

Pengaruh Fraksi Berat Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Poliester Berpenguat Serat Gelas Acak yang Dicitak dengan Teknik Hand Lay Up

I Wayan Surata dan I Ketut Suarsana

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali
E-mail: waysurat@yahoo.com

Abstrak

Penggunaan komposit jenis poliester-serat gelas saat ini sudah sangat luas, mulai dari peralatan rumah tangga yang sederhana sampai dengan alat transportasi berteknologi tinggi seperti pada otomotif dan pesawat terbang. Keunggulan komposit adalah kuat, kaku, ringan, tahan terhadap korosi, dan penampilan yang indah. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh fraksi berat serat terhadap kekuatan tarik. Komposit dicetak menggunakan lembaran serat gelas acak MAT 300, dengan matriks unsaturated poliester jenis Yukalac 157 BQTN, ditambah hardener 1% (v/v) jenis MEKPO. Spesimen dibuat sesuai dengan standard ASTM D3039. Berdasarkan analisis hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa semakin meningkat fraksi berat/volume serat dengan tebal yang konstan menghasilkan kekuatan tarik dan regangan yang meningkat, sementara modulus elastisnya relatif sama. Kekuatan tarik tertinggi dicapai oleh komposit dengan jumlah tumpukan serat 3 lapis dan tebal 1 mm, yaitu $\sigma = 151,2$ MPa, $E = 13,68$ GPa, dan regangan $\varepsilon = 1,41$ %, serta merupakan jumlah tumpukan maksimum yang dapat dibuat untuk tebal 1 mm. Untuk komposit dengan fraksi berat/volume yang tetap, tetapi jumlah lapisan dan tebal yang meningkat, menghasilkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas semakin menurun, tetapi regangannya meningkat.

Kata kunci: poliester, serat, hand-lay up, fraksi berat.

Pendahuluan

Penggunaan bahan komposit jenis poliester-serat gelas saat ini sudah sangat luas, mulai dari peralatan rumah tangga, bahan pengemas, sampai pada material struktur seperti pada otomotif, kapal laut, pesawat terbang, dan lain sebagainya. Keunggulan komposit adalah selalu menunjukkan kualitas terbaik dari bahan-bahan penyusunnya. Keunggulan tersebut adalah kekuatan, kekakuan, ringan, tahan terhadap korosi, dan penampilan yang indah. Bahan komposit ideal dipergunakan dalam struktur dimana ratio kekuatan terhadap berat, dan ratio kekakuan terhadap berat menjadi pertimbangan (Gibson, 1994; Phililips, 1989). Komposit modern biasanya dibuat dari dua komponen utama yaitu serat sebagai penguat dan matriks sebagai pengikat. Serat yang paling sering dipakai adalah serat gelas (*fiberglass*), tapi kadang-kadang juga kevlar, karbon, atau boron. Bahan pengikat biasanya dari kelompok termoset seperti epoxy, poliester, fenol atau polimide.

Bali sebagai daerah tujuan wisata utama, membutuhkan banyak sarana penunjang pariwisata seperti boat untuk rekreasi, memancing, selam, parasailing, serta papan selancar untuk keperluan wisatawan. Boat dan papan selancar dibuat dari bahan komposit jenis poliester dan serat gelas. Pencetakan dilakukan dengan teknik *hand lay up* yaitu cara manual dengan meletakkan serat diatas cetakan, kemudian diisi matriks lalu diratakan dengan rol. Pada akhir proses penuangan cetakan diberi tekanan agar permukaan komposit yang terbentuk rata dan tidak mengandung gelembung udara (cacat). Sifat mekanik komposit tergantung pada banyak parameter seperti kekuatan serat, modulus serat, panjang serat, orientasi serat, disamping ikatan antarmuka serat-matriks dan fraksi berat serat atau fraksi volume serat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara fraksi berat serat dengan kekuatan tarik komposit poliester berpenguat serat gelas acak, yang dicetak dengan cara *hand lay up*. Juga untuk mendapatkan kondisi optimum jumlah lapisan serat yang dapat dicetak untuk tebal tertentu. Manfaat penelitian ini adalah dapat menyediakan data sifat mekanis bahan komposit poliester-serat gelas acak yang dicetak dengan cara *hand lay up*.

Tinjauan Pustaka

Salah satu parameter penting yang menentukan karakteristik dari komposit adalah perbandingan matriks dan penguat yang biasanya berupa serat. Perbandingan ini dapat dalam bentuk fraksi berat serat atau fraksi volume serat. Dalam bentuk fraksi berat serat dihitung dengan persamaan:

$$W_f = \frac{w_f}{w_c} \dots\dots\dots (1)$$

dengan W_f = fraksi berat serat (%), w_f = berat serat (gr), w_c = berat komposit (gr)

Dan dalam bentuk fraksi volume serat:

$$V_f = \frac{v_f}{v_c} \dots\dots\dots (2)$$

dengan V_f = fraksi volume serat (%), v_f = volume serat (cm³), v_c = volume komposit (cm³)

Densitas serat dihitung dengan persamaan sesuai ASTM D 3800:

$$\rho_f = \frac{m_u}{m_u - m_m} \rho_m \dots\dots\dots (3)$$

dengan m_u = berat benda di udara (gr), m_m = berat benda didalam minyak (gr), ρ_f = densitas serat (gr/cm³), ρ_m = densitas minyak (gr/cm³).

Kekuatan tarik dihitung dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (4)$$

dengan σ = kekuatan tarik (MPa), P = beban (N), dan A = luas penampang (mm²)

Regangan dihitung dengan persamaan:

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} = \frac{\Delta l}{l_o} \dots\dots\dots (5)$$

dengan ε = regangan, l_i = panjang setelah pembebanan (mm), l_o = panjang awal sebelum pembebanan (mm)

Modulus elastisitas dihitung dengan persamaan:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \dots\dots\dots (6)$$

dengan E = modulus elastisitas (MPa), $\Delta\sigma$ = selisih tegangan didaerah elastis (MPa), $\Delta\varepsilon$ = selisih regangan di daerah elastis.

Penelitian untuk mengetahui sifat-sifat bahan komposit yang dicetak dengan cara *hand lay up* telah banyak dilakukan sebelumnya. Kook, et.al (2005) mencetak komposit serat gelas poliester dengan cara kombinasi antara *hand lay up* dan proses vacum dengan hasil dapat meningkatkan ketangguhan retak dan modulus elastisitas, dimana komposit ini dipakai untuk membuat boat wisata (*leisure boat*). Hu Ruihua, et.al (2005) melaporkan penggunaan komposit pada industri komponen otomotif dapat menurunkan berat antara 20-30%. Taurista, dkk (2006) melakukan penelitian terhadap komposit laminat serat bambu dengan matriks poliester yang dicetak dengan cara *hand lay up* dengan hasil kekuatannya memenuhi standar BKI, sehingga direkomendasikan untuk penggunaan pada kulit kapal. Wijang, dkk (2006) melaporkan penambahan fraksi volume serat akan meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan lentur komposit. Sementara hasil penelitian oleh Diharjo, dkk (2005) menyimpulkan komposit yang terdiri dari 3 lapis memiliki kekuatan dan modulus lentur lebih tinggi dibandingkan komposit 5 lapis.

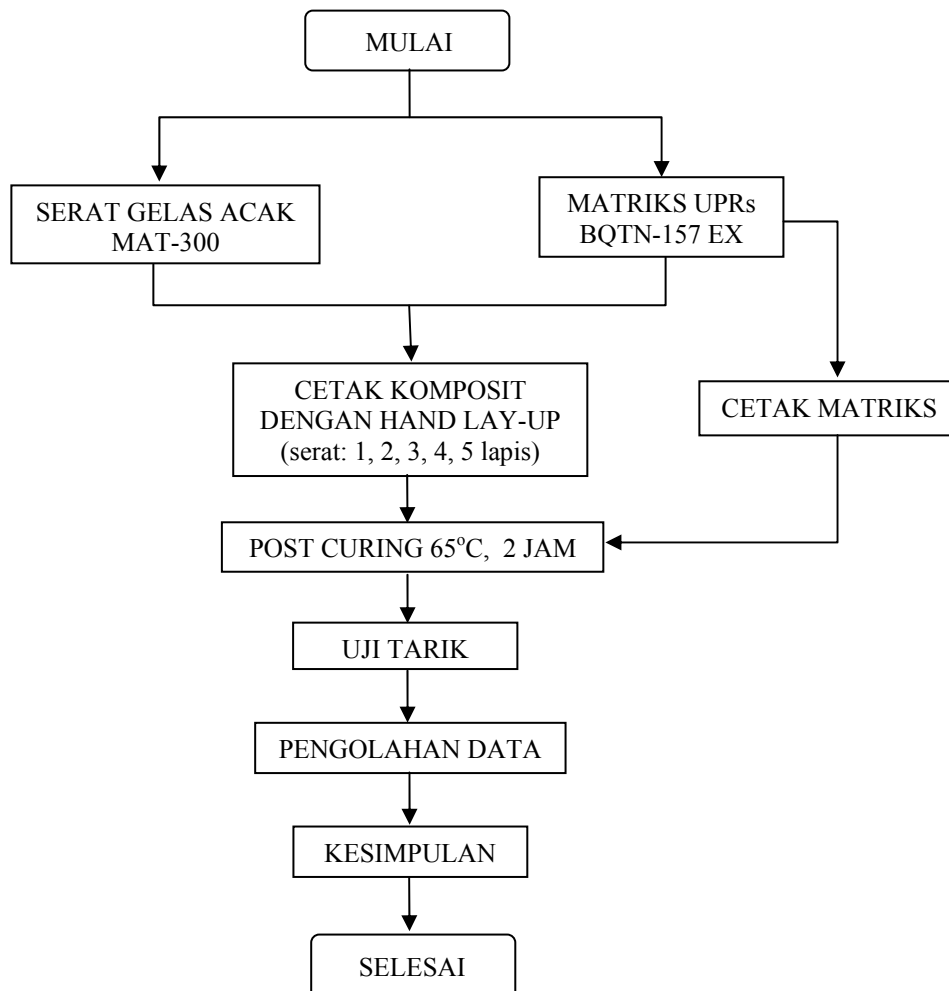
Metode Penelitian

Peralatan utama yang dipergunakan untuk mencetak komposit dengan cara *hand lay up* terdiri dari: satu set alat cetak dari bahan *stainless steel*, pemberat yang berfungsi sebagai penekan agar permukaan hasil cetakan rata, *roller* baja berulir untuk meratakan serat dan resin pada saat penuangan, timbangan digital, gelas ukur, gergaji dan gerinda untuk membentuk benda kerja. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari: matriks *Unsaturated polyester* jenis *Yukalac*

157 BQTN, katalis (*hardener*) jenis Metil Etil Keton Peroksida (MEKPO), serat gelas acak berbentuk lembaran jenis MAT 300.

Proses pencetakan komposit dimulai dengan membersihkan cetakan, memasang bingkai sesuai ukuran spesimen, meletakkan lembaran serat pertama dalam bingkai, selanjutnya campuran matriks dan katalis dituangkan diatas lembaran serat, lalu diratakan menggunakan *roller* berulir. Untuk membuat komposit dengan jumlah tumpukan serat beberapa lapis, maka proses dilanjutkan dengan menumpuk lembaran serat kedua diatas serat pertama, tuang campuran matriks dan katalis, ratakan dengan *roller* berulir, demikian seterusnya sampai dengan jumlah lapisan sesuai dengan yang diinginkan. Setelah selesai penuangan, cetakan tutup, dan diberi beban agar permukaannya rata. Komposit dibiarkan dalam cetakan selama 24 jam, kemudian cetakan dibuka, serta dilakukan pengamatan terhadap cacat (*void*), bila hasil cetakan baik, dilanjutkan dengan *post curing* pada temperatur 65° selama 2 jam, dengan tujuan agar terjadi *cross-linking*, sehingga bentuknya tetap.

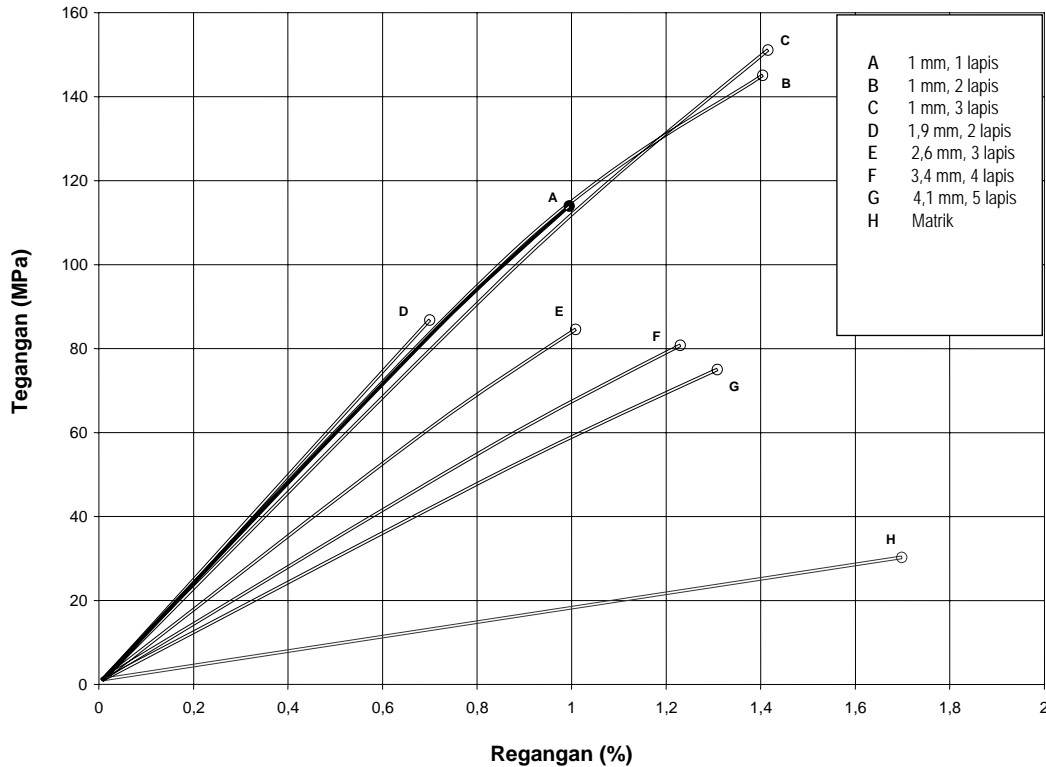
Langkah selanjutnya memotong komposit sesuai dengan dimensi yang mengacu pada standard ASTM D3039 untuk uji tarik. Hasil pengolahan data disajikan dalam bentuk grafik dan tabel, dengan pembahasan dibuat berdasarkan analisis *trend* grafik untuk mengambil kesimpulan. Prosedur dan alur penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Data hasil pengujian tarik komposit untuk berbagai jumlah lapisan serat diplot dalam kurva tegangan-regangan sesuai dengan persamaan (4) dan (5), menggunakan nilai rata-rata dari 5 spesimen yang dibuat untuk masing-masing perlakuan dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Kurva tegangan-regangan dengan variasi lapisan serat

Selanjutnya dilakukan perhitungan fraksi berat serat sesuai dengan persamaan (1), fraksi volume serat sesuai dengan persamaan (2) dan (3), serta modulus elastisitas sesuai dengan persamaan (6), hasilnya disajikan pada Tabel I.

Tabel I. Karakteristik komposit dengan variasi fraksi serat

Tebal komposit (mm)	Jumlah tumpukan serat	Fraksi berat serat (%)	Fraksi volume serat (%)	Kekuatan tarik σ (MPa)	Modulus elastis E (GPa)	Regangan maksimum ϵ (%)
1	1	29,35	12,94	115,20	14,68	0,99
1	2	45,16	26,13	145,33	15,70	1,39
1	3	59,23	38,88	151,20	13,68	1,41
1,9	2	27,96	13,06	86,74	16,38	0,69
2,6	3	28,12	15,23	84,92	10,47	1,01
3,4	4	27,78	15,25	80,47	7,96	1,22
4,1	5	28,24	15,97	77,32	6,80	1,36

Dari kurva tegangan-regangan pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa semakin bertambah jumlah lapisan serat (fraksi berat/volume serat) meningkat untuk tebal komposit 1 mm, maka kekuatan tarik dan regangan meningkat, sementara modulus elastisitasnya relatif konstan seperti yang ditunjukkan oleh garis A, B, dan C pada Gambar 2. Kekuatan tarik maksimum 151,20 MPa, regangan maksimum 1,41 % dan modulus elastisitasnya rata-rata 14 GPa. Peningkatan kekuatan tarik komposit ini

disebabkan adanya peningkatan jumlah serat yang berfungsi sebagai penguat komposit. Adanya peningkatan kekuatan tarik komposit sampai dengan fraksi volume serat 38,88%, menunjukkan bahwa matriks masih mampu membasahi seluruh permukaan serat. Kemampuan resin untuk membasahi seluruh permukaan serat akan menjamin serat berfungsi maksimal. Hasil ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Diharjo, dkk (2005) dan Wijang, dkk (2006) dimana peningkatan fraksi volume serat akan diikuti dengan peningkatan kekuatan tarik. Selanjutnya bila jumlah lembaran serat ditambah menjadi 4 lapis (fraksi volume serat sekitar 52%) untuk tebal komposit 1 mm, maka matriks tidak mampu lagi membasahi seluruh permukaan serat. Dari percobaan ini disimpulkan jumlah lapis maksimum yang dapat ditumpuk adalah 3 lapis serat gelas acak jenis MAT 300.

Bila fraksi berat/volume serat dibuat tetap, tetapi jumlah lapisan serat dan tebal komposit divariasikan seperti garis D, E, F, dan G pada Gambar 2, maka kekuatan tarik komposit hampir konstan sekitar 82 MPa, regangan meningkat, sedangkan modulus elastisitasnya menurun karena garis-garis tersebut cenderung mendekati garis H yaitu matriks murni tanpa serat.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Peningkatan fraksi berat/volume serat akan meningkatkan kekuatan tarik komposit.
2. Jumlah lapis serat maksimum yang dapat ditumpuk untuk tebal komposit 1 mm adalah 3 lapis, dengan jenis serat gelas acak MAT 300.
3. Untuk fraksi berat/volume serat yang tetap tapi jumlah lapisan dan tebal divariasikan menghasilkan kekuatan tarik tetap, namun modulus elastisitasnya menurun.

Daftar Pustaka

- ASTM, 1997, *Annual Book of ASTM Standards*. Section 15. Volume 15.03. Space Simulation; Aerospace and Aircraft; High Modulus Fibers and Composites
- Dihardjo, K., Jamasri, Soekrisno, Rochardjo, H.SB., 2005. *The Flexural and Impact Properties of Random and Woven Kenaf Fiber Reinforced Polyester Composite*. Prosiding SNTTM-IV, Denpasar-Bali, hal. G3.13-16.
- Gibson, R.F., 1994, *Principles of composite Materials Mechanics*. Mc Graw-Hill Series
- Hu Ruihua, Do-won Seo, Renliang, W., and Lim, Jae-kyoo, 2005, *Natural Fiber Reinforced Composites and Their Applications in Automobile Industry*, Proceedings of ICMAT, Jeonju, Korea, pp.255-260.
- Jamasri, Diharjo, K., Handiko, G.W., 2005, *Studi Perlakuan Alkali terhadap Sifat Tarik Komposit Limbah Serat Sawit Poliester*. Prosiding SNTTM-IV, Denpasar-Bali, hal.G3.23-28.
- Kook, Joong-Suk; Adachi, T., 2005, *Mechanical Properties of GFRP Laminates Manufactured by Process Combined with Wet Lay-up and Vacuum Curing*. Proceeding of FEOFS Conference, Denpasar-Bali, hal.847-852.
- Kurniawati, F; Homma, H., 2002, *Debonding Strength of Fiber Glass and Matrix Part I – Static loading*. Proceeding, ETM, Denpasar-Bali, hal 411-416.
- Phillips, L.N., 1989, *Design with Advanced Composite Materials*. Springer-Verlag
- Taurista, A.Y., Riani, A.O., Putra, K.H., 2006, *Komposit Laminat Bambu Serat Woven sebagai Bahan alternatif pengganti Fiber Glass pada Kulit Kapal*. <http://www.kemahasiswaan.its.ac.id/>
- Wijang, W.R., dan Ariawan, D., 2006. *Pengaruh Modifikasi Serat terhadap Karakteristik Komposit UPRs-Cantula*, Jurnal Poros Jurusan Teknik Mesin FT-UNTAR, Juli, vol 9, No.3, hal 200-2006.