

ANALISIS KEKUATAN FLEXURAL STRUKTUR SANDWICH DENGAN CORE KAYU BALSA YANG DIBUAT MENGGUNAKAN METODA VARTM

Hendri Syamsudin*, Handoko Subawi**, Hamka*

*Kelompok Keahlian Struktur Ringan, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara
Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia 40132
Tel.: 022-254243, Fax: 022-2534164, E-mail: hendri.syamsudin@ae.itb.ac.id

**Bonding Komposit, Direktorat Aerostructure
PT Dirgantara Indonesia, Bandung, Indonesia, 40174

Abstrak

Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding (VARTM) merupakan suatu metoda produksi struktur komposit yang dapat menghasilkan produk dengan kualitas yang baik dan dengan biaya yang cukup murah. Pada penelitian ini metode VARTM digunakan untuk membuat struktur sandwich dengan core kayu balsa. Tiga campuran matriks dipakai sebagai material pembangun struktur sandwich tersebut. Penelitian terhadap desain konfigurasi VARTM mencakup parameter berikut, yaitu pengaturan tekanan negatif di dalam cetakan, konfigurasi peletakan titik inlet dan outlet, penggunaan sisi miring pada core, dan konfigurasi penggunaan vacuum hose. Variasi dilakukan untuk memahami faktor keberhasilan dalam proses infusi matriks, sehingga proses produksi tidak mengalami kegagalan. Uji mekanikal 3-point bending dilakukan untuk mendapatkan karakteristik flexural dari masing-masing varian matriks. Pengujian dilakukan pada 2 spesimen, yaitu laminat dan sandwich. Pada spesimen laminat, kekuatan dan kekakuan yang paling besar dimiliki oleh MT-B. Sedangkan pada spesimen sandwich, kekuatan paling besar dimiliki oleh MT-A2. Hasil yang diperoleh juga menunjukkan bahwa metode VARTM menghasilkan produk yang lebih baik dari kualitas (fraksi volum fiber) sebesar 27% dan kekuatan flexural sebesar 31% dibanding metode hand lay-up.

Kata kunci : metode VARTM, struktur sandwich, core kayu balsa, variasi matriks, kekuatan flexural

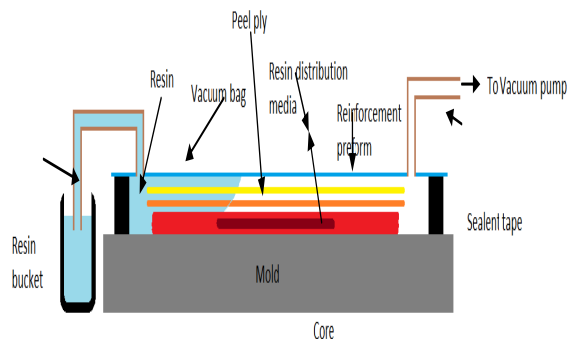
1. Pendahuluan

Struktur komposit *sandwich* telah banyak digunakan dan sangat potensial untuk dikembangkan dalam aplikasi manufaktur pada industri. Pada penelitian ini, dikaji 3 variasi campuran matriks, variasi desain konfigurasi VARTM dan uji kualitas produk.

Spesimen laminat dan *sandwich* dibuat selanjutnya melalui uji mekanik *3-point bending*. Hasil pengujian memberikan informasi modulus kegagalan dan kekuatan *flexural* dari setiap varian matriks.

1. Desain Konfigurasi VARTM dan Evaluasi

Prosedur Metode VARTM



Gambar 1. Skema proses VARTM

Tahapan metode VARTM dalam penelitian ini dibagi ke dalam 3 langkah:

1. *Preform lay-up*, tahap ini dilakukan sebelum proses pengaliran yaitu pemodelan *preform* termasuk di dalamnya penataan *reinforcement* yang akan digunakan



2. Infusi matriks, merupakan proses pengaliran matriks ke dalam cetakan yang berisi *preform* tersebut
3. Proses *curing*, terjadi dalam kondisi temperatur ruang.

2.2 Material

Reinforcement menggunakan *fiberglass* dengan tipe E-glass yaitu CWR 400. Kayu balsa digunakan sebagai *core* (densitas 117,5 kg/m³), dan untuk matriks digunakan campuran dengan variasi sebagai berikut:

Tabel 1. Klasifikasi matriks yang digunakan

Campuran Matriks	Resin Epoksi	Hardener Epoksi	Pengencer Epoksi	Komposisi RHD
MT-A2	EPR 174	EPH 340	EPD Z8	4 : 4 : 2
MT-A1	EPR 174	EPH 340	EPD Z8	45 : 45 : 10
MT-B	EPR 174	EPH 555	-	2 : 1 : 0

2.3 Pengukuran Gel Time dan Viskositas

Pengukuran gel time setiap matriks dilakukan pada 3 tahap, yaitu *work life*, *pot life*, dan *gel time*. Tahap *work life* (WL) dipakai untuk pertimbangan desain konfigurasi VARTM. *Work life* untuk masing-masing campuran sebagai berikut; MT-A2: 165 menit, MT-A1: 85 menit, MT-B: 33 menit.

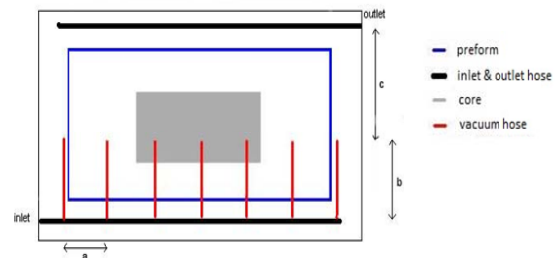
Pengukuran viskositas dilakukan pada temperatur ruang. Untuk pertimbangan desain konfigurasi VARTM, kenaikan viskositas akibat proses *curing* dan perubahan temperatur ruang pada saat proses infusi matriks diabaikan. Viskositas untuk masing-masing campuran matriks sebagai berikut; MT-A2: 4375 cps, MT-A1: 11125 cps, MT-B: 4100 cps.

2.4 Desain Konfigurasi VARTM

Desain konfigurasi VARTM dilakukan berdasarkan 4 aspek berikut; pemilihan tekanan negatif, konfigurasi peletakan lokasi inlet-outlet, penetapan konfigurasi *vacuum hose*, dan penggunaan sisi miring pada *core*.

Tekanan negatif di dalam *mold* dikontrol menggunakan *pressure release valve* pada peratalan VARTM. Pemilihan tekanan negatif sebesar 58 cmHg (0,77 bar) digunakan dalam penelitian ini, karena selain memiliki waktu proses yang cepat juga menghasilkan kualitas yang baik.

Konfigurasi *vacuum hose* divariasikan berdasarkan campuran matriks yang digunakan.



Gambar 2. Skema konfigurasi *vacuum hose*

Gambar di atas merupakan salah satu contoh konfigurasi *vacuum hose* yang digunakan, pola aliran resin yang dihasilkan akan berbeda untuk setiap konfigurasi. Tujuan penggunaan *vacuum hose* untuk mempercepat proses pengaliran karena dapat mempercepat pengaliran pada area dengan porositas kecil.



Gambar 3. Modifikasi sisi *core*. (a) sisi *core* tegak lurus. (b) sisi *core* *taper*

Sisi *core* dibuat dengan gradien kemiringan tertentu (sisi *taper*), maka saat proses *vacuuming* awal, lapisan *fiber* akan *compact* dengan sisi *core* seperti pada gambar 3.b.

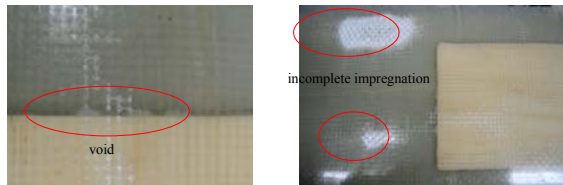
2.5 Evaluasi Proses Infusi Matriks dan Kualitas Produk

Parameter keberhasilan proses VARTM terdapat dalam 2 tahap:

1. Pada saat proses infusi matriks, keberhasilan sangat ditentukan berdasarkan bocor atau tidaknya sistem pada saat proses infusi berjalan. Kebocoran sedikit saja pada *vacuum bag* atau *buthil* tape dapat menyebabkan kegagalan proses infusi secara keseluruhan.
2. Kualitas produk, produk dengan kandungan *void* yang sangat tinggi dan *incomplete impregnation* tidak bisa dipakai dan harus dibuang.

Dalam penelitian ini, desain konfigurasi VARTM dilakukan sesuai dengan ukuran cetakan dan karakteristik matriks yang digunakan. Jika proses VARTM mengalami kegagalan, maka harus dilakukan *re-design* hingga proses mencapai keberhasilan. Tiga campuran matriks yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai karakteristik masing-masing. Hal ini menyebabkan perbedaan pada proses infusi dan kualitas produknya.





Gambar 4. Kegagalan kualitas produk. (a) void sekitar core. (b) incomplete impregnation

3. Uji Mekanik dan Kekuatan Material

Uji *3-point bending* dilakukan pada struktur laminat dan *sandwich*. Pengujian *3-point bending* spesimen laminat mengacu pada ASTM D 790-03 (2003), sedangkan spesimen *sandwich* mengacu pada ASTM C 393-00 (2000).

3.1 Persiapan dan Pembuatan Spesimen Uji

Spesimen uji yang dibuat dengan metode VARTM dipersiapkan sebanyak 5 buah untuk spesimen laminat dan 3 buah untuk spesimen *sandwich*. Masing-masing jumlah tersebut dibuat untuk setiap 3 variasi matriks. Spesimen dengan metode *hand lay-up* juga dipersiapkan untuk melihat perbandingan kualitas dan kekuatan. Spesimen dengan metode *hand lay-up* hanya dibuat untuk konfigurasi *sandwich*, dan menggunakan bahan matriks MT-A2 sebagai material.

Tabel 2. Dimensi spesimen uji

Jenis Spesimen	Tebal (mm)	Panjang (mm)	Lebar (mm)
Laminat	3,07	130	25
Sandwich	7,24	300	75

3.2 Perhitungan Fraksi Volum Fiber

Pengukuran fraksi volum *fiber* dilakukan untuk melihat perbedaan kualitas dari masing-masing spesimen.

Tabel 3. Data fraksi volum *fiber*

Tipe Spesimen	V_f
MT-A2	0,57
MT-A1	0,59
MT-B	0,60
L *	0,45

*L: spesimen yang dibuat dengan metode *hand lay-up*

Pengukuran fraksi volum *fiber* dilakukan dengan metode *burn-off* dengan mengacu pada ASTM D 2584-02 (2002).

3.3 Uji 3-Point Bending Sandwich Spesimen VARTM Dengan Spesimen Hand Lay-up

Perhitungan kekuatan *flexural* untuk spesimen *sandwich* menggunakan persamaan dari ASTM C 393-00

$$\sigma_{fb} = \frac{PL}{2t(d+c)b} \quad [1]$$

$$\tau_c = \frac{P}{(d+c)b} \quad [2]$$

Tegangan normal di *face* pada lapisan *fiber* paling luar (σ_{fb}) dihitung menggunakan persamaan [1]. Sedangkan tegangan geser yang terjadi di *core* (τ_c) dihitung menggunakan persamaan [2].

Tabel 4. Perbandingan metode VARTM dengan metode *hand lay-up*

Tipe Spesimen	Displacement (mm)	τ_c (MPa)	σ_{fb} (MPa)
MT-A2	11,953 ± 0,27	1,14 ± 0,10	87,9 ± 4
L	8,719 ± 0,94	1,13 ± 0,10	67,2 ± 6

3.4 Uji 3-Point Bending Spesimen Laminat

Perhitungan kekuatan *flexural* dari konfigurasi laminat menggunakan persamaan dari ASTM D 790-03.

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \quad [3]$$

$$D = \frac{rL^2}{6d} \quad [4]$$

$$E_B = \frac{L^3m}{4bd^3} \quad [5]$$

Flexural stress (σ_f) merupakan tegangan maksimum yang terjadi di lapisan *fiber* paling luar dihitung menggunakan persamaan [3]. Sedangkan untuk defleksi tengah *span* (D) dihitung menggunakan persamaan [4], dan modulus elastisitas bending (E_B) menggunakan persamaan [5].

Tabel 5. Perhitungan spesimen laminat

Tipe Spesimen	D (mm)	σ_f (MPa)	E_B (GPa)
MT-A2	3,010 ± 0,60	189,4 ± 13	13,7 ± 2,2
MT-A1	2,882 ± 0,32	159,5 ± 25	15,6 ± 1,6
MT-B	2,090 ± 0,20	238 ± 15	16 ± 0,6

3.5 Uji 3-Point Bending Spesimen Sandwich

Perhitungan kekuatan *flexural* spesimen *sandwich* untuk 3 campuran matriks menggunakan persamaan [1] dan [2].



Tabel 6. Perhitungan spesimen *sandwich*

Tipe Spesimen	Displacement (mm)	τ_c (MPa)	σ_{fb} (MPa)
MT-A2	11,953 ± 0,27	1,14 ± 0,10	87,9 ± 4
MT-A1	10,158 ± 0,39	0,93 ± 0,05	78,6 ± 4
MT-B	8,164 ± 0,49	0,86 ± 0,11	61,5 ± 8

Tipe:	MT-A2	MT-A1	MT-B
Kekuatan (σ_{fb}):	87,9 MPa	Lebih kecil 11%	Lebih kecil 30%

4. Kesimpulan

- Proses infusi resin untuk metode VARTM pada campuran matriks MT-A2, MT-A1, dan MT-B telah berhasil dilakukan. Desain konfigurasi VARTM untuk masing-masing campuran matriks telah menghasilkan kualitas produk yang cukup baik. Hal ini ditunjukkan dengan kandungan *void* yang rendah, tidak terjadi *incomplete impregnation*, dan fraksi volum *fiber* total sebesar 0,59.
- Dari penelitian pada metode VARTM ditemukan, bahwa penggunaan konfigurasi sisi *taper* pada *core* dapat memberi keuntungan sebagai berikut:
 - mencegah terjadinya distribusi resin yang tidak merata antar lapisan *fiber* sewaktu proses infusi matriks berlangsung
 - Tidak terjadi penumpukan resin pada sisi *core*
 - Mengurangi kemungkinan terjadinya *void* pada sisi *core*
- Perbandingan kekuatan *flexural* pada spesimen metode VARTM dengan metode *hand lay-up*:

Tipe:	VARTM (MT-A2)	<i>Hand lay-up</i> (L)
Kekuatan (σ_{fb}):	87,9 MPa	Lebih kecil 23%
Kualitas (V_f):	0,57	Lebih kecil 21%

Spesimen dengan metode VARTM menghasilkan produk yang lebih unggul dibanding metode *hand lay-up* dari segi kualitas dan kekuatan.

- Perbandingan kekuatan *flexural* 3 campuran matriks pada spesimen laminat:

Tipe:	MT-B	MT-A2	MT-A1
Kekuatan (σ_f):	238 MPa	Lebih kecil 20%	Lebih kecil 33%
Kekakuan (E_B):	16 GPa	Lebih kecil 14%	Lebih kecil 3%

- Perbandingan kekuatan *flexural* 3 campuran matriks pada spesimen *sandwich*:

Daftar Pustaka

ASTM D790-03 (2003), "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials", ASTM International.

ASTM C393-00 (2000), "Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions", ASTM International.

ASTM 2584-02 (2002), "Standard Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins", ASTM International.

Pengakuan Dukungan Penelitian

Penelitian dapat terlaksana karena dukungan Riset Insentif RISTEK 2010, DF-2010-2272.

