

CPT (*Cure Ply Thickness*) Komposit Karbon *Unidirectional* (UD)/ Vinyl Ester dengan *Metode Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) untuk Pengembangan Float

Lathifa Rusita Isna, Afid Nugroho, Budi Sulistiyo

lathifa.rusita@lapan.go.id; afid.nugroho@lapan.go.id

(29 Desember 2020)

ABSTRAK

Komposit karbon saat ini digunakan untuk pengembangan *float seaplane*. Komposit yang sedang dikembangkan ini dibuat dengan metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI). Salah satu data yang diperlukan dalam tahap ini adalah *Cure Ply Thickness* (CPT). Data ini diperlukan untuk dijadikan database pemilihan material yang akan dijadikan acuan estimasi ketebalan komposit setelah curing per masing-masing jumlah lapisan serat. Standar pengujian yang digunakan untuk menghitung nilai CPT yaitu ASTM D 3171. Material penyusun komposit yang digunakan yaitu serat karbon UD (*unidirectional*) sebagai penguat dan resin vinyl ester sebagai matrix. Pada penlitian ini, nilai CPT tertinggi yaitu pada komposit dengan 1 lapisan serat karbon yaitu 0.45 dan terendah yaitu 0.28 pada komposit dengan 7 lapisan serat karbon.

Kata Kunci: CPT, Komposit Karbon, Vinyl Ester, VARI.

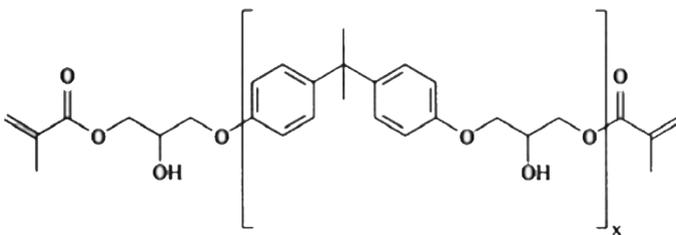
1. Pendahuluan

Dalam pengembangan *float seaplane* diperlukan material karbon yang cocok digunakan sebagai material penguat komposit dengan metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI). Adapun *mechanical properties* yang ingin dicapai dari hasil metode VARI untuk material diharapkan mendekati nilai *mechanical properties* komposit prepreg dengan autoclave. Dalam proses pengujian, standar yang digunakan yaitu mengacu pada ASTM D3039 untuk uji tarik, dan ASTM D6641 untuk uji tekan. Selain *mechanical properties* material komposit, diperlukan juga data *Cure Ply Thickness* (CPT) sebagai data base pemilihan material untuk mengetahui ketebalan komposit setelah curing per masing-masing jumlah lapisan serat. Dalam penelitian ini, digunakan variasi jumlah serat mulai dari 1 sampai 8 lapisan. Makalah ini merupakan dokumen yang membahas tentang proses manufaktur dan perhitungan nilai CPT pada komposit serat karbon UD dengan matriks vinyl ester yang dibuat dengan metode manufaktur *vacuum infusion*. Tujuan dokumen ini untuk mengetahui nilai CPT, massa komposit, penambahan massa komposit, ketebalan komposit, dan nilai fraksi massa serat pada komposit yang dihasilkan pada tiap nilai lapis serat yang digunakan.

1.1. Latar belakang

Kaw (2006) menyatakan bahwa komposit merupakan penggabungan dari dua material atau lebih, yang dibentuk pada skala makroskopik dan menyatu secara fisik untuk memperoleh sifat-sifat baru yang tidak dimiliki oleh material pembentuknya. Dalam penggabungan antara serat dan matrik, serat akan berfungsi sebagai penguat (*reinforcement*) yang biasanya mempunyai kekuatan dan kekakuan tinggi, sedangkan matrik berfungsi melindungi serat dari kerusakan eksternal dan pengaruh lingkungan merujuk pada Gibson (1994). Terutama, karbon komposit yang sangat rentan terhadap beban tumbukan karena sifatnya yang rapuh dimana energi impak dan ketangguhan meningkat seiring meningkatnya suhu pengoperasian dari

penelitian S. W. Hong, et.al (2013). Jenis serat UD memiliki sifat antara lain kuat dan kaku pada satu arah, berat serat yang rendah, tipe single tow cocok untuk *filament winding*, untuk sudut yang sempit memungkinkan dalam penempatan serat UD seperti yang disebutkan pada T[®] Hexcel Corporation (2013). Resin vinyl Ester (VE) (Gambar 1) adalah salah satu termoset perekat terpenting yang menggabungkan sifat kimia, mekanik, dan termal yang baik dari resin epoksi dengan proses yang lebih mudah dan lebih cepat dari resin poliester tak jenuh. Selain itu, resin vinyl ester memiliki sifat spesifik, yaitu resisten terhadap sejumlah besar bahan kimia, memiliki stabilitas termal yang baik, dan memiliki ketahanan leleh yang sangat baik, Jürgen H. Aurer and Ab Kasper (2003). Sifat inilah yang merupakan keunggulan dari VE. Salah satu aplikasi resin vinyl ester (VE) dalam industri angkatan laut adalah pembuatan laminasi struktural. Dalam proses polimerisasi resin, diperlukan penambahan satu set katalis dan promotor dengan perbandingan komposisi yang tepat. Paket ini berperan penting dalam reaksi cross link, sehingga rasio kombinasi optimum sangat besar untuk mencapai komposisi komposit terbaik. Selain itu, teknik yang juga dapat digunakan untuk meningkatkan ikatan interlock resin adalah waktu *curing* dan *pasca-curing*, I. C. CoREZYN Technical Research (2007).



Gambar 1. Struktur dari vinyl ester, Cristina Alía, et. al (2015)

Beberapa hal yang mempengaruhi sifat suatu material komposit adalah material penyusunnya itu sendiri, pencampuran/rasio penyusun komposit, geometri dan arah penguat komposit serta proses manufaktur. Telah disarankan oleh Wisnom, M (1999) bahwa variasi sifat material (terutama

kekuatan) disebabkan oleh ketebalan laminasi yang dapat dikaitkan dengan perbedaan dalam kondisi pemrosesan. Proses manufaktur komposit dengan metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) merupakan proses yang sangat berbeda dengan proses hand lay-up. Proses VARI ini menggunakan vacuum untuk mengalirkan resin ke dalam spesimen serat yang sudah divakum pada plastik bagging. Menurut Kosim Abdurohman dan Lidia K.P (2016), hasil manufaktur *vacuum infusion* juga menunjukkan bahwa fraksi massa serat dan fraksi massa resin untuk kedua jenis komposit memiliki nilai yang hampir sama sekitar 70% serat dan 30% resin. Ketebalan hasil manufaktur dan beberapa informasi terkait spesimen komposit hasil manufaktur seperti massa, fraksi massa akan berbeda pada setiap lapisan komposit yang dibuat, apalagi dengan jenis resin dan serat yang berbeda maka informasinya akan berbeda juga. Oleh karena itu perlu dilakukan proses manufaktur dan perhitungan CPT ini. Nilai ketebalan komposit sangat dibutuhkan jika kita akan membuat komposit dengan bahan tersebut terutama berapa lapis serat dan jumlah resin yang dibutuhkan pada komponen tertentu. Seperti yang ditunjukkan bahwa beberapa sifat mekanik yang naik serta efek ukuran yang secara langsung berkaitan dengan penurunan ketebalan lapisan seperti yang dituliskan oleh Sihm et.al. (2007). Sampai saat ini, hanya ada sedikit upaya untuk mengurangi ketebalan lapisan CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*). Saat ini, metode proses baru telah dikembangkan dan komposit laminat sekarang sedang diproduksi dengan berat areal yang ringan yaitu 25 g/m², dengan ketebalan laminat yang tidak di-cure, kira-kira, 0.02 mm. Dari sudut pandang teknik, akses ke laminasi lapisan yang tipis telah memperbesar ruang desain, menjadi lebih homogen dan meningkatkan kemungkinan susunan laminat sesuai dengan ketebalan laminasi yang telah ditentukan berdasarkan paper S. W. Tsai & M. Papila (2002), G. Guillet et.al (2014) dan G. Czél & M. R. Wisnom (2013). Hasil pengukuran ketebalan komposit karbon WR200/poliester hasil *vacuum infusion* lebih tipis dengan nilai rata-rata per lapis 0,22 mm dibanding komposit hasil hand lay up yang memiliki rata-rata ketebalan per lapisnya sebesar 0,26 mm.

Begitu juga dengan hasil pengukuran ketebalan komposit E-glass WR185/ poliester hasil *vacuum infusion* lebih tipis dengan nilai rata-rata per lapis 0,16 mm dibanding komposit hasil *hand lay up* yang memiliki rata-rata ketebalan untuk per lapisnya sebesar 0,181 mm menurut Lidia (2014).

1.2. Masalah penelitian

Masalah penelitian dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapa nilai CPT komposit serat karbon UD - matriks vinyl ester dengan metode manufaktur *vacuum infusion*.
2. Berapa nilai ketebalan komposit serat karbon UD - matriks vinyl ester dengan metode manufaktur *vacuum infusion*.
3. Berapa nilai *fiber weight percent* komposit serat karbon UD - matriks vinyl ester dengan metode manufaktur *vacuum infusion*.
4. Berapa nilai resin *weight percent* komposit serat karbon UD - matriks vinyl ester dengan metode manufaktur *vacuum infusion*.

1.3. Tujuan penelitian

Tujuan penelitian dirumuskan sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai CPT komposit serat karbon UD - matriks vinyl ester dengan metode manufaktur *vacuum infusion*.
2. Mengetahui nilai ketebalan komposit serat karbon UD - matriks vinyl ester dengan metode manufaktur *vacuum infusion*.
3. Mengetahui nilai *fiber weight percent* komposit serat karbon UD - matriks vinyl ester dengan metode manufaktur *vacuum infusion*.
4. Mengetahui nilai resin *weight percent* komposit serat karbon UD - matriks vinyl ester dengan metode manufaktur *vacuum infusion*.

1.4. Manfaat penelitian

Makalah ini memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Bagi penulis, memberikan pengetahuan nilai-nilai CPT, massa komposit, pertambahan massa komposit, ketebalan komposit, dan nilai fraksi massa serat pada komposit yang dihasilkan pada tiap nilai lapis serat yang digunakan.
2. Nilai - nilai yang dihasilkan pada penelitian ini akan dijadikan database yang dapat digunakan sebagai panduan manufaktur komposit serat karbon dengan matriks vinyl ester menggunakan metode *vacuum infusion*.

2. Metodologi

Metodologi atau metode penelitian dapat mencakup uraian dan penjelasan sebagai berikut:

- Alat dan bahan yang digunakan:

Tabel 1. Alat dan bahan

No	Alat	Bahan
1	Meja kerja	Resin Vinyl Ester
2	Gunting	Promotor dan katalis resin
3	Penggaris	Serat karbon UD
4	Jangka Sorong	Plastik bagging
5	Mesin vakum	Sealent Tape
6	Timbangan digital	Selang Infussion/Flow tube
7	Batang Pengduk	Selang Spiral
8	Gelas Ukur	Realese Agent

- Dalam penelitian ini, prosedur yang dilakukan yaitu menentukan suatu parameter, mengumpulkan data, mengolah dan menganalisis data.
- Rumus matematis sehingga hasil numeriknya dapat divalidasi

$$h_p = h/N_p$$

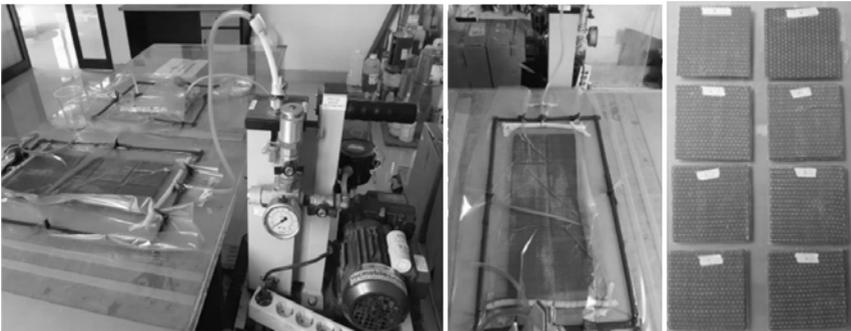
dimana:

h_p = cured ply thickness, mm

h = the measure laminate thickness, mm

N_p = number of plies in the laminate.

Plat komposit dibuat dengan variasi jumlah lapisan yang berbeda mulai dari 1- 8 lapisan. Komposit dibuat dengan campuran serat karbon UD dan resin vinyl Ester dengan menggunakan metode VARI (*Vacuum Assisted Resin Infusion*). Proses dan hasil pembuatan spesimen CPT dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Manufaktur VARI dan hasil Plat Komposit karbon UD/ vinyl Ester untuk CPT

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil penelitian

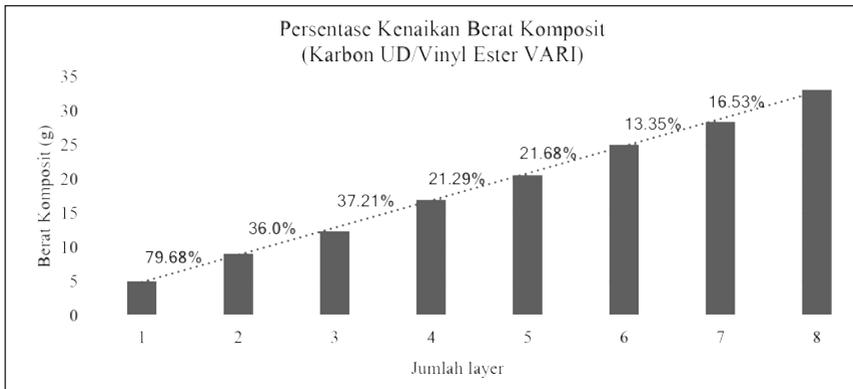
Setelah selesai spesimen tiap-tiap lapisan (ply 1 sampai dengan ply 8) mengering. Maka tahap selanjutnya adalah memperoleh data pada masing-masing spesimen ply seperti terlihat pada Tabel 1. Proses perhitungan dari data pada Tabel 1. merujuk pada standar/ prosedur pengujian ASTM D3171-15 *The Standard Test Method for Constituent Content of Composite Materials*. Menurut ASTM D3171-15 tersebut, kategori metode peritungan konstituent yang dilakukan pada percobaan ini adalah metode analisis No 2. Di mana secara garis besar kita tidak menggunakan reaksi kimia dan proses pembakaran untuk detail pengukuran massa serat yang digunakan atau disebut metode No.1.

Tabel 2. Hasil data spesimen CPT

Jumlah lapisan serat (Ply)	1	2	3	4	5	6	7	8
Tebal serat (mm)	0.38	0.76	1.14	1.5	1.9	2.28	2.66	3.04
Massa serat (g)	3.16	6.14	9.17	12.22	15.8	18.27	21.2	24.22
Massa resin (g)	4.74	9.21	13.75	18.33	23.7	27,4	31,8	36,33
Ukuran plat komposit (mm)	100x100							
Massa komposit (g)	5.07	9.11	12.39	17	20.62	25.09	28.44	33.14
Fraksi massa serat (%)	62.33	67.40	74.01	71.88	76.62	72.82	74.54	73.08
Fraksi massa resin (%)	37.67	32.6	25.99	28.12	23.38	27.18	25.46	26.92
Tebal komposit (mm)	0.45	0.75	0.98	1.27	1.53	1.77	1.95	2.29
CPT	0.45	0.38	0.33	0.32	0.31	0.30	0.28	0.29

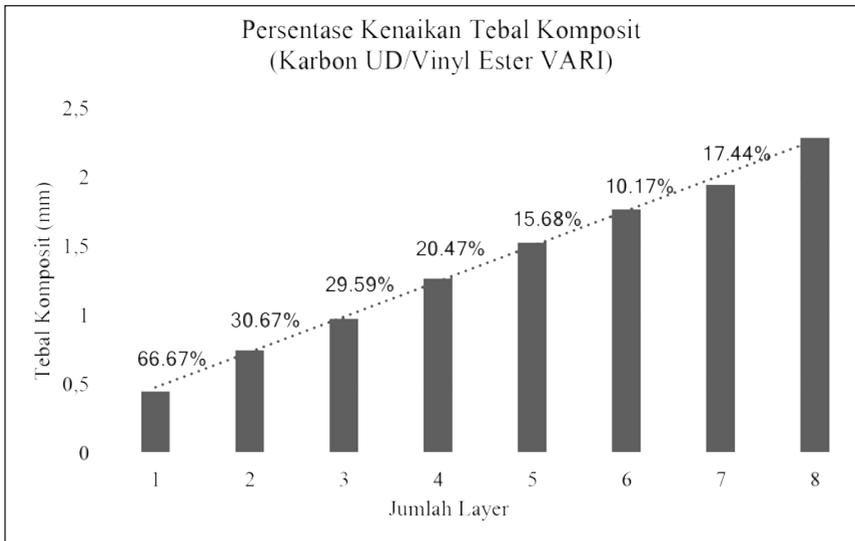
Pada lapisan 1-8 lapis didapat berat panel komposit yang dihasilkan berturut-turut adalah 5.07 gram, 9.11 gram, 12.39 gram, 17 gram, 20.62 gram, 25.09 gram, 28.44 gram dan 33.14 gram. Semakin banyak jumlah lapisan serat pada komposit maka berat komposit juga semakin meningkat. Sehingga nilai pertambahan massa pada setiap kenaikan jumlah lapisan dianalisis dengan komposit dengan penggunaan satu lapisan serat sebagai titik rujukan. Pertambahan nilai massa/berat tiap kenaikan jumlah lapisan

dinyatakan dalam nominal persentasi terhadap massa dari komposit lapisan satu. Dari hasil perhitungan didapat pada komposit dengan lapisan serat berjumlah 2 buah, kenaikan terbesar massa/berat terhadap komposit dengan lapisan serat 1 buah terhadap serat lapisan serat berjumlah 2 yakni 79.68%, seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram batang persentase pertambahan massa vs jumlah lapisan/ply

Pengukuran nilai ketebalan pada masing - masing spesimen mulai dari spesimen CPT berjumlah lapisan 1 sampai dengan 8 (ply 1 – ply 8) dilakukan dan hasilnya secara berurutan sebagai berikut; tebal panel komposit 1-8 lapis adalah adalah 0.45 mm, 0.75 mm, 0.98 mm, 1.27 mm, 1.53 mm, 1.77 mm, 1.95 mm dan 2.29 mm. Semakin banyak lapisan seratnya maka ketebalan komposit semakin meningkat. Nilai persentase pertambahan ketebalan dari lapisan 1-8 dapat dilihat pada Gambar 4.



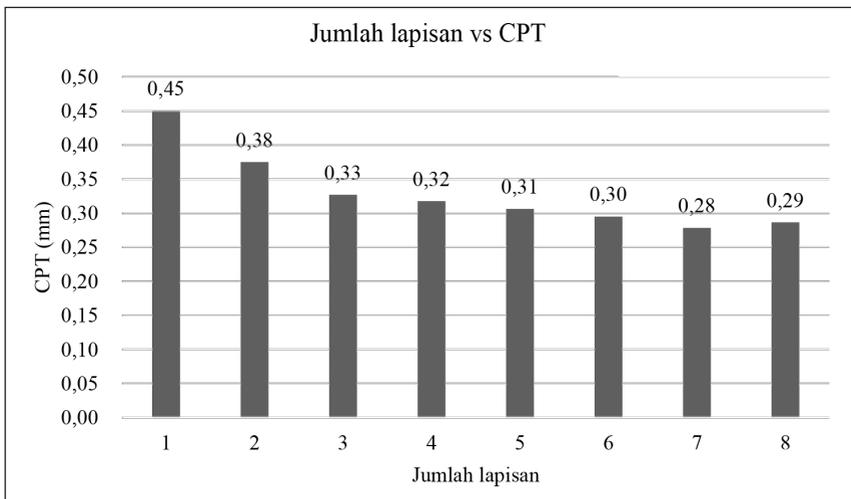
Gambar 4. Diagram batang persentase pertambahan nilai ketebalan vs jumlah lapisan/ply

A. Perhitungan Nilai Fraksi Berat (%)

Perhitungan nilai persen berat serat sebagai fraksi massa serat pada masing - masing spesimen mulai dari spesimen CPT berjumlah lapisan serat 1 lapis sampai dengan 8 lapis (ply 1 – ply 8) dilakukan dan hasilnya ditampilkan pada tabel 1. Pada komposit dengan jumlah lapisan 1 lapis sampai 8 lapis serat secara berurutan didapat nilai persen berat serat sebagai fraksi massa serat panel komposit yang dihasilkan adalah 62.33%, 67.4%, 74.01%, 71.88%, 76.62%, 72.82%, 74.54% dan 73.08%. Nilai tertinggi untuk fraksi berat serat diperoleh pada jumlah lapisan 5 lapis. Jika dirata-rata maka nilai fraksi berat serat untuk komposit ini adalah 71.59%. Sehingga dapat dihitung nilai fraksi berat matrik adalah 28.41%.

B. Perhitungan nilai ketebalan CPT (mm)

Perhitungan nilai ketebalan CPT pada masing - masing spesimen mulai dari spesimen berjumlah lapisan serat 1 lapis sampai dengan 8 lapis (ply 1 – ply 8) dilakukan dan hasilnya ditampilkan pada tabel 1 dan Gambar 5. Pada komposit dengan jumlah lapisan 1 lapis serat sampai 8 lapis serat secara berurutan didapat nilai nilai ketebalan CPT adalah 0.45 mm, 0.38 mm, 0.33 mm, 0.32 mm, 0.31 mm, 0.30 mm, 0.28 mm dan 0.29 mm. Nilai CPT paling tinggi diperoleh pada jumlah lapisan 1 lapis. Jika dirata-rata untuk komposit ini maka nilai CPTnya adalah 0.33 mm.



Gambar 5. Diagram batang perbandingan nilai CPT vs jumlah lapisan/ply

3.2. Persamaan Matematik

Persamaan matematik yang digunakan pada penelitian ini sesuai standard ASTM D3171-15 adalah sebagai berikut:

$$\rho_c = M_i / (A \times h \times 1000) \quad (1)$$

$$W_r = A_r \times N \times 0.1 / (\rho_c \times h) \quad (2)$$

$$W_m = 100 - (A_r \times N \times 0.1 / (\rho_c \times h)) \quad (3)$$

$$h_p = h / N_p \quad (2)$$

Dimana;

ρ_c = density of the composite specimen, g/cm³

M_i = mass of the specimen, g

A = area of the specimen, m²

W_r = Reinforcement Content, Weight Percent (%)

W_m = Matrix Content, Weight Percent (%)

A_r = mass of one sheet of reinforcement/unit area, g/m²

N_p = number of sheets/plies in the test specimen.

h_p = cured ply thickness, mm

h = the measure laminate thickness, mm

N_p = number of plies in the laminate.

4. Penutup

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada spesimen komposit serat karbon UD - matriks vinyl ester dengan metode manufaktur *vacuum infusion* dengan jumlah lapisan 1 sampai 8 lapis maka disimpulkan bahwa:

1. Nilai CPT komposit serat karbon UD - matriks vinyl ester dengan metode manufaktur *vacuum infusion* sesuai jumlah lapisan 1 sampai 8 lapis secara berurutan adalah 0.45 mm, 0.38 mm, 0.33 mm, 0.32 mm,

- 0.31 mm, 0.30 mm, 0.28 mm dan 0.29 mm. Nilai CPT paling tinggi diperoleh pada jumlah lapisan 1 lapis. Jika di rata-rata untuk komposit ini maka nilai CPTnya adalah 0.33 mm.
2. Nilai ketebalan komposit serat karbon UD - matriks vinyl ester dengan metode manufaktur *vacuum infusion* sesuai jumlah lapisan 1 sampai 8 lapis secara berurutan adalah 0.45 mm, 0.75 mm, 0.98 mm, 1.27 mm, 1.53 mm, 1.77 mm, 1.95 mm dan 2.29 mm.
 3. Nilai *fiber weight percent* komposit serat karbon UD - matriks vinyl ester dengan metode manufaktur *vacuum infusion* sesuai jumlah lapisan 1 sampai 8 lapis secara berurutan adalah 62.33%, 67.4%, 74.01%, 71.88%, 76.62%, 72.82%, 74.54% dan 73.08%. Nilai tertinggi untuk fraksi berat serat diperoleh pada jumlah lapisan 5 lapis. Jika dirata-rata maka nilai fraksi berat serat untuk komposit ini adalah 71.59%.
 4. Nilai resin *weight percent* komposit serat karbon UD - matriks vinyl ester dengan metode manufaktur *vacuum infusion* sesuai jumlah lapisan 1 sampai 8 lapis secara berurutan adalah 37.67%, 32.6%, 25.99%, 23.38%, 27.18%, 25.46% dan 26.92%. Jika dirata-rata nilai fraksi berat matrik untuk komposit ini adalah 28.41%.

4.2. Saran

Untuk mendapatkan data yang lebih perlu dilakukan metode pengukuran fraksi serat dengan metode perhitungan kimia dan proses pembakaran. Selain itu perlu juga dihitung fraksi volume dari komposit, serat dan resin. Perhitungan ini masih mengabaikan nilai fraksi void pada hasil manufaktur. Sebaiknya dilanjutkan untuk pengukuran *density* komposit. Untuk menjaga proses manufaktur yang lebih baik dan tertelusur diperlukan form-form khusus dan ketelitian pada saat proses.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Bapak Gunawan setyo prabowo selaku Kapustekbang LAPAN, Bapak Agus Aribowo selaku Group Leader Program N219 Amphibi dan semua pihak yang telah membantu dalam proses penulisan makalah ini.

Daftar Pustaka

- ASTM D3171-15 The Standard Test Method for Constituent Content of Composite Materials
- Cristina Alía, José A. Jofre-Reche, Juan C. Suárez, José M. Arenas and José Miguel Martín-Martínez, Influence of post-curing temperature on the structure, properties, and adhesion of vinyl ester adhesive, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 2015, Vol. 29, No. 6, 518–531, <http://dx.doi.org/10.1080/01694243.2014.995910>
- G. Czél, M. R. Wisnom, Demonstration of pseudo-ductility in high performance glass/epoxy composites by hybridisation with thin-ply karbon 370 prepreg, *Composites: Part A* 52 (2013) 23–30.
- G. Guillamet, A. Turon, J. Costa, J. Renart, P. Linde, J. Mayugo, Damage occurrence at edges of non-crimp-fabric thin-ply laminates under off-axis uniaxial loading, *Composites Science and Technology* 67 (2014) 996–1008.
- Gibson, O.F., 1994. *Principle of Composite Materials Mechanics*, McGraw-Hill Inc., New York, USA. Lukkassen,.
- Hexcel, HexPly® Prepreg Technology, January 2013 Publication No. FGU 017c, ® Hexcel Registered Trademark, © Hexcel Corporation
- I. C. CoREZYN Technical Research, “Proper Cure of Vinyl Ester Resins,” minnesota, 2007. [Online]. Available: www.interplastic.com.
- Jürgen H. Aurer and Ab Kasper, *Unsaturated Polyester Resins - Polymers with unlimited possibilities*, 2003, verlag moderne industrie, Germany.
- Kaw, A.K., 2006. *Mechanics of Composite Materials* 2nd ed., New York, USA: CRC Press, New York.
- Kosim Abdurrohman dan Lidia K.P, Upgrade Manufaktur Komposit Menggunakan Metode Vacuum Resin Infusion Untuk Struktur LSU, *Berita Dirgantara*, Vol 17 No. 1 (2016).

- Lidia, K.P., 2014. Penelitian Resin Content Actual, Pustekbang, LAPAN.
- S. Sihm, R. Y. Kim, K. Kawabe, S. W. Tsai, Experimental studies of thin-ply laminated composites, *Composites Science and Technology* 67 (2007) 996–1008.
- S. W. Hong, S. S. Ahn, H. Li, J. K. Kim, S. J. Ko, J. M. Koo, C. S. Seok: Charpy impact fracture characteristics of CFRP composite materials according to variations of fiber array direction and temperature, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* 14 (2013), No. 2, pp. 253 – 258, DOI: 10.1007/s12541-013-0035-9
- S. W. Tsai, M. Papila, Homogenization made easy with bi-angle thin-plyncf, *JEC Composites Magazine* 68 (2011) 70–1. 365
- Wisnom, M. “Size effects in the testing of fibre-composite materials”, *Journal of Composites Science and Technology*, Volume 59 (1999) pp. 1937-1957.