

M4-002 Karakterisasi Sifat Mekanis dan Fisis Komposit E-Glass dan Resin Eternal 2504 dengan Variasi Kandungan Serat, Temperatur dan Lama Curing

Viktor Malau

Jurusan Teknik Mesin dan Industri
Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jln. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281, Indonesia
Phone: +62-274-521673, FAX: +62-274-521673, E-mail: malau@ugm.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan bahan komposit semakin banyak dijumpai di lapangan sejalan dengan perkembangan teknologi. Komposit merupakan penggabungan dua bahan atau lebih dengan phase berbeda. Phase pertama berfungsi sebagai pengikat (matrix) sedang phase kedua berfungsi sebagai penguat (reinforcement). Penggabungan ini akan menghasilkan bahan dengan sifat berbeda dengan bahan penyusunnya. Salah satu bahan komposit adalah Polymer Matrix Composites (PMC) dengan matrik berupa polimer dan bahan penguat dapat berupa logam atau keramik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kandungan serat, temperatur dan lama curing terhadap sifat mekanis dan fisis Polymer Matrix Composites (PMC) dengan matrik berupa resin eternal 2504, phase penguat E-glass dan katalis mepoxe konstan 0,3 %. Sifat mekanis dan fisis yang diteliti terdiri dari kekuatan tarik, regangan dan struktur mikro komposit. Pengujian yang dilakukan meliputi uji resin, uji serat gelas dan uji komposit.

Komposit dibuat dengan teknik hand-lay-up dengan variasi 20, 25, 30 % serat dan katalis konstan sebesar 0,3 %. Pemanasan (curing) dilakukan dalam dapur (oven) dengan variasi temperatur 30, 55, 65, 75, 90, 105, 120 °C serta lama pemanasan 1 dan 2 jam. Spesimen uji tarik resin dibuat dengan ukuran sesuai standard ASTM D 638 dan spesimen uji tarik komposit mengikuti standard ASTM D 3039.

Kekuatan tarik resin eternal 2504 bervariasi dari 35,7 sampai 46,6 MPa dengan regangan 4 sampai 4,6 %. Kekuatan tarik serat gelas bervariasi dari 3232 sampai 3597 MPa dengan regangan 2,33 sampai 3,33 %. Secara umum, kekuatan tarik komposit meningkat bila suhu curing naik dari 30 sampai 90 °C, dan kekuatan turun bila suhu curing lebih besar dari 90 °C. Kenaikan kandungan serat dan lama curing meningkatkan kekuatan tarik komposit. Kekuatan tarik tertinggi dari komposit dengan kandungan serat 30 % adalah 192 MPa untuk suhu curing 90 °C dengan lama pemanasan satu jam dan kekuatan tarik ini naik menjadi 196 MPa untuk lama pemanasan dua jam. Warna matrik komposit tidak mengalami perubahan bila pemanasan berlangsung sampai 75 °C dan warnanya berubah menjadi agak kekuning-kuningan apabila suhu pemanasan lebih besar dari 90 °C.

Kata kunci: komposit, serat gelas, resin eternal, temperatur dan lama curing

1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini, manusia selalu berupaya untuk mengembangkan material yang ada dewasa ini sehingga ditemukan material khusus dengan kualitas lebih baik. Dalam bidang teknik khususnya material teknik, penelitian terus dikembangkan dalam upaya untuk menemukan bahan dengan sifat fisis dan mekanis lebih baik. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menemukan bahan dengan sifat lebih baik adalah mengkombinasikan dua bahan atau lebih dengan sifat atau phase berbeda. Bahan semacam ini disebut dengan bahan **komposit**.

Bahan komposit sendiri tersusun dari **matrik** (phase pertama) dan **penguat** atau *reinforcing* (phase kedua). Matrik berfungsi sebagai pengikat sedang penguat berfungsi untuk

memberi penguatan pada komposit tersebut. Banyak konstruksi menggunakan bahan komposit karena (a) komposit dapat dirancang dengan kekakuan dan kekuatan tinggi sehingga bahan ini memberi kekakuan dan kekuatan spesifik tinggi yang dapat melebihi kemampuan bahan baja atau aluminium, (b) komposit memiliki sifat fatik dan *toughness* lebih baik, (c) komposit dapat terhindar dari korosi, (d) komposit memiliki sifat mampu redam vibrasi lebih baik dan (e) komposit dapat memberi penampilan (*appearance*) dan kehalusan permukaan lebih baik [4][5].

Disamping keunggulan di atas, komposit mempunyai kelemahan antara lain: (a) komposit bersifat anisotropik yang memiliki sifat berbeda antara satu lokasi / orientasi dengan lokasi / orientasi lainnya, (b) komposit tidak aman terhadap serangan zat-zat tertentu, (c) komposit relatif mahal dan (d) komposit memerlukan pembuatan relatif lama dan mahal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kandungan serat, temperatur dan lama *curing* terhadap sifat mekanis dan fisis Polymer Matrix Composites (PMC) dengan matrik berupa resin eternal 2504, phase penguat dari E-glass dan katalis *mepoxe* sebesar 0,3 % (konstan). Sifat mekanis dan fisis yang diteliti terdiri dari kekuatan tarik, regangan dan struktur mikro komposit. Pengujian yang dilakukan meliputi uji resin, uji serat gelas dan uji komposit. Komposit dibuat dengan teknik *hand-lay-up* dengan variasi 20, 25, 30 % serat dan katalis konstan sebesar 0,3 %. Pemanasan (*curing*) dilakukan dalam dapur (*oven*) dengan variasi temperatur 30, 55, 65, 75, 90, 105, 120 °C serta lama pemanasan 1 dan 2 jam. Spesimen uji tarik resin dibuat dengan ukuran sesuai standard ASTM D 638 dan spesimen uji tarik komposit mengikuti standard ASTM D 3039.

2. Landasan Teori

Komposit yang diteliti terdiri dari matrik berupa resin eternal 2504 dengan penguat serat gelas E dan katalis jenis *mepoxe* yang selanjutnya diikuti perlakuan panas (*curing*). Matrik resin eternal 2504 merupakan bahan utama dalam penyusunan komposit yang diteliti dan matrik ini berfungsi sebagai pengikat dan pelindung serat dari kerusakan eksternal. Disamping itu, serat berfungsi juga sebagai penerus beban dari serat / penguat yang satu ke serat lainnya. Jika ada serat yang putus dalam arah pembebanan aksial, maka beban dari satu serat yang putus akan diteruskan melalui matrik menuju serat selanjutnya. Dalam hal ini tidak ada reaksi kimia secara signifikan antara matrik dan penguatnya, kecuali untuk menguatkan ikatan pada permukaannya. Reaksi yang terjadi antara matrik dan penguat tidak menimbulkan efek negatif terhadap sifat komposit, tetapi matrik dan penguat ini saling melengkapi sifatnya satu sama lainnya.

Resin eternal 2504 termasuk bahan polimer jenis *thermosetting* poliester yang memiliki: (a) sifat kimia tidak berubah saat proses *curing*, (b) proses *irreversible*, (c) waktu *curing* relatif lama, (d) kekakuan dan kekuatan mekanis tinggi, (e) titik leleh relatif tinggi, (f) daya serap air rendah sehingga dimensi relatif stabil dan (g) permukaan halus dan mengkilap [7].

Serat gelas E merupakan phase penguat pada komposit yang diteliti. Penampang serat gelas ini dapat berbentuk bulat, segitiga atau heksagonal dengan diameter serat bervariasi dari 0,0025 sampai 0,13 mm. Kekuatan tarik serat ini akan meningkat bila diameternya mengecil. Serat yang digunakan dalam komposit dapat kontinu atau tidak kontinu. Bila serat yang digunakan tidak kontinu, maka perbandingan panjang serat (L) dengan diameternya (D) harus

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

memenuhi $L/D \geq 100$, dan menurut ASTM, panjang seratnya minimal 5 mm. Serat gelas E memiliki kekuatan tarik sekitar 3,44 GPa, modulus elastis 72,3 GPa dan bersifat isolator listrik. Komposisi kimia serat gelas E terdiri dari: 54 % SiO_2 , 15 % $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, 17 % CaO , 5 % MgO , 8 % B_2O_3 , serta Na_2O dan K_2O masing-masing kurang dari 1 % [6][8].

Katalis berfungsi sebagai media untuk mempercepat pengerasan dalam pembuatan komposit. Katalis ini merupakan bahan pemicu (*initiator*) untuk mempercepat reaksi *curing* pada temperatur ruang. Prosentase katalis dalam komposit relatif kecil ($\leq 1\%$). Kelebihan katalis akan menimbulkan panas berlebih pada saat *curing* dan hal ini dapat merusak bahan komposit yang dihasilkan.

Curing merupakan proses perlakuan panas atau polimerisasi terhadap komposit untuk merubah resin memiliki daya ikat yang tinggi dengan serat pada saat komposit telah padat. *Curing* sudah dimulai saat pembentukan komposit pada suhu kamar dan hal ini akan menghasilkan komposit dengan kekuatan masih rendah. Proses *curing* sebenarnya terjadi pada pemanasan di atas suhu kamar dan dilaksanakan setelah bahan komposit menjadi padat. Adanya kenaikan suhu *curing* (lebih besar dari suhu kamar) dapat menyebabkan terjadinya peningkatan kecepatan *curing* yang diikuti dengan kenaikan kekuatan ikatan antar bahan pembentuknya. Kondisi ini akan memberi *cross-linking* pada komposit yang diikuti pemadatan matrik/resin, namun disisi lain kekakuan material menurun [2].

Proses *curing* di atas suhu kamar ini dapat dilakukan dengan *oven*, *hot oil*, *lamps method*, *steam method*, *autoclave*, *microwave* atau metode lainnya seperti *electron laser beam*, *radio frequency energy*, *ultrasonics* [8][9].

Kekuatan komposit dengan bahan penguat berupa serat kontinu dan matrik dari resin akan tergantung pada: (a) bahan serat dan diameter serat, (b) bahan resin, (c) daya ikat antara resin dan serat dan sudut orientasi serat di dalam matrik. Bila beban yang bekerja pada komposit sejajar dengan arah serat, maka sudut orientasi serat adalah 0° dan bila beban yang bekerja pada komposit tegak lurus dengan arah serat maka sudut orientasi serat adalah 90° . Kekuatan komposit akan semakin rendah bila sudut orientasi serat semakin besar (menuju 90°) [3].

Kerusakan yang timbul pada komposit dapat berupa: (a) kerusakan serat, serat melengkung (*buckling / kinking*), *fiber splitting*, *fiber fullout*, ikatan serat/matrik *debonding*, matrik retak dan retak radial (*radial crack*) [1][4].

Kekuatan tarik dari spesimen uji (matrik, serat dan komposit) dapat dicari dengan rumus:

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Dengan σ_t = kekuatan tarik ($\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$)

F = beban maksimum (N)

A = luas penampang awal spesimen uji (mm^2)

Regangan spesimen dihitung dengan rumus:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} = \frac{L_f - L_o}{L_f} \quad (2)$$

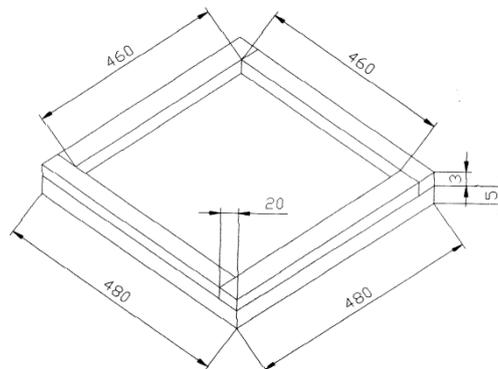
dengan ε = regangan (%)

ΔL = pertambahan panjang spesimen (mm)

L_o = panjang awal seksi uji (mm)
 L_f = panjang akhir seksi uji (mm).

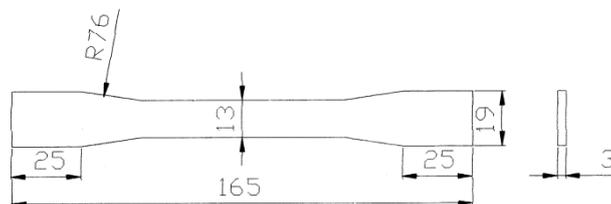
3. Pelaksanaan Penelitian

Bahan komposit dibuat dengan metode *hand-lay-up* dengan cetakan dari bahan kaca yang mempunyai bentuk dan ukuran seperti tertera pada Gambar 1. Bahan penyusun komposit terdiri dari resin eternal 2504, serat gelas E, katalis mepoxe (*methyl ethyl ketone peroxide*), *release agent*, *acetone*. Resin eternal 2504 berwarna merah muda sedang serat gelas E adalah jenis anyaman (*woving yard*). *Release agent* digunakan saat proses pencetakan komposit yang berfungsi sebagai bahan adesif agar komposit tidak lengket pada cetakan. Dalam hal ini digunakan *release agent* dari bahan minyak/oli. *Acetone* digunakan untuk membersihkan alat-alat cetak dari resin yang belum mengalami proses pengeringan. *Acetone* ini memiliki sifat mengencerkan resin.

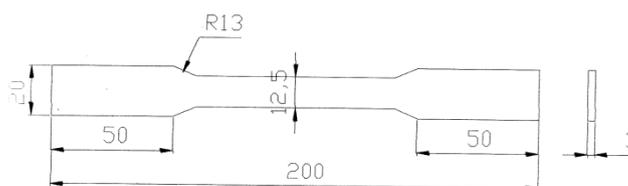


Gambar 1. Dimensi cetakan benda uji

Pemotongan spesimen sesuai bentuk yang diinginkan dilakukan setelah bahan resin dan komposit mengeras / kering dalam cetakan. Setelah spesimen dipotong dan dibentuk sesuai ukuran, maka spesimen diberi perlakuan panas *curing* dalam dapur (*oven*). Suhu ruang dalam dapur pemanas dapat dibuat bervariasi sesuai kebutuhan. Pengujian yang dilakukan meliputi uji tarik matrik / resin, uji tarik komposit sesuai standard yang ada dan uji tarik serat. Gambar 2 dan 3 menunjukkan bentuk dan ukuran spesimen uji tarik untuk bahan resin dan komposit sesuai standard ASTM D 638 (untuk matrik) dan ASTM D 3039 (untuk komposit).



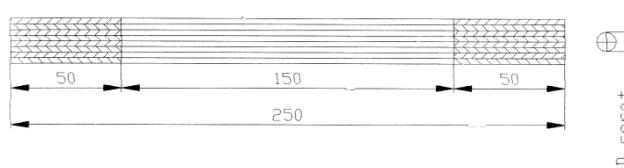
Gambar 2. Spesimen uji tarik resin [ASTM D 638]



Gambar 3. Spesimen uji tarik komposit [ASTM D 3039]

Standard uji serat belum ada yang baku sampai saat ini. Urutan pembuatan spesimen uji tarik serat dapat diuraikan dengan urutan sbb:

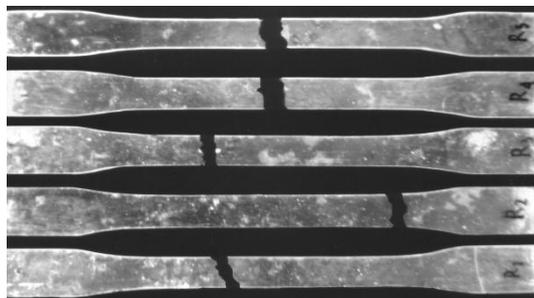
- a. Ambil tiga helai baris serat dari anyaman serat,
- b. Potong ketiga helai anyaman tersebut dengan ukuran sesuai kebutuhan,
- c. Ujung-ujung ketiga helai serat tersebut dicelupkan ke dalam campuran resin dan katalis dan ditunggu sampai kering dan
- d. Setelah kering, benda uji tarik serat siap diuji.
- e. Luas penampang spesimen uji tarik serat dicari berdasarkan jumlah dan diameter rata-rata serat yang digunakan sebagai spesimen tarik. Diameter rata-rata serat dapat diketahui dengan bantuan photo struktur mikro serat.



Gambar 4. Spesimen uji tarik serat gelas E

4. Hasil dan Pembahasan

Gambar 5 menunjukkan patahan spesimen uji tarik resin 2504. Hasil pengujian tarik resin eternal 2504 ditunjukkan pada Tabel 1. Kekuatan tarik resin eternal 2504 bervariasi dari 35,69 sampai 46,59 MPa (kekuatan tarik rata-rata 41,5 MPa) dengan regangan 4 sampai 4,6 %. Tabel 2 memperlihatkan hasil pengujian tarik serat gelas E. Kekuatan tarik serat gelas E bervariasi dari 3232 sampai 3597 MPa dengan regangan bervariasi dari 2,33 sampai 3,33 %.

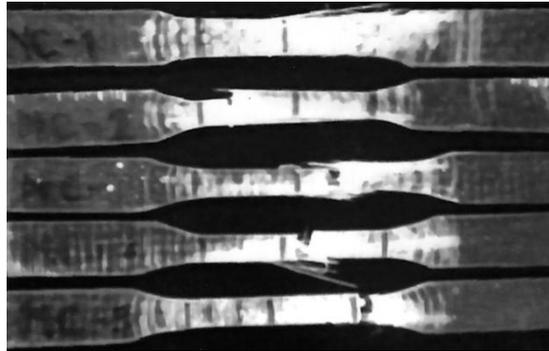


Gambar 5. Bentuk patahan uji tarik resin 2504

Tabel 1. Data dan hasil pengujian tarik resin eternal 2504

No.	lebar (mm)	tebal (mm)	Beban (N)	Kekuatan tarik (MPa)
1	12,935	2,695	1531,341	43,93
2	12,830	2,985	1588,239	41,47

3	12,975	3,020	1825,641	46,59
4	12,970	3,160	1462,671	35,69
5	12,945	2,985	1584,315	41,00

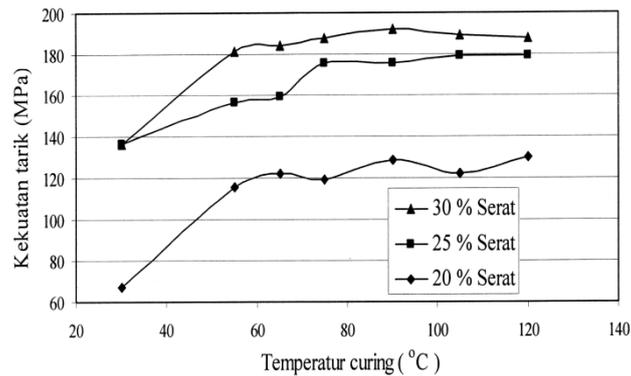


Gambar 6. Bentuk patahan spesimen uji tarik komposit

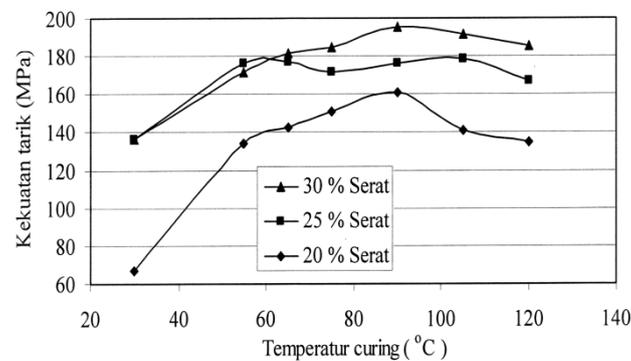
Tabel 2. Data dan hasil pengujian tarik serat gelas E

No.	luas (mm ²)	Beban (N)	Kekuatan tarik (MPa)
1	0,2929	970,209	3312,42
2	0,2929	1053,594	3597,11
3	0,2929	946,665	3232,04
4	0,2929	1012,392	3456,44
5	0,2929	1003,563	3426,30

Gambar 6 memperlihatkan patahan spesimen uji tarik komposit yang belum mendapat proses *curing* / pemanasan. Sementara Gambar 7 dan 8 masing-masing menunjukkan distribusi kekuatan tarik komposit untuk lama *curing* 1 dan 2 jam. Secara umum Gambar 7 dan 8 memperlihatkan bahwa kenaikan kandungan serat dan temperatur *curing* akan meningkatkan kekuatan tarik komposit.



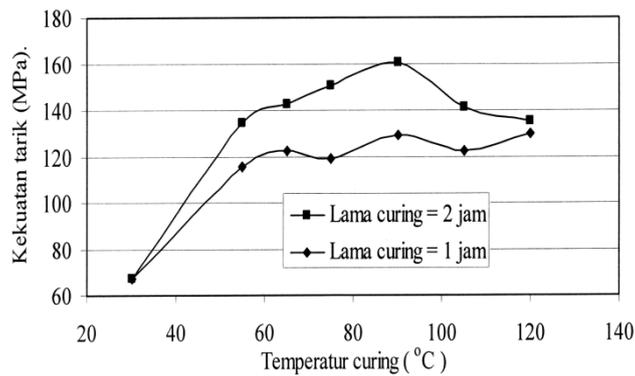
Gambar 7. Pengaruh temperatur *curing* dan kandungan serat terhadap kekuatan tarik komposit untuk lama *curing* 1 jam.



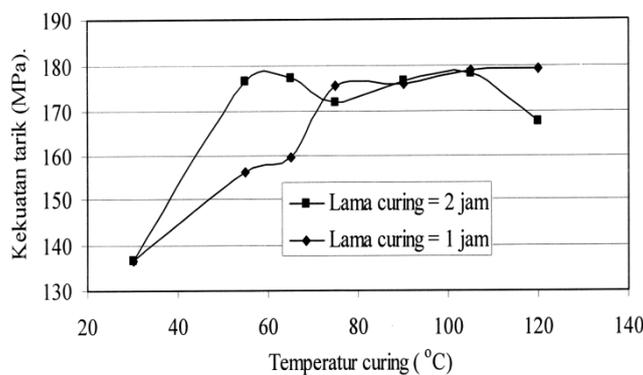
Gambar 8. Pengaruh temperatur *curing* dan kandungan serat terhadap kekuatan tarik komposit untuk lama *curing* 2 jam

Kekuatan tarik komposit meningkat bila temperatur *curing* naik dari suhu kamar sampai temperatur *curing* 90 °C. Peningkatan kekuatan tarik ini disebabkan oleh peningkatan kekuatan (terjadi *cross-link*) dari resin 2504 sebagai matrik sejalan dengan naiknya suhu *curing*. Matrik ini memiliki kekuatan yang semakin besar bila suhu naik sampai 90 °C, tetapi kekuatan komposit cenderung turun bila suhu *curing* melebihi 90 °C. Penurunan kekuatan ini disebabkan oleh resin/matrik mengalami proses depolimerisasi pada suhu tinggi.

Kenaikan waktu *curing* juga turut berperan terhadap kekuatan komposit. Waktu *curing* selama 2 (dua) jam memberikan kekuatan lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan dengan waktu *curing* 1 (satu) jam seperti diperlihatkan pada Gambar 9,10 dan 11. Hal ini disebabkan oleh ikatan yang semakin kuat / padat antara matrik dan serat yang diikuti transfer tegangan dari serat menuju matrik.

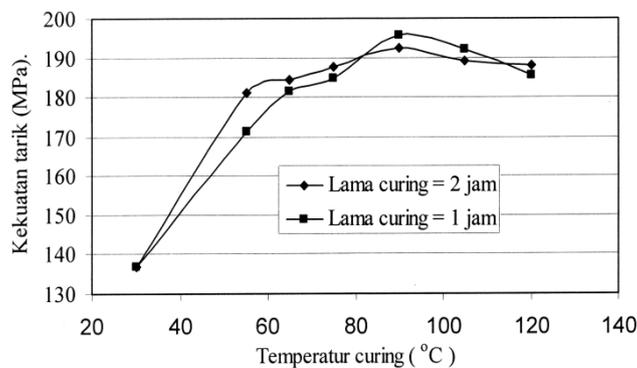


Gambar 9. Pengaruh temperatur dan lama *curing* terhadap kekuatan tarik komposit untuk kandungan serat 20 %

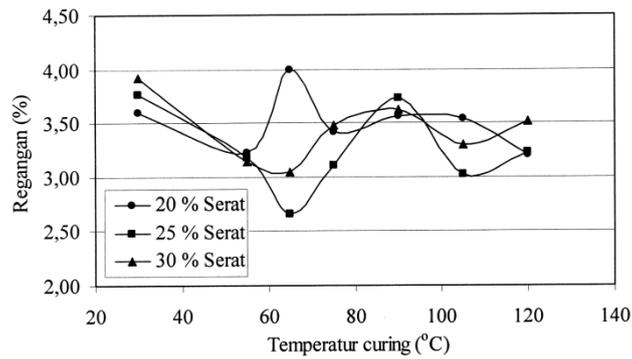


Gambar 10. Pengaruh temperatur dan lama *curing* terhadap kekuatan tarik komposit untuk kandungan serat 25 %.

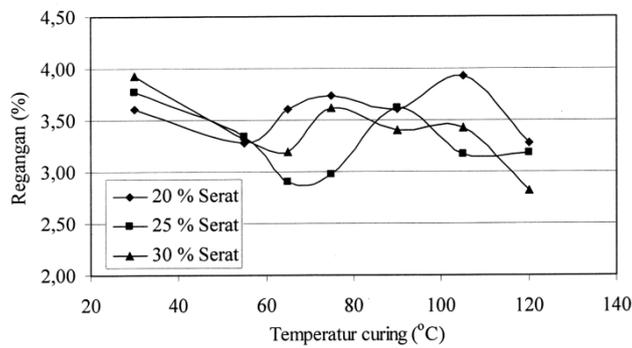
Gambar 12 sampai dengan Gambar 16 menunjukkan kurva hubungan antara regangan dengan temperatur *curing*, kandungan serat dan lama proses *curing*. Gambar-gambar tersebut menginformasikan bahwa kenaikan suhu *curing*, kenaikan kandungan serat maupun kenaikan lama proses *curing* tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap regangan komposit. Dengan kata lain dapat dikatakan bahwa sifat komposit yang dihasilkan tidak dapat atau sulit diinterpretasi lewat regangan yang dihasilkan.



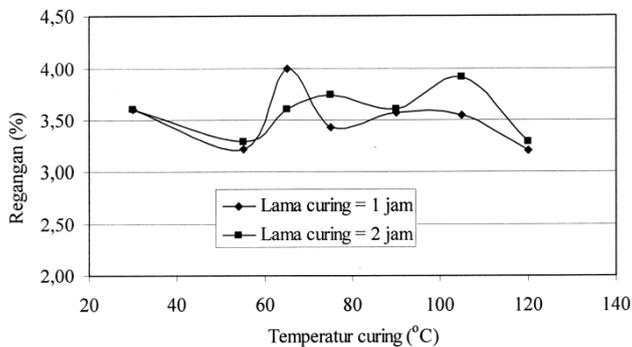
Gambar 11. Pengaruh temperatur dan lama *curing* terhadap kekuatan tarik komposit untuk kandungan serat 30 %



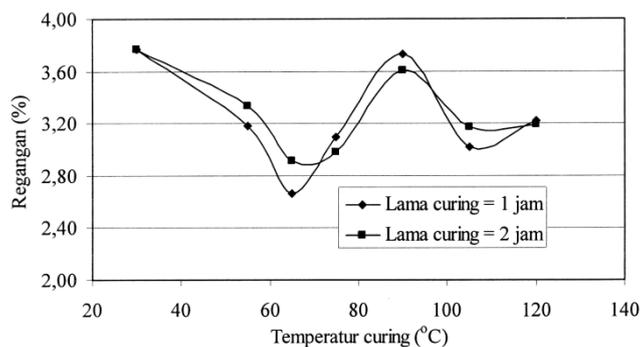
Gambar 12. Pengaruh temperatur *curing* dan kandungan serat terhadap regangan komposit untuk lama *curing* 1 jam



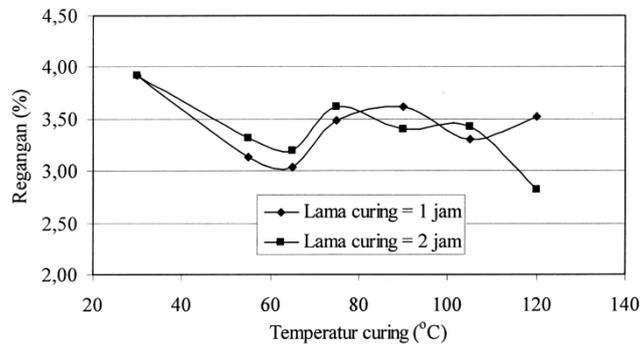
Gambar 13. Pengaruh temperatur *curing* dan kandungan serat terhadap regangan komposit untuk lama *curing* 1 jam



Gambar 14. Pengaruh temperatur dan lama *curing* terhadap kekuatan tarik komposit untuk kandungan serat 20 %

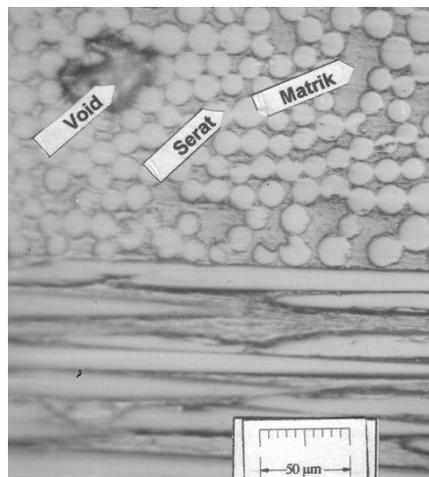


Gambar 15. Pengaruh temperatur dan lama *curing* terha-dap kekuatan tarik komposit untuk kandungan serat 25 %



Gambar 16. Pengaruh temperatur dan lama *curing* terha-dap kekuatan tarik komposit untuk kandungan serat 30 %

Hasil pengamatan struktur mikro komposit menunjukkan adanya cacat rongga udara (*void*), retak matrik, *debonding* ataupun delaminasi. Kerusakan internal mikroskopis ini terjadi karena adanya udara yang terjebak selama proses pembuatan komposit dalam cetakan. Kerusakan berupa retak mikro dari matrik terjadi akibat adanya perbedaan tegangan tarik antara satu lokasi dengan lokasi lainnya atau antara satu lapisan dengan lapisan lainnya. *Debonding* terjadi akibat adanya tegangan geser antar lamina (susunan serat dalam posisi miring atau susunan serat tidak pada sudut orientasi 0° atau 90°). Komposit dengan sudut orientasi serat 0° memiliki penampang patah getas.



Gambar 17. Penampang struktur mikro komposit

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

- Sifat mekanis dari komponen penyusun komposit. Kekuatan tarik matrik/resin eternal 2504 berkisar dari 36 sampai 47 MPa dengan regangan 4 sampai 4,6 %. Kekuatan tarik

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

serat gelas E bervariasi dari 3230 sampai 3590 MPa dengan regangan bervariasi dari 2,33 sampai 3,33 %.

- b. Sifat mekanis komposit. Kekuatan tarik komposit naik bila kandungan serat naik dan suhu *curing* naik sampai 90°C. Kekuatan komposit akan turun jika suhu *curing* lebih besar dari 90 °C. Lama proses *curing* juga ikut meningkatkan kekuatan tarik komposit. Kekuatan tarik tertinggi komposit adalah 196 MPa untuk kandungan serat 30 % dan suhu *curing* 90 °C.
- c. Struktur mikro komposit: Pembuatan komposit dengan *hand-lay-up* ini menghasilkan cacat berupa rongga udara (*void*) dan retak pada matrik yang dapat menurunkan kekuatan tarik komposit.

Daftar Pustaka

- [1] Aboudi, J., *Mechanics of Composites Materials: A Unified Micromechanical Approach*, Elsevier, Amsterdam, 1991.
- [2] Budinski, K. G., *Engineering Materials, Properties and Selection*, Fifth Edition, Prentice Hall International, Inc., 1992.
- [3] Christensen, R. M., *Mechanics of Composites Materials*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1999.
- [4] Herakovitch, C. T., *Mechanics of Composites*, John Wiley & Sons, Inc., USA, 1998.
- [5] Jones, R. M., *Mechanics of Composites Materials*, International Student Edition, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., 1975.
- [6] Malau, V., *Diktat Kuliah Bahan Teknik*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2006.
- [7] Mallick, P. K., *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing and Design*, Marcel Dekker, Inc., New York, 1998.
- [8] Mitchell, B. S., *An Introduction to Materials Engineering and Science for Chemical and Materials Engineers*, Wiley Interscience, Canada, 2004.
- [9] Spencer, A. J. M., *Deformation of Fiber-Reinforced Materials*, Clarendon Press, New York, 2002.