

ANALISIS PENGARUH METODE RESIN INFUSION DAN VACUUM BAGGING TERHADAP TINGKAT VOID CONTENT

Rizky Dwi Ramadhan

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: rizky.22085@mhs.unesa.ac.id

Akhmad Hafizh Ainur Rasyid

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: akhmadrasyid@unesa.ac.id

Abstrak

Komposit Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) banyak digunakan sebagai material bodi kendaraan karena memiliki kekuatan spesifik tinggi dan massa yang ringan. Kualitas komposit dipengaruhi oleh proses fabrikasi, terutama pembentukan Void Content yang dapat menurunkan sifat mekanik material. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh metode Resin Infusion dan Vacuum Bagging terhadap tingkat Void Content pada. Spesimen CFRP dibuat menggunakan serat karbon woven twill 200 gsm sebanyak tiga lapis dengan matriks resin Epoxy menggunakan metode Resin Infusion dan Vacuum Bagging. Data diperoleh melalui pengukuran massa kering dan massa terendam, kemudian dihitung densitas aktual dan Void Content berdasarkan ASTM D2734. Analisis data dilakukan secara deskriptif komparatif dengan membandingkan nilai Void Content pada setiap variasi metode fabrikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada metode Vacuum Bagging menghasilkan Void Content sebesar 3,57%, lebih rendah dibandingkan Resin Infusion sebesar 4,28%. Setelah dilakukan evaluasi pada area kritis spesimen, nilai Void Content Vacuum Bagging menjadi 5,71%, lebih rendah dibandingkan Resin Infusion sebesar 6,42%. Disimpulkan bahwa metode Vacuum Bagging menghasilkan Void Content yang lebih rendah dibandingkan Resin Infusion.

Kata Kunci: Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP), Resin Infusion, Vacuum Bagging, Void Content, ASTM D2734.

Abstract

Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) composites are widely used as vehicle body materials due to their high specific strength and lightweight characteristics. However, the quality of composite materials is strongly influenced by the fabrication process, particularly the formation of Void Contents, which can reduce their mechanical properties. This study aimed to analyze the effect of the Resin Infusion and Vacuum Bagging methods on the Void Content of CFRP composites. CFRP specimens were fabricated using three layers of 200 gsm woven twill carbon fiber reinforced with epoxy resin through the Resin Infusion and Vacuum Bagging methods. Data were collected by measuring the dry and immersed masses of the specimens. The actual density and Void Content were calculated according to ASTM D2734. The data were analyzed descriptively by comparing the Void Content values of each fabrication method and surface geometry. The results showed that, the Vacuum Bagging method produced a Void Content of 3.57%, which was lower than the 4.28% obtained using the Resin Infusion method. After additional evaluation of the critical specimen area, the Void Content of the Vacuum Bagging specimen decreased to 5.71%, which was lower than the 6.42% obtained using the Resin Infusion method. It can be concluded that the Vacuum Bagging method produced lower Void Content than the Resin Infusion method.

Keywords: Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP), Resin Infusion, Vacuum Bagging, Void Content, ASTM D2734.

PENDAHULUAN

Material komposit berbasis Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) telah menjadi pilihan utama dalam berbagai aplikasi struktural modern karena menawarkan kombinasi unggul antara kekuatan mekanik yang tinggi, berat jenis yang rendah, serta ketahanan korosi yang baik (Callister & Rethwish, 2018). Dengan densitas hanya sekitar 1,6 g/cm³, serat karbon memiliki strength to weight ratio yang jauh lebih baik dibandingkan baja maupun aluminium, sehingga sangat cocok diterapkan pada kendaraan hemat energi yang menuntut bobot serendah mungkin tanpa mengorbankan kekuatan struktur. Oleh karena itu, pengendalian kualitas dan integritas struktur CFRP menjadi aspek krusial dalam proses desain maupun fabrikasi.

Pemanfaatan CFRP juga diterapkan pada pembuatan atau manufaktur mobil Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE). Pada generasi sebelumnya, proses pembuatan bodi kendaraan tersebut menggunakan metode Resin Infusion, karena metode ini diyakini mampu menghasilkan distribusi resin yang lebih merata serta permukaan laminasi yang halus. Namun, hasil pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa Void Content atau rongga udara masih ditemukan pada beberapa bagian bodi, khususnya pada permukaan lengkung bagian yang memiliki kontur kompleks. Kehadiran Void Content ini menjadi masalah serius karena dapat menurunkan kualitas mekanik material, melemahkan kekuatan struktural, serta mempercepat kerusakan akibat getaran maupun benturan ringan saat kendaraan beroperasi.

Munculnya Void Content dalam proses peresinan komposit diperkirakan disebabkan oleh beberapa faktor teknis yang bersifat simultan. Salah satunya adalah viskositas resin yang terlalu tinggi, sehingga resin tidak mampu mengisi rongga di antara serat secara sempurna. Selain itu, distribusi aliran resin pada area melengkung sering kali tidak merata, menyebabkan adanya bagian yang kurang terimpregnasi. Tekanan vakum yang tidak stabil selama proses infusio juga berpotensi menyebabkan udara terperangkap di dalam laminasi. Bahkan, sealing yang tidak sempurna pada sistem vakum dapat memungkinkan udara masuk kembali ke dalam komposit saat proses curing berlangsung. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun metode Resin Infusion memiliki keunggulan, penerapannya pada permukaan bergeometri kompleks seperti bagian masih memiliki keterbatasan.

Distribusi aliran resin menjadi faktor penting dalam menentukan homogenitas struktur komposit berbasis Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). Resin harus mampu mengalir dan mengisi rongga antar serat secara merata agar tidak menimbulkan dry spot maupun Void Content. Ketidakseimbangan tekanan maupun penempatan jalur aliran yang kurang tepat sering kali menyebabkan area tertentu tidak terimpregnasi sempurna, terutama pada bagian bergeometri kompleks seperti permukaan lengkung kendaraan hemat energi.

Untuk memaksimalkan distribusi aliran pada metode Resin Infusion strategi teknis diterapkan. Penggunaan flow media di atas lapisan serat membantu mempercepat penyebaran resin secara merata ke seluruh permukaan laminasi. Sementara itu, pada metode Vacuum Bagging, distribusi aliran resin lebih dikendalikan melalui penyebaran manual. Tekanan negatif dari sistem vakum berfungsi menekan lapisan serat dan resin secara merata, sehingga meminimalkan terbentuknya rongga udara di antara lapisan. Vacuum Bagging dipilih karena tekanan negatifnya membantu meningkatkan konsolidasi laminasi dan mendorong keluarnya udara selama proses (An et al., 2023). Pendekatan ini memungkinkan resin menyebar lebih merata di seluruh area laminasi, termasuk pada kontur melengkung yang menjadi titik kritis pembentukan Void Content.

Dengan penerapan kombinasi teknik tersebut, baik metode Resin Infusion maupun Vacuum Bagging diharapkan mampu menghasilkan distribusi aliran resin yang optimal serta menekan pembentukan Void Content hingga minimal. Pengendalian aspek distribusi ini menjadi kunci dalam memperoleh struktur CFRP yang homogen, kuat, serta memiliki kualitas permukaan yang baik.

Untuk mengatasi permasalahan Void Content dan memperoleh data komparatif yang akurat, penelitian ini dimaksudkan untuk membandingkan dua metode fabrikasi, yaitu Resin Infusion dan Vacuum Bagging yang memberikan hasil produk dengan nilai void lebih rendah.

METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

1. Tempat Penelitian

Proses fabrikasi spesimen komposit CFRP dan pengujian kandungan *Void Content* dilakukan di Workshop Garnesa Racing Team sesuai ASTM D2734.

2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam rentang waktu Februari – Mei yang mencakup tahapan persiapan, fabrikasi spesimen, pengujian kandungan *Void Content*, serta pengolahan dan analisis data hasil penelitian.

Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah metode fabrikasi *resin infusion* dan *vacuum bagging*.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kandungan *void content* pada komposit CFRP.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini meliputi:

- Jenis serat karbon (woven twill 200 gsm)
- Jumlah lapisan serat (3 ply)
- Jenis resin (Epoxy dan Hardener)
- Rasio campuran resin dan hardener (2:1)
- Tekanan vakum (-1 bar)
- Suhu curing (25–30°C Suhu Ruang)
- Waktu curing (24 jam + 24 jam post curing alami)
- Ukuran sampel (100 × 50 mm)
- Jenis flow media (Infusion Mesh)

Alat dan Bahan

1. Alat

- Vacuum pump
- Resin trap
- Timbangan digital
- Gunting kain/komposit
- Roller
- Gerinda tangan
- Kacamata safety
- Sarung tangan karet/safety
- Masker
- Wadah mixing resin
- Kapi
- Smartphone

2. Bahan

- Serat karbon
- Resin epoxy
- Hardener
- Wax
- Thiner
- Spiral tube
- Infusion tube
- Vacuum bag film
- Peel ply
- Flow media
- Breather cloth
- Sealant tape

Prosedur Penelitian

1. Persiapan Mold

Tahap awal penelitian diawali dengan persiapan mold yang digunakan untuk pembuatan spesimen CFRP.

2. Persiapan Material

Material penelitian dipersiapkan dengan memotong serat karbon woven twill sesuai ukuran spesimen yang telah ditentukan, yaitu 100×50 mm. Resin epoxy dan hardener disiapkan sesuai rasio pencampuran yang telah ditetapkan.

3. Proses Fabrikasi Spesimen

Proses fabrikasi terbagi menjadi 2 metode yaitu,

a. Resin Infusion

- 1) Penyusunan serat karbon sebanyak 3 *ply* pada permukaan *mold*.
- 2) Peletakan *peel ply* di atas lapisan serat karbon.
- 3) Peletakan *infusion mesh* di atas *peel ply*.
- 4) Pemasangan *spiral tube* sebagai jalur distribusi resin.
- 5) Pemasangan selang *inlet* resin dan *outlet* vakum.
- 6) Penutupan seluruh sistem menggunakan *vacuum bag film* dan memastikan kondisi kedap menggunakan *sealant tape*.
- 7) Dilakukan leak test dengan mengaktifkan vacuum pump hingga tekanan vakum stabil pada -1 bar dan dipertahankan selama minimal 5 menit untuk memastikan tidak terdapat kebocoran.
- 8) Pencampuran resin epoxy dan hardener sesuai rasio yang telah ditetapkan.
- 9) Proses infus resin dilakukan hingga seluruh lapisan serat mengalami *wet-out* secara merata.
- 10) Setelah resin mengalir sempurna, *inlet* resin ditutup.
- 11) Tekanan vakum dijaga hingga resin mencapai kondisi gel (*gel time*).
- 12) Vakum dipertahankan selama proses *curing* awal berlangsung selama 8 jam.

b. Vacuum Bagging

- 1) Penyusunan serat karbon sebanyak 3 *ply* pada permukaan *mold*.
- 2) Pencampuran resin epoxy dan hardener sesuai rasio yang telah ditetapkan.
- 3) Pengolesan resin secara merata pada lapisan serat karbon hingga seluruh serat terimpregnasi.
- 4) Peletakan *peel ply* di atas lapisan serat yang telah terbasahi resin.
- 5) Peletakan *breather cloth* di atas *peel ply*.
- 6) Penutupan seluruh sistem menggunakan vacuum bag film dan memastikan kondisi kedap menggunakan *sealant tape*.
- 7) Proses vakum dilakukan hingga tekanan mencapai -1 bar.
- 8) Tekanan vakum dijaga hingga resin mencapai kondisi gel.
- 9) Vakum dipertahankan selama proses *curing* awal berlangsung selama 8 jam.

4. Proses Curing

Setelah proses fabrikasi selesai, spesimen CFRP dibiarkan mengalami proses curing pada suhu ruang ($25-30^\circ\text{C}$) selama 24 jam dengan kondisi vakum sesuai metode yang digunakan. Setelah curing awal selesai, spesimen dilepaskan dari sistem vakum dan dibiarkan mengalami post curing alami selama 24 jam untuk memastikan proses pengerasan resin berlangsung secara optimal.

5. Pengukuran Massa Spesimen

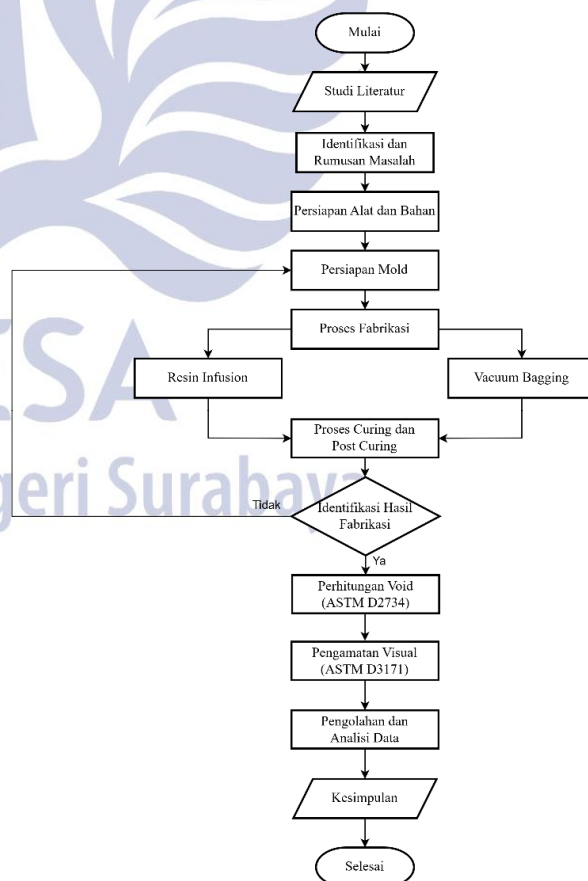
Spesimen CFRP yang telah mengalami proses *curing* dan *post curing* dilepaskan dari *mold*. Spesimen dalam kondisi utuh kemudian ditimbang untuk memperoleh massa aktual. Data ini digunakan untuk perhitungan densitas aktual dan kandungan *Void Content*.

6. Perhitungan Kandungan Void Content (ASTM D2734)

Perhitungan kandungan *Void Content* dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM D2734 – *Standard Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics*. Densitas teoritis komposit dihitung berdasarkan fraksi volume serat dan resin. Selisih antara densitas teoritis dan densitas aktual digunakan untuk menentukan persentase kandungan *Void Content* pada spesimen CFRP.

Bagan Tahapan

Berikut merupakan diagram alir pada penelitian ini,



Gambar 1. Bagan Tahapan

Teknik Pengumpulan Data

Parameter yang dianalisis meliputi densitas teoritis, densitas actual, dan *void content* sebagai berikut:

1. Densitas teoritis komposit

$$\rho_t = (V_f \times \rho_f) + (V_m \times \rho_m)$$

Dimana:

ρ_t : densitas teoritis komposit (g/cm^3)

V_f : fraksi volume serat

ρ_f : densitas serat karbon (g/cm^3)

V_m : fraksi volume resin

ρ_m : densitas resin epoxy (g/cm^3)

Sehingga,

$$\rho_f = 1,70 \text{ g/cm}^3 \quad \rho_m = 1,10 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_t = (0,50 \times 1,70) + (0,50 \times 1,10)$$

$$\rho_t = (0,85) + (0,55)$$

$$\rho_t = 1,40 \text{ g/cm}^3$$

2. Densitas aktual komposit

$$\rho_a = \frac{W_a}{W_a - W_w} \times \rho_w$$

Dimana:

ρ_a : densitas aktual komposit (g/cm^3)

W_a : massa spesimen di udara (g)

W_w : massa spesimen saat terendam air (g)

ρ_w : densitas air (g/cm^3)

3. Void Content

$$V_v = \frac{\rho_t - \rho_a}{\rho_t} \times 100\%$$

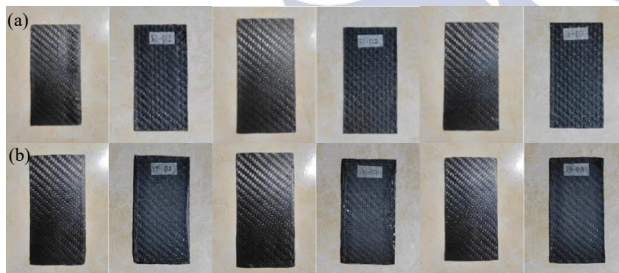
Dimana:

V_v : Void Content (%)

ρ_t : densitas teoritis komposit (g/cm^3)

ρ_a : densitas aktual komposit (g/cm^3)

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Hasil Fabrikasi Spesimen (a) Resin Infusion dan (b) Vacuum Bagging

Hasil penelitian ditunjukkan oleh Gambar 2. Hasil fabrikasi menunjukkan bahwa seluruh spesimen berhasil diproduksi sesuai dengan bentuk cetakan yang telah dirancang. Secara umum, spesimen memiliki bentuk yang mengikuti geometri cetakan. Setelah dilakukan proses demolding dan trimming, seluruh spesimen memiliki dimensi yang sesuai dengan ukuran pengujian yang telah ditetapkan.

Berdasarkan hasil pengamatan, permukaan laminasi pada setiap spesimen menunjukkan karakteristik yang berbeda-beda. Perbedaan tersebut terlihat pada tingkat kerataan permukaan, distribusi resin, serta kondisi tepi hasil pemotongan. Selain itu, pada beberapa spesimen masih dijumpai ketidakrataan pada bagian tepi akibat proses trimming setelah curing. Kondisi tersebut

merupakan konsekuensi dari proses pemotongan spesimen dan tidak memengaruhi dimensi daerah pengujian yang digunakan dalam penelitian.

Secara keseluruhan, spesimen dinyatakan layak untuk dilakukan pengujian massa kering, massa terendam, perhitungan densitas aktual, dan perhitungan Void Content sesuai metode pengujian ASTM D2734.

Tabel 1. Hasil Pengujian Massa

Metode	Geometri	Kode	Spesimen	Massa Kering	Massa Terendam
Resin Infusion	Datar	RI-D	1	4,60	1,05
			2	4,51	1,16
			3	4,72	1,20
Vacuum Bagging	Datar	VB-D	1	4,84	1,20
			2	4,66	1,24
			3	5,29	1,39

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, diperoleh data massa kering dan massa terendam dari seluruh spesimen yang digunakan dalam penelitian. Data tersebut menunjukkan hasil penimbangan masing-masing spesimen pada kondisi di udara dan saat terendam di dalam air. Nilai massa kering dan massa terendam selanjutnya digunakan sebagai parameter dalam perhitungan densitas aktual komposit menggunakan metode Archimedes sesuai prosedur penelitian.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Densitas Aktual

Metode	Geometri	Kode	Spesimen	Densitas Aktual
Resin Infusion	Datar	RI-D	1	1,29
			2	1,34
			3	1,34
Vacuum Bagging	Datar	VB-D	1	1,32
			2	1,35
			3	1,35

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 2 diperoleh nilai densitas aktual untuk setiap spesimen penelitian. Nilai tersebut merupakan hasil perhitungan berdasarkan data massa kering dan massa terendam yang diperoleh melalui metode Archimedes. Densitas aktual masing-masing spesimen selanjutnya digunakan dalam perhitungan Void Content.

Sedangkan pada penelitian ini, densitas teoritis komposit dihitung menggunakan parameter fraksi volume serat (*fiber volume fraction*) sebesar 0,50, densitas serat karbon sebesar 1,70 g/cm^3 , serta densitas resin, didapatkan nilai densitas teoritis 1,40 g/cm^3 . Nilai densitas aktual yang diperoleh dari hasil pengujian massa kemudian digunakan sebagai data masukan dalam perhitungan Void Content untuk setiap spesimen penelitian.

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 3, diperoleh nilai Void Content yang berbeda pada setiap variasi metode fabrikasi. Nilai Void Content pada spesimen Resin Infusion sebesar 5,47%, Vacuum Bagging sebesar 4,28%.

Perbedaan nilai Void Content tersebut menunjukkan bahwa setiap variasi penelitian menghasilkan karakteristik komposit yang berbeda. Hasil pengujian ini menjadi dasar

untuk dilakukan pembahasan lebih lanjut mengenai pengaruh metode fabrikasi terhadap pembentukan *Void Content* pada komposit CFRP.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Void Content

Metode	Geometri	Kode	Spesimen	Void %	Rata-rata
Resin Infusion	Datar	RI-D	RI-D1	7.85%	5,47%
			RI-D2	4.28%	
			RI-D3	4.28%	
Vacuum Bagging		VB-D	VB-D1	5.71%	4,28%
			VB-D2	3.57%	
			VB-D3	3.57%	

Berdasarkan hasil perhitungan *Void Content* yang telah disajikan pada Tabel 3, diperoleh nilai *Void Content* sebesar 5,47% pada spesimen *Resin Infusion* (RI-D), 4,28% pada spesimen *Vacuum Bagging* (VB-D). Perbedaan nilai *Void Content* tersebut menunjukkan bahwa metode fabrikasi spesimen memberikan pengaruh terhadap kualitas komposit CFRP yang dihasilkan.

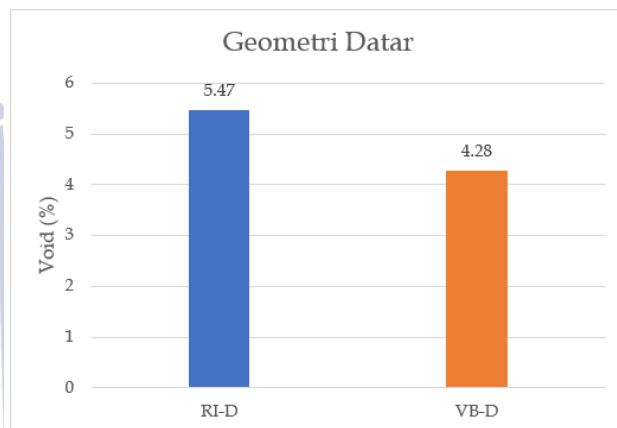
Pada resin infusion void content dapat terjadi ketika aliran resin tidak mengusir udara sepenuhnya, sehingga terbentuk spherical Void Contents. (Elkolali *et al.*, 2022). Selain itu, potensi void content dapat terjadi karena race tracking di tepi mold menyebabkan aliran resin melewati pinggir tanpa mengisi bagian tengah, viskositas resin tinggi memperlambat impregnasi sehingga serat tidak terbasahi sempurna, gradien tekanan berubah selama proses sehingga udara dapat terjebak. Sedangkan, pada vacuum bagging void content dapat terjadi karena bubble kecil dapat terbentuk jika resin tidak didegassing sebelum proses. Jika peel ply tidak tersusun rapi, tekanan tidak tersalurkan dengan baik. Tumpukan lapisan serat yang tebal dapat memerangkap udara. Selain itu hal yang dapat menyebabkan void content adalah Perbedaan jumlah jalur keluar resin dapat mengubah pola aliran resin dan mekanisme keluarnya udara dari laminasi, sehingga berpotensi memengaruhi pembentukan Void Content pada komposit CFRP (Li *et al.*, 2024).

Berdasarkan data hasil pengujian, terdapat variasi nilai antarspesimen pada metode Resin Infusion, khususnya pada spesimen RI-D1 yang menunjukkan nilai Void Content lebih tinggi dibandingkan RI-D2 dan RI-D3. Variasi tersebut diduga dipengaruhi oleh ketidakseragaman proses impregnasi resin, distribusi tekanan vakum, serta kemungkinan udara yang masih terperangkap selama proses fabrikasi.

Pada spesimen dengan, metode *Vacuum Bagging* menghasilkan nilai *Void Content* sebesar 4,28%, lebih rendah dibandingkan *Resin Infusion* sebesar 5,47%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses fabrikasi menggunakan *Vacuum Bagging* mampu menghasilkan struktur laminasi yang lebih baik. Tekanan vakum yang diberikan selama proses fabrikasi membantu mengurangi udara yang terperangkap di antara lapisan serat karbon serta meningkatkan kontak antara serat dan resin sehingga rongga (*Void Content*) yang terbentuk menjadi lebih sedikit.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Abdurrohman *et al.*, (2023) yang melaporkan bahwa penerapan tekanan vakum pada proses fabrikasi komposit

mampu meningkatkan kualitas laminasi dan menghasilkan kandungan *Void Content* yang lebih rendah dibandingkan metode yang tidak memberikan tekanan vakum secara optimal. Secara umum, metode *Vacuum Bagging* mampu menghasilkan kandungan *Void Content* yang lebih rendah karena adanya tekanan vakum yang membantu proses konsolidasi laminasi. Menurut Chen *et al.*, (2022), pembentukan *Void Content* pada komposit tidak hanya dipengaruhi oleh metode fabrikasi, tetapi juga oleh karakteristik geometri, distribusi resin, dan kondisi proses manufaktur yang dapat menyebabkan terbentuknya rongga pada lokasi tertentu di dalam laminasi.



Gambar 3. Diagram Batang Void Content

Sesuai dengan hasil penelitian pada tabel 3, yang dikonversikan menjadi Gambar 3, dengan diperolehnya nilai void content sebesar 4,28% pada metode vacuum bagging dan nilai void content sebesar 5,47% pada metode resin infusion, hal ini menunjukkan metode vacuum bagging lebih baik dibandingkan metode resin infusion. Hasil ini sejalan dengan teori Abdurrohman *et al.*, (2023) yang menyatakan bahwa metode *Vacuum Bagging* mampu menghasilkan kandungan *Void Content* yang lebih rendah karena tekanan vakum meningkatkan konsolidasi laminasi dan mengurangi udara yang terperangkap selama proses fabrikasi.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh metode fabrikasi Resin Infusion dan Vacuum Bagging terhadap tingkat Void Content pada komposit Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) menggunakan metode pengujian densitas berdasarkan ASTM D2734, maka dapat disimpulkan bahwa metode fabrikasi memberikan pengaruh terhadap tingkat *Void Content*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode *Vacuum Bagging* menghasilkan nilai *Void Content* sebesar 4,28%, sedangkan metode *Resin Infusion* menghasilkan nilai *Void Content* sebesar 5,47%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa metode *Vacuum Bagging* lebih efektif dalam menghasilkan laminasi komposit dengan kandungan *Void Content* yang lebih rendah. Hal ini dipengaruhi oleh proses konsolidasi menggunakan tekanan vakum yang mampu meningkatkan impregnasi resin ke dalam serat karbon serta mengurangi udara yang terperangkap selama proses fabrikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurohman, K., Rezky, A., Pratomo, R., Hidayat, R. A., Ramadhan, T. S., Nurtiasto, R., Ardiansyah, M., & Gilang, P. P. P. (2023). A Comparison of Vacuum Infusion, *Vacuum Bagging*, and Hand Lay-Up Process on The Compressive and Shear Properties of GFRP Materials. *Indonesian Journal of Aerospace*, 21(1), 39–50. <https://doi.org/10.59981/ijoa.2023.286>
- An, S., Kim, J. S., Roh, H. D., Kim, W. D., Lee, J., & Um, M. K. (2023). Effect of Peel Ply on Resin Flow during Vacuum Infusion. *Materials*, 16(12). <https://doi.org/10.3390/ma16124421>
- ASTM D2734. (2023). *Test Methods for Void Content*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D2734-23>
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering An Introduction by William D. Callister, Jr., David G. Rethwisch (z lib.org)*.
- Chen, Z., Peng, L., & Xiao, Z. (2022). Experimental Characterization and Numerical Simulation of *Void Contents* in CFRP Components Processed by HP-RTM. *Materials*, 15(15). <https://doi.org/10.3390/ma15155249>
- Elkolali, M., Nogueira, L. P., Rønning, P. O., & Alcocer, A. (2022). *Void Content* Determination of Carbon Fiber Reinforced Polymers: A Comparison between Destructive and Non-Destructive Methods. *Polymers*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/polym14061212>
- Li, H., Li, F., & Zhu, L. (2024a). Effect of Resin-Missing Defects on Tensile Behavior of Carbon Fiber/Epoxy Composites. *Polymers*, 16(3). <https://doi.org/10.3390/polym16030348>