untuk memindai permukaan sampel dan menghasilkan gambar. Dalam sampel elektron berinteraksi dengan atom, sehingga menimbulkan berbagai sinyal yang menampung data mengenai komposisi sampel serta topografi permukaan. SEM digunakan untuk mengetahui struktur permukaan pada material komposit. SEM dapat dilihat pada Gambar 3

Gambar 3. *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

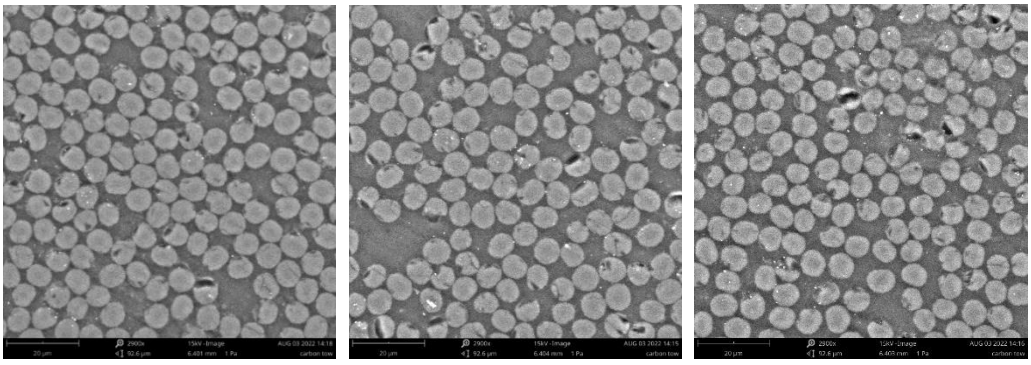
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat-sifat material komposit dapat dipediksi berdasarkan pada sifat-sifat material pembentuk atau konstituennya. Untuk melihat perbedaan analisis maka dilakukan perbandingan perhitungan sampel pengamatan foto SEM. Dalam hal ini, dilakukan pengujian pada spesimen yang berukuran kecil berturut-turut sesuai dengan tampak morfologi yang terbaik. Setelah dilaksanakan pengamatan foto SEM, selanjutnya dilakukan analisis menggunakan *software image-j* untuk mendapatkan data perhitungan penyusun komposit. Perhitungan fraksi volume dengan analisis foto makro ini di ambil dari "*Area Fraction"* pada data *summary* yang

dihasilkan *Image-J.*

4.1 Analisis Sampel Manufaktur *Vacuum Infusion*

Pengamatan Scanning Electron Microscopy (SEM) pada sampel manufaktur *vacuum infusion* komposit *carbon tow/epoxy* dapat dilihat pada Gambar 4.2.



a. Lokasi 1 b. Lokasi 2 c. Lokasi 3

Gambar 4.1 Sampel SEM *Vacuum Infusion*

Foto hasil sampel manufaktur *vacuum infusion* menunjukkan serat *carbon tow/epoxy* memiliki permukaan yang rapat. Hal ini mengindikasikan bahwa resin dan serat saat *curing* rapat, sehingga menghasilkan persebaran serat yang merata. Foto SEM juga digunakan untuk menghitung fraksi volume spesimen dengan bantuan perangkat lunak terbuka *Image-J* yang hasilnya disajikan dalam bentuk tabel berikut.

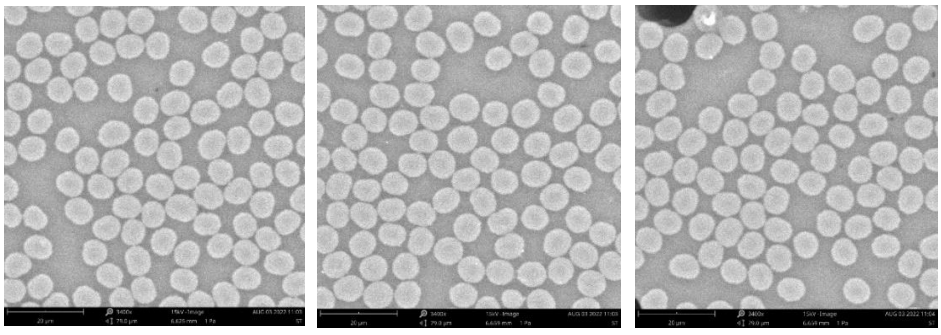
Tabel 1 Perbandingan Hasil Fraksi Volume Sampel

Tempat	Serat (%)	Matrik (%)
Lokasi 1	60,869	39,131
Lokasi 2	55,271	44,729
Lokasi 3	54,259	45,741
Rata – Rata	56,79	43,2

4.2 Analisis Sampel Manufaktur *Filament Winding*

Pengamatan Scanning Electron Microscopy (SEM) pada sampel manufaktur *filament winding* komposit *carbon tow/epoxy Shrink Tape* (ST) dapat dilihat pada Gambar 4.1.

4



a. Lokasi 1 b. Lokasi 2 c. Lokasi 3

Gambar 4.2 Sampel SEM Manufaktur *Filament Winding*

Foto hasil sampel ST menunjukkan serat *carbon tow/epoxy* diberikan *shrink tape* memiliki permukaan yang agak rapat namun terdapat celah pada salah satu lokasi foto SEM. Hal ini mengindikasikan bahwa resin dan serat saat *curing* lumayan rapat dengan persebaran serat yang merata, namun terdapat *void* pada penyusun. Foto SEM juga digunakan untuk menghitung fraksi volume spesimen dengan bantuan perangkat lunak terbuka *Image-J* yang hasilnya disajikan dalam bentuk tabel berikut.

Tabel 2 Perbandingan Hasil Fraksi Volume Sampel

Tempat	Serat (%)	Matrik (%)
Lokasi 1	54,650	45,35
Lokasi 2	54,829	45,171
Lokasi 3	52,555	47,445
Rata – Rata	54,01	45,98

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diberikan pada penelitian yang telah dilakukan ini antara lain sebagai berikut, yaitu:

1. Metode manufaktur *vacuum infusion* adalah metode manufaktur komposit mengacu pada proses ketika resin didorong ke dalam laminasi menggunakan tekanan vakum, sementara *filament winding* adalah metode penggulungan pita serat yang diserapi resin terus menerus di sekitar mandrel yang berputar.
2. Dari pengamatan foto SEM menunjukkan bahwa metode manufaktur *vacuum infusion* menghasilkan persebaran serat lebih rapat daripada *filament* winding dan *filament winding*, terlihat adanya *void* pada struktur kompositnya.
3. Hasil analisis fraksi volume menggunakan *image-j* menunjukkan bahwa pada metode manufaktur *vacuum infusion* lebih mendekati target rasio pencampuran serat dan resin dengan nilai fraksi serat sebesar 56,79%. Sementara *filament winding* didapatkan nilai fraksi serat sebesar 54,01%.

DAFTAR PUSTAKA

[1] K. Abdurohman dan M. Siahaan, "Pengaruh Penambahan Coremate Terhadap Kekuatan Tarik Pada Komposit Tipe Sandwich," *Iptek Penerbangan dan Antariksa : Progres Litbangyasa Roket, Satelit dan Penerbangan,* pp. 249-259, 2018.

[2] L. R. Isna, N. M. Ula, K. Abdurohman dan Y. G. Wijaya, "Nilai Kekuatan Tarik Komposit Serat E-Glass ±45° Dengan Matriks Polysester Untuk Struktur LSU (Lapan Surveillance UAV)," *Iptek Penerbangan dan Antariksa : Progres Litbangyasa Roket, Satelit dan Penerbangan,* pp. 271-279, 2018.

[3] A. D. Saputra, M. F. R. H, A. Triono dan I. Sholahuddin, "Pengaruh Orientasi Sudut Lilitan Benang Katun Terhadap Kekuatan Tarik Pada Pipa Komposit Filament Winding," *Jurnal Rotor,* 2017.

[4] A. Dabet, I. dan T. Hafli, "Aplikasi Teknik Manufaktur Vacuum Assested Resin Infusion (Vari) Untuk Peningkatan Sifat Mekanik Komposit Plastik Berpenguat Serat Abaca (AFRP)," *Jurnal Polimesin,* pp. 19-24, 2018.

[5] L. C. Dorworth, G. L. Gardiner dan G. M. M, Essentials of Advanced Composite Fabrication & Repair, Washington: Aviation Supplies & Academics, Inc., 2013.

[6] K. K. Chawla, Composite Materials Science and Engineering, Birmingham: Springer, 1998.

[7] M. H. Zin, M. F. Razzi, S. Othman, K. Liew, K. Abdan dan N. Mazlan, "A review on the fabrication method of bio-sourced hybrid composites for aerospace and automotive applications," *AEROTECH VI - Innovation in Aerospace Engineering and Technology,* pp. 1-12, Oktober 2016.

[8] N. Aldoumani, . C. Giannetti, Z. Abdallah, F. Belblidia, H. H. Khodaparast, M. I. Friswell dan J. Sienz, "Optimisation of the Filament Winding Approach Using a Newly Developed In-House Uncertainty Model," *MDPI,* p. 122–136, 2020.