

PEMBUATAN KOMPOSIT POLIMER BERPENGUAT SERAT SINTETIK UNTUK BAHAN GENTENG

Nuning Aisah¹, Hanedi Darmasetiawan¹, Sudirman² dan Aloma Karo Karo²

¹Jurusan Fisika FMIPA - IPB

Jl. Raya Pajajaran, Bogor

²Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) - BATAN

Kawasan Puspipetek, Serpong, Tangerang 15314

ABSTRAK

PEMBUATAN KOMPOSIT POLIMER BERPENGUAT SERAT SINTETIK UNTUK BAHAN GENTENG. Penelitian ini bertujuan untuk membuat dan mengkarakterisasi komposit dengan matriks polimer termoset yang diperkuat serat sintetik, yang pada akhirnya akan diupayakan suatu analisis kemungkinan bahan komposit tersebut dapat dijadikan bahan pembuatan genteng alternatif. Karakterisasi yang dilakukan meliputi uji mekanik-tarik, uji kekerasan, uji termal, dan pengamatan strukturmikro. Hasil penelitian menunjukkan kenaikan nilai kekuatan tarik di setiap penambahan lapisan serat pada matriks polimer bahan komposit. Nilai kekuatan tarik tertinggi 165,62 MPa dan 107,47 MPa, dicapai oleh masing-masing matriks poliester dan matriks epoksi dengan tiga lapisan serat. Matriks epoksi mempunyai nilai kekerasan yang lebih baik dibanding matriks poliester. Pengamatan strukturmikro dengan menggunakan mikroskop optik, memperlihatkan terjadinya distribusi serat yang cukup merata dalam matriks, sehingga ikat-silang yang terbentuk cukup banyak. Hal ini menyebabkan kuatnya ikatan bidang antarmuka yang berdampak pada nilai kekuatan tariknya. Sedangkan dari uji termal yang terlihat pada termogram DTA diperoleh informasi bahwa semakin banyak jumlah lapisan serat pada matriks polimer, menghasilkan puncak endotermik yang semakin tajam.

Kata kunci : Lapisan serat, kuat tarik, kekerasan, ikatan antarmuka

ABSTRACT

SYNTHESIS OF POLYMERIC COMPOSITES REINFORCED SYNTHETIC FIBER FOR ROOFING MATERIAL. The purpose of this research is to synthesis and characterisation a composite with polymer thermoset matrix which is reinforced by synthetic fiber where it will be analyzed for possibility the composite will be an alternative material for roof. Characterisation is including tensile test, hardness, thermal and microstructure. The result shows that addition of fiberglass layer can increase the value of tensile strength. The highest value of tensile strength is 165,62 MPa and 107,47 MPa that is reached of polyester and epoxy matrix with three fiberglass layers. The value of hardness with shore A for epoxy matrix is more better than polyester matrix. Microstructure using a microscope optic shows the smooth distribution fiber in matrix that indicate of crosslinks between matrix-reinforced. It causes strong interface bonding and increase the value of tensile strength. Whole termogram of DTA that representation of thermal analysis give an information that the amount of fiberglass layers in polimer matrix will give sharper of endothermic peak.

Key words : Fiber layer, tensile strength, hardness, interface bonding

PENDAHULUAN

Perkembangan industri bahan bangunan membutuhkan penyediaan bahan bangunan alternatif yang lebih unggul dari pada bahan bangunan konvensional, antara lain genteng. Genteng sebagai atap berfungsi melindungi bangunan dari berbagai faktor luar seperti angin, cahaya matahari, hujan, dan badai. Pada masa sekarang dibutuhkan genteng alternatif yang lebih kuat, lebih tahan cuaca dan suhu, lebih ringan, lebih tahan lama serta relatif lebih murah [1].

Komposit merupakan material yang mempunyai dua atau lebih fasa. Fasa matriks dapat berupa keramik, logam atau polimer, sedangkan fasa penguat dapat

berupa laminar, partikel atau serat [2]. Matriks dalam komposit memiliki fungsi sebagai pengikat serat dan distributor tekanan serta melindungi serat dari cacat permukaan akibat reaksi kimia dengan lingkungan [3].

Bahan komposit sangat efisien untuk penggunaan pada struktur yang memerlukan kombinasi antara kekuatan dan kekakuan yang tinggi serta bobot yang ringan. Dibandingkan bahan lain, komposit unggul pada sifat-sifat mekaniknya. Pemilihan polimer termoset berupa poliester dan epoksi sebagai matriks didasarkan pada sifat mekanik-fisik keduanya cukup baik. Sementara itu panjang, bentuk, orientasi dan jenis serat sebagai

penguat mempengaruhi terhadap sifat mekanik komposit [3]. Polimer yang diperkuat serat memiliki sifat-sifat antara lain tahan terhadap korosi, kekuatan tinggi, ringan serta relatif stabil [4]. Arah serat menentukan kekuatan serat serta mempengaruhi jumlah serat yang dapat diisikan ke dalam matriks [1], sedangkan bentuk dan panjang (geometri) serat menghasilkan interaksi matriks-serat yang efisien [5]. *Fiber reinforced plastic (FRP)* dapat diaplikasikan pada berbagai bidang, seperti konstruksi, otomotif, penerbangan, transportasi, dan alat-alat listrik [1].

METODE PERCOBAAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah polimer termoset berupa poliester merk Yukalac tipe 2252 BW-EX dan epoksi merk Eposir tipe 7120, katalis berupa Metil Etil Keton Peroksida (MEKPO) dan Versamid 140 serta sintetik berupa serat gelas dalam dua tipe, yaitu *woven roving (A)* dan *choppend strand mat (B)*.

Alat-alat utama yang digunakan terdiri dari timbangan digital, alat pembuat *dumb-bell* sesuai standar ASTM, cetakan ukuran (30x30)cm, cetakan berbentuk *dumb-bell* ukuran (20x20) cm, cetakan ukuran (15x15) cm, plastik mika tahan panas, mesin pengepres panas, dan dingin, mesin uji tarik, *Hardness Tester Shore A*, *Differential Thermal Analysis (DTA)* serta *Microscope Optic (MO)*.

Cara Kerja

Percobaan Awal

Percobaan awal dilakukan untuk mendapatkan komposisi optimal antara polimer dengan katalis. Poliester diuji dengan MEKPO menghasilkan perbandingan 100:1 (dalam gram), sedangkan komposisi optimal epoksi dengan versamid adalah 1:1 (dalam gram).

Pencetakan

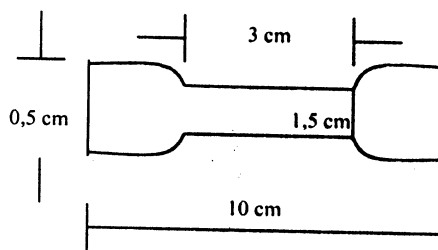
Konstruksi komposit yang dibuat adalah polimer-serat-polimer. Pencampuran serat ke dalam matriks polimer didasarkan pada urutan jumlah lapisan serat, yaitu 1 lapis, 2 lapis, dan 3 lapis (catatan: berat serat sama). Variasi komposit yang dibuat adalah poliester-gelas A, epoksi-gelas A, poliester-gelas B, dan epoksi-gelas B.

Setelah dicampur dalam cetakan, sampel dimasukkan ke mesin pengepres panas dengan suhu 70 °C pada tekanan 150 kg/cm² masing-masing selama 10 menit untuk poliester dan 30 menit untuk epoksi. Selanjutnya sampel dimasukkan ke mesin pengepres dingin dengan tekanan 5 kg/cm² selama 3 menit.

Karakterisasi

Sampel yang sudah berbentuk *dumb-bell* seperti Gambar 1 diukur ketebalannya untuk diuji tarik pada mesin uji tarik dengan kondisi alat sebagai berikut:

- *crosshead speed* = 50 mm/menit
- metode *down test*
- *chart speed* = 20 mm/menit
- *load selector* = 100 dan 200 kg



Gambar 1. Ukuran *dumb-bell* ASTM D-3039 Vol-36 tahun 1982 [6]

Pengukuran kekerasan dilakukan dengan metode *shore A*, dimana sampel ditekan oleh beban 1 kg pada 3 titik yang berbeda dengan ketebalan 1,5 cm.

Karakterisasi selanjutnya adalah penentuan suhu transisi, derajat menggunakan DTA dengan kondisi laju pemanasan 20 °C/menit, bahan acuan berupa alumina serta lingkungan (*atmosphere*) berupa gas argon. Terakhir, sampel diamati strukturnya melalui mikroskop optik dengan berbagai perbesaran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Uji Tarik

Kekuatan Tarik

Kuat tarik dapat dirumuskan sebagai perbandingan beban maksimum terhadap luas penampang awal sampel sebagai berikut [6]:

$$TS = \frac{P}{(b \times d)} = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (1)$$

keterangan:

TS = kuat tarik (N/mm²)

P = beban maksimum (N)

b = lebar sampel (mm)

d = tebal sampel (mm)

A = luas penampang awal sampel (mm²)

Data nilai kekuatan tarik sampel hasil pengukuran terdapat di Tabel 1.

Tabel 1 memperlihatkan bahwa semakin banyak jumlah lapisan serat gelas yang ditambahkan pada matriks baik poliester maupun epoksi, nilai kekuatan tarik bertambah besar. Pada Gambar 2a dapat diamati bahwa matriks poliester yang diperkuat serat gelas jenis A lebih tinggi nilai kuat tariknya dibanding jika penguatnya berupa serat gelas jenis B.

Begitupula dengan matriks epoksi seperti pada Gambar 2b.

Faktor penting yang mempengaruhi kekuatan komposit adalah orientasi serat dan keadaan bidang antarmuka. Orientasi serat berdampak langsung pada distribusi tegangan antara matriks dan serat. Kontribusi serat terhadap sifat-sifat komposit akan maksimum jika arah pembebanan searah dengan arah serat [7].

Tabel 1. Nilai kuat tarik sampel komposit

Tensile strength (MPa)			
Matriks Poliester		Matriks Epoksi	
P	56,71	E	37,26
PA ₁	86,73	EA ₁	52,27
PA ₂	154,84	EA ₂	63,95
PA ₃	165,62	EA ₃	107,47
PB ₁	37,90	EB ₁	55,43
PB ₂	58,97	EB ₂	68,99
PB ₃	70,68	EB ₃	81,93

keterangan :

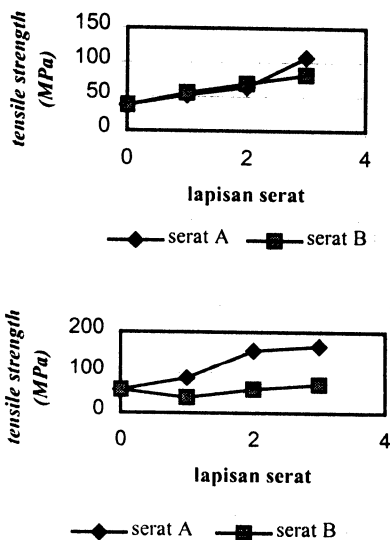
P = matriks poliester

E = matriks epoksi

A = serat gelas tipe A (*woven roving*)

B = serat gelas tipe B (*choppend strand mat*)

1,2,3 = jumlah lapisan serat



Gambar 2. Nilai kuat tarik sampel komposit: (a) matriks epoksi (b) matriks poliester

Hasil yang diperoleh membuktikan bahwa bentuk serat *woven roving* (anyaman tegak lurus) dengan serat panjang lebih mudah diarahkan pada saat uji tarik dibanding bentuk *choppend strand mat* (potongan serat pendek yang digabung menjadi

mat dan susunannya acak). Kenaikan nilai kekuatan tarik yang berbanding lurus dengan jumlah lapisan serat menunjukkan bahwa semakin tinggi fraksi volume serat, maka kekuatan tariknya semakin tinggi sebab semakin banyak komponen penguat yang memiliki kekuatan yang lebih besar dari matriksnya untuk menahan beban. Tetapi, peningkatan fraksi volume serat memiliki batas maksimum karena mempertimbangkan tingkat pembasahan matriks (kemampuan matriks mengikat serat), tatanan serat, dan metode pembuatan komposit [8].

Dalam komposit, beban yang bekerja pada matriks dipindahkan dan didistribusikan ke penguat melalui bidang antarmuka (*interface*). Bidang antar muka yang lemah menghasilkan komposit dengan kekakuan dan kekuatan rendah meskipun ketahanan terhadap patahan cukup baik. Sedangkan bidang antarmuka yang kuat menghasilkan kekuatan dan kekakuan yang tinggi dengan resiko seringkali ketahanan patahannya rendah, misalnya mudah rapuh atau getas [2]. Kekuatan perekatan matriks untuk mengikat serat juga sangat mempengaruhi kekuatan komposit. Jika ikatan matriks dan serat sempurna, maka kekuatan komposit ditentukan oleh kekuatan seratnya. Adanya adhesi yang kuat antara matriks dan serat membuat bidang antarmuka menjadi kuat [5].

Kekuatan Luluh dan Perpanjangan Patah

Polimer termoset umumnya memiliki nilai perpanjangan patah kurang dari 5 %. Berdasarkan rumus [9],

$$E_b = \frac{h}{c \times D} \times c_p \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

keterangan :

E_b = perpanjangan patah (%)

h = *cross head speed* (mm/menit)

c = *chart speed* (mm/menit)

D = jarak antar penjepit (cm)

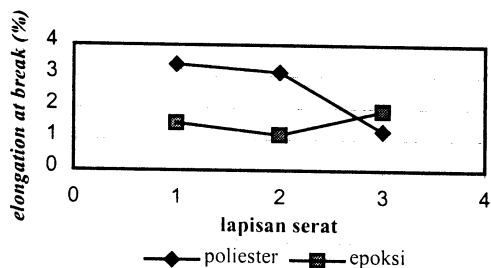
c_p = panjang *chart paper* (cm)

dapat dicari nilai c_p yang merupakan jarak nilai beban *yield strength* (kuat luluh) dengan *tensile strength* (kuat tarik) yang akan terlihat pada kertas grafik hasil uji tarik.

Tabel 2. Nilai perpanjangan patah sampel komposit

Elongation at break (%)			
Matriks Poliester		Matriks Epoksi	
PA ₁	3,38	EA ₁	1,52
PA ₂	3,13	EA ₂	1,15
PA ₃	1,27	EA ₃	1,91

Pada matriks poliester dan epoksi yang diperkuat serat gelas jenis B (*choppend strand mat*) nilai perpanjangan patah tidak teramati. Hal ini disebabkan nilai perpanjangan patahnya sangat rendah, sehingga titik luluh (*yield point*) yang akan memberikan nilai luluh juga tidak jelas. Dengan perkataan lain sampel komposit ini tidak mengalami perpanjangan patah atau putus tetapi langsung putus saat pembebanan dikarenakan ikatan bidang antarmuka bahan lemah dan ada pengaruh dari sifat getas polimer termoset [9].



Gambar 3. Nilai perpanjangan patah sampel

Analisis Kekerasan

Tabel 3 dan Gambar 4 menunjukkan nilai kekerasan bahan komposit. Ketika serat direkatkan pada matriks poliester, terjadi penurunan nilai kekerasan. Hal ini disebabkan serat A dan serat B terbasahi sempurna oleh matriks, sehingga komposit menjadi lebih lunak dan akan menurunkan nilai kekerasan bahan.

Tabel 3. Nilai kekerasan sampel komposit

Kekerasan (<i>shore A</i>)			
Matriks Poliester		Matriks Epoksi	
P	94,7	E	97
PA ₁	91	EA ₁	97
PA ₂	91	EA ₂	97
PA ₃	92	EA ₃	97
PB ₁	92	EB ₁	92
PB ₂	87	EB ₂	97
PB ₃	87	EB ₃	97

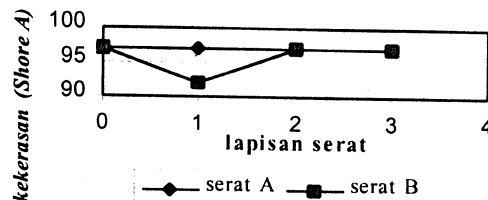
Sedangkan pada matriks epoksi, penambahan serat tidak cukup berpengaruh pada nilai kekerasan bahan. Keadaan ini dianalisis sebagai kekerasan pada skala *Shore A* yang lebih akurat jika digunakan untuk polimer alam seperti karet.

Pengukuran kekerasan dengan metode (ASTM) *shore A* menggunakan *indenter* berupa *truncated cone* yang digerakkan oleh pegas terkalibrasi. Nilai *Shore A* menunjukkan jarak penetrasi *indenter* pada sampel maupun sebagai ukuran tekanan pegas. Dengan menggunakan persamaan Hertz, Landel menunjukkan

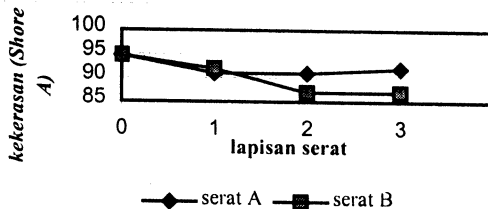
bahwa pembacaan nilai *shore A* berhubungan langsung dengan *modulus Young* [10];

$$E = \frac{2600SH}{(100 - SH)^{1,5}} \dots \dots \dots (3)$$

keterangan simbol E adalah *modulus Young (psi)* dan SH adalah nilai kekerasan *shore*. Dari persamaan di atas, disimpulkan bahwa *modulus Young* bergantung pada nilai kekerasan *shore*.



(a)



(b)

Gambar 4. Nilai kekerasan sampel komposit:
 (a) matriks epoksi (b) matriks poliester

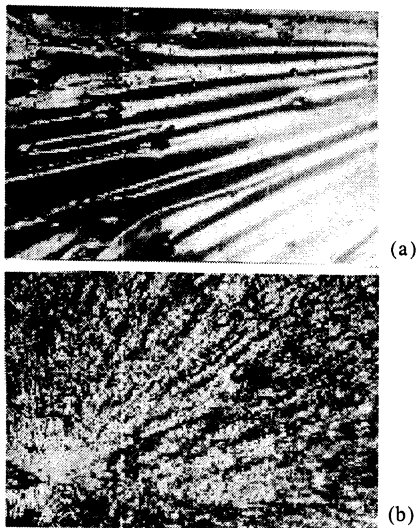
Modulus Young (modulus elastisitas) dipengaruhi oleh tegangan dan regangan balik. Pada polimer termoset yang bersifat getas (plastis), regangan balik tidak teramati dengan baik. Jadi, kenaikan nilai kuat tarik yang merupakan tegangan bahan, memberikan nilai modulus elastisitas yang tinggi pula. Meskipun demikian, kebergantungan *modulus Young* pada nilai kekerasan *shore*, tidak memberikan hubungan yang berbanding lurus. Artinya, kenaikan nilai kuat tarik dan modulus elastisitas belum tentu diikuti dengan kenaikan nilai kekerasan bahan.

Analisis Strukturmikro

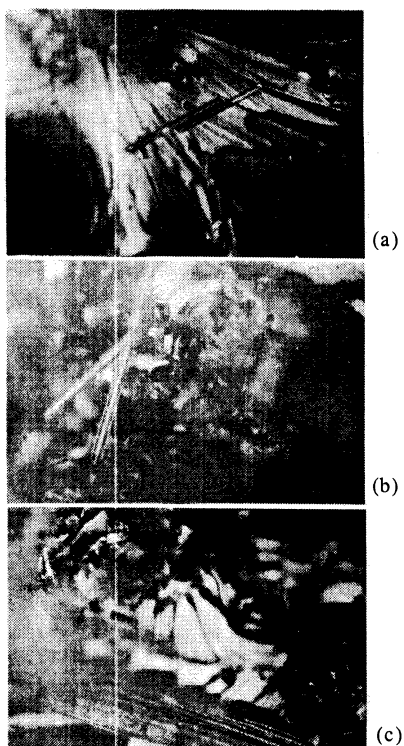
Pada struktur komposit, kerusakan mikroskopik dapat terjadi dalam beberapa bentuk berikut [7] :

1. patah serat (*fiber breaking*)
2. retak mikro pada matriks (*microcracks*)
3. lepasnya serat dari matriks (*debonding*)
4. terpisahnya lamina (*delamination*)

Pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 9 terlihat bahwa serat terdistribusi merata pada matriks bahkan serat gelas jenis B ketika direkatkan pada matriks polimer memberi kesan 'hilang' secara kasat mata. Ikatan bidang antarmuka yang kuat antara matriks dan serat memperlihatkan nilai kekuatan tarik yang meningkat seiring dengan penambahan jumlah lapisan serat.



Gambar 5. Strukturmikro matriks :
(a) epoksi (b) poliester



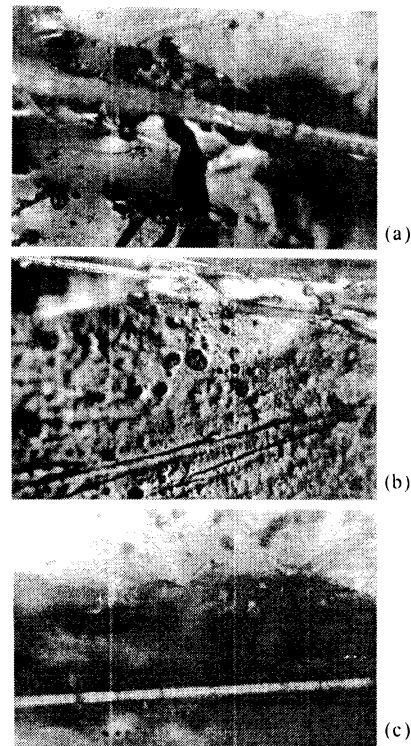
Gambar 6. Strukturmikro komposit bermatriks epoksi berpenguat serat gelas jenis A:
(a) 1 lapis (b) 2 lapis (c) 3 lapis

Dapat dikatakan bahwa ikat silang matriks terbentuk dengan baik pada sampel komposit. Semakin sedikit jumlah lapisan serat, nilai *tensile strength* dan *elongation at break* berkurang, ini diduga akibat dari *crosslink* matriks yang terjadi pada sampel sedikit.

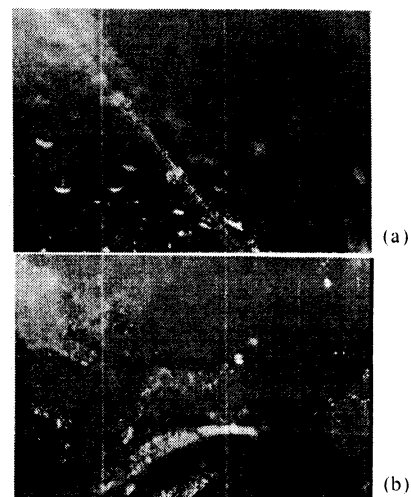
Hal lain yang mempengaruhi ikatan antarmuka adalah tegangan permukaan matriks dan serat. Penambahan katalis pada polimer membuat reaksi berlangsung cepat sehingga resin polimer cepat

mengental dan tegangan permukaan menjadi tinggi mengakibatkan *adhesi* (perekatan) dan *adsorpsi* (peresapan) antara matriks dan serat kurang kuat.

Secara umum hasil strukturmikro menunjukkan terjadinya ikat-silang yang cukup banyak sehingga ikatan bidang antarmuka menjadi kuat. Ketika dikenai beban, matriks mampu memindahkannya ke serat dan serat mampu menahan tegangan dengan baik. Terjadinya serat yang terlepas dari matriks (*debonding*) dan serat yang patah (*fiber breaking*) mempengaruhi penurunan nilai kekerasan meskipun keadaan ini tidak berpengaruh besar pada nilai kuat tariknya.

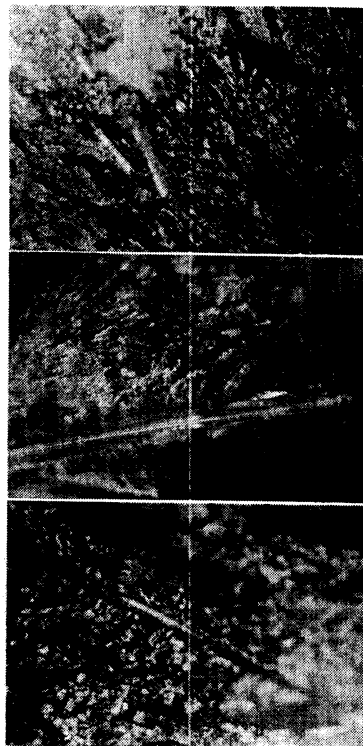


Gambar 7. Strukturmikro komposit bermatriks epoksi berpenguat serat gelas jenis B:
(a) 1 lapis (b) 2 lapis (c) 3 lapis





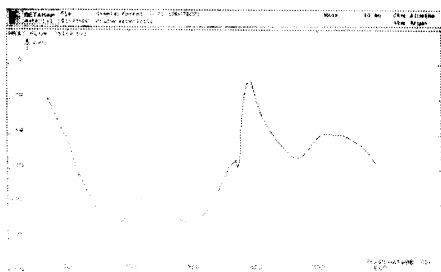
Gambar 8. Strukturmikro komposit bermatriks poliester berpenguat serat gelas jenis A:
 (a) 1 lapis (b) 2 lapis (c) 3 lapis



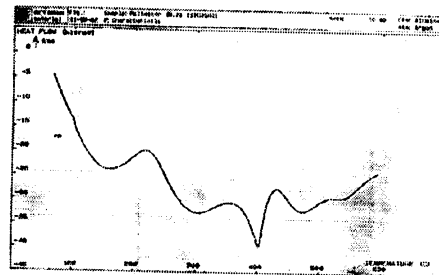
Gambar 9. Strukturmikro komposit bermatriks poliester berpenguat serat gelas jenis B:
 (a) 1 lapis (b) 2 lapis (c) 3 lapis

Analisis Termal

Kurva termogram DTA dapat menunjukkan suhu transisi gelas, pelelehan atau peleburan, kristalisasi dan proses dekomposisi. Nilai suhu transisi gelas (Tg) pada polimer mengindikasikan transisi bentuk kaku ke struktur yang lebih fleksibel. Hal ini menyebabkan perubahan kapasitas kalor dan pergeseran *base line* [11,12].



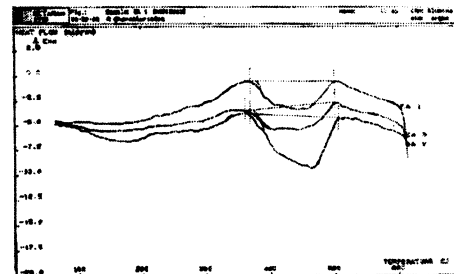
(a)



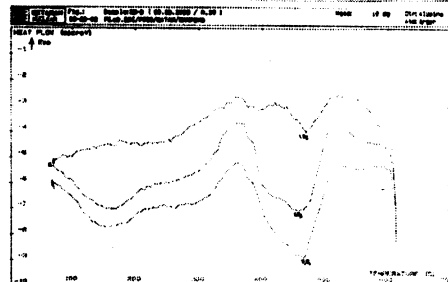
(b)

Gambar 10. Termogram DTA matriks :
 (a) epoksi (b) poliester

Berdasarkan hasil tersebut, termogram DTA yang diperoleh bahan komposit tidak menunjukkan adanya suhu transisi gelas yang jelas. Resin epoksi memiliki Tg antara 120 °C sampai 190 °C dan 100 °C sampai 170 °C untuk resin poliester. Polimer mengandung daerah *amorf* dan kristal. Bagian kurva endoterm yang paling tajam menunjukkan adanya daerah kristal yang paling besar. Daerah puncak pada DTA bergantung pada massa sampel yang digunakan, reaksi kalor dan perubahan entalpi disamping faktor lain seperti geometri sampel dan konduktivitas termal [13].

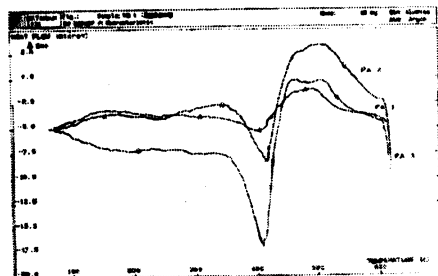


(a)

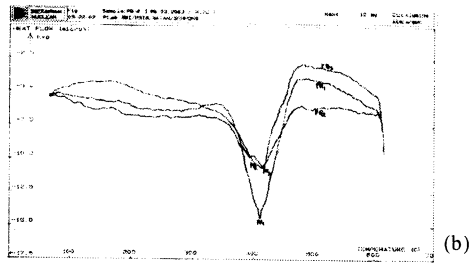


(b)

Gambar 11. Termogram DTA komposit bermatriks epoksi berpenguat serat gelas :
 (a) jenis A (b) jenis B



(a)



Gambar 12. Termogram DTA komposit bermatriks poliester berpenguat serat gelas :

(a) jenis A (b) jenis B

Gambar 9 sampai dengan Gambar 11 menunjukkan hasil uji termal berupa termogram DTA untuk semua sampel. Nilai puncak-puncak pada termogram DTA dapat dilihat pada Tabel 4. Dari Tabel dan Gambar hasil DTA, menunjukkan bahwa matriks epoksi dan poliester tanpa serat memiliki 3 puncak endoterm. Puncak pertama menggambarkan pelunakan polimer, sedangkan puncak kedua menggambarkan polimer mulai meleleh. Ketika hampir semua massa polimer meleleh, puncak endoterm ketiga menunjukkan perubahan bentuk lelehan menjadi gas-gas yang bereaksi akibat perlakuan termal. Nilai *onset temperature* menunjukkan saat pelelehan atau transisi fasa [14]. Sedangkan pada matriks poliester dan epoksi yang diperkuat serat, termogram DTA-nya memberikan informasi bahwa semakin banyak lapisan serat yang direkatkan pada matriks polimer, kurva endotermik semakin tajam dengan luas area yang semakin besar. Hal ini berbanding lurus dengan kenaikan nilai kekuatan tariknya.

Tabel 4. Nilai puncak-puncak Termogram DTA

Kode	Puncak Endoterm	Onset Temperature (°C)	Top of Peak (°C)
E	1	127,13	170,93
	2	237,67	295,50
	3	393,17	463,23
EA ₁	1	380,97	442,27
EA ₂	1	380,73	464,50
EA ₃	1	374,20	450,23
EB ₁	1	114,77	157,10
	2	379,20	464,50
EB ₂	1	442,70	469,40
EB ₃	1	109,10	164,03
	2	383,03	457,43
P	1	98,67	159,63
	2	238,07	303,37
	3	378,40	402,33
PA ₁	1	373,93	409,40
	2	373,93	410,10
PA ₂	1	374,47	415,13
	2	374,47	415,37
PA ₃	1	358,07	408,67
PB ₁	1	375,00	411,10
PB ₂	1	360,80	412,73
PB ₃	1	356,97	415,83

Analisis Aplikasi Bahan Komposit

Dengan memperhatikan sifat mekanik dan sifat fisis bahan komposit yang telah dibuat, dapat dikatakan bahwa bahan komposit tersebut memiliki sifat mekanik khususnya nilai kuat tarik yang lebih baik jika dibandingkan dengan komposit polimer berpenguat serat alam, komposit polimer berpenguat partikel pasir maupun komposit polimer berpenguat serbuk kayu gergaji. Dari kenyataan ini, komposit polimer termoset berpenguat serat sintetik berupa serat gelas dapat diaplikasikan sebagai bahan bangunan, misalnya bahan pembuatan genteng polimer atau fiber seng.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa penambahan serat gelas pada matriks poliester dan epoksi menyebabkan bertambahnya nilai kekuatan tarik bahan komposit. Ini dibuktikan dari nilai 56,71 MPa dan 37,26 MPa untuk matriks poliester dan epoksi tanpa serat meningkat menjadi 165,62 MPa dan 107,47 MPa pada matriks polimer yang diperkuat tiga lapis serat gelas jenis A (*woven roving*).

Komposit dengan matriks epoksi memiliki nilai kekerasan yang lebih baik dari matriks poliester. Peningkatan nilai kekuatan tarik tidak diikuti dengan peningkatan nilai kekerasan bahan komposit yang stabil bahkan cenderung menurun saat serat direkatkan pada matriks. Terjadinya ikat-silang yang cukup banyak menguatkan ikatan bidang antarmuka pada struktur mikro mempengaruhi nilai kuat tarik dan kekerasan bahan komposit. Hal ini juga diperkuat dengan fenomena semakin tajamnya puncak endotermik pada termogram DTA sebanding dengan semakin banyak lapisan serat yang direkatkan pada matriks.

Saran

Agar memenuhi standar untuk dapat diaplikasikan sebagai bahan bangunan dan dapat menggantikan produk-produk genteng yang telah ada sebelumnya, bahan komposit yang dibuat perlu melalui uji *biodegradability* seperti pengujian dengan *weathermeter* untuk mengetahui ketahanan terhadap cuaca, penentuan konduktivitas termal bahan serta uji dampak lingkungan. Perlu juga dipertimbangkan nilai ekonomis bahan yang relatif lebih murah agar dapat digunakan oleh masyarakat luas.

DAFTAR ACUAN

- [1]. F. DOREL dan A.J. HARTOMO, *Bahan Polimer Konstruksi Bangunan*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta (1995).

- [2]. F.L. MATHEW and R.D RAWLINGS. *Composite Materials: Engineering and Science*. Chapman & Hall Publisher, Alden Press, Oxford (1994).
- [3]. A.K. KAW, *Mechanics of Composite Materials*. CRC Press LLC, USA (1997).
- [4]. M.M. SCHWARTZ, *Composite Material Handbook*. 2nd ed. Mc Graw Hill, Inc, USA. (1992).
- [5]. R.F. GIBSON, *Principle of Composite Material Mechanics*. Mc Graw Hill. Inc, USA (1994).
- [6]. ANONYMOUS. *Annual Book of ASTM Standars Part 36*. American Society for Testing and Materials, USA (1982).
- [7]. B.D. AGARWAL, *Analysis and Performance of Fiber Composite*. John Wiley & Sons. Inc, New York (1980).
- [8]. S.W, I MADE dan I NYOMAN B. Kekuatan Produk Komposit Dilihat dari Orientasi dan Fraksi Volume Serat Penguat. *Laporan Penelitian. Universitas Udayana, Denpasar-Bali*. Tidak diterbitkan (2000).
- [9]. I. KARIMAH, Sintesa dan Karakterisasi Sifat Mekanis dan Fisik Komposit Polipropilena-Serbuk Kayu Gergaji. *Skripsi. Jurusan Fisika-FMIPA-ITS, Surabaya*. Tidak diterbitkan (2001).
- [10]. L.E. NIELSEN and R.F. LANDEL, *Mechanical Properties of Polymer and Composites*. Marcel Dekker. Inc, New York (1994).
- [11]. T. SURDIA dan S. SAITO. *Pengetahuan Bahan Teknik*. PT. Pradnya Paramita, Jakarta (1985).
- [12]. C.A. DANIELS, *Polymers: Structure and Properties*. Technomic Publishing Co. Inc, USA (1989).
- [13]. J.W. DODD and K.H. TONGE. *Thermal Method: Analytical Chemistry by Open Learning*. John Wiley & Sons. Inc, London (1987).