

Penyediaan dan Pencirian Komposit UPR/LNR/Gentian Kaca Terawat Menggunakan Resin Poliester Tak Tepu daripada Bahan Buangan PET

(Preparation and Characterization of UPRLNR/Glass Fiber Composite by using Unsaturated Polyester Resin (PET) from PET Wastes)

SITI FARHANA HISHAM, ISHAK AHMAD*, RUSLI DAIK & ANITA RAMLI

ABSTRAK

Komposit UPRLNR/gentian kaca telah disediakan dengan menggunakan resin poliester tak tepu daripada hasil pengitaran semula bahan buangan PET. Kajian dimulai dengan pengitaran semula botol minuman PET melalui proses glikolisis dan hasilnya ditindakbalaskan dengan maleik anhidrida untuk mendapatkan resin poliester tak tepu. Kajian diteruskan dengan penyediaan adunan resin poliester tak tepu (UPR) dengan cecair getah asli (LNR) iaitu komposisi penambahan LNR ke dalam UPR telah diubah dari 0-7.5% (wt). Komposisi UPRLNR dengan sifat mekanik terbaik dipilih sebagai matrik untuk penyediaan komposit berkuat gentian kaca. Rawatan silana ke atas gentian kaca turut dilakukan dengan menggunakan (3-Aminopropil)triethoxysilane. Hasil daripada kajian mendapati adunan UPRLNR dengan penambahan 2.5% LNR mempunyai sifat mekanik dan morfologi terbaik dengan partikel-partikel getah yang bersaiz kecil dapat tersebar dengan sekata dalam UPR. Kajian juga menunjukkan berlakunya peningkatan dalam nilai tegasan, modulus regangan dan kekuatan hentaman bagi komposit UPRLNR/gentian kaca terawat berbanding dengan penggunaan gentian tanpa rawatan.

Kata kunci: Cecair getah asli (LNR); gentian kaca; kitar semula PET; rawatan silana; resin poliester tak tepu (UPR)

ABSTRACT

UPRLNR/glass fibre composite had been prepared by using unsaturated polyester resin (UPR) based from recycled PET product. PET waste was recycled by glycolysis process and the glycolised product was then reacted with maleic anhydride to produce unsaturated polyester resin. The preparation of UPRLNR blends were conducted by varying the amount of LNR addition to the resin ranging from 0-7.5% (wt). The composition of UPRLNR blend with good mechanical properties had been selected as a matrix of the glass fiber reinforced composite. Glass fibre was also treated by (3-Aminopropil) triethoxysilane as a coupling agent. From the result, the addition of 2.5% LNR in UPR had showed the optimum mechanical and morphological properties where the elastomer particles were well dispersed in the matrix with smaller size. The silane treatment on the glass fiber increased the tensile and impact strength values of the UPRLNR/GF composite compared to untreated fiber reinforcement.

Keywords: Glass fiber; liquid natural rubber (LNR); recycled PET; silane treatment; unsaturated polyester resin (UPR)

PENGENALAN

Komposit matriks polimer merupakan bahan sistem komposit termaju yang kian mendapat perhatian di serata negara. Aplikasinya yang meluas adalah disebabkan sifat-sifat komponennya (fizik, kimia, mekanik dan sebagainya) yang boleh dipelbagaikan dalam pelbagai rekaan aplikasi mengikut spesifikasi yang dikehendaki.

Dalam kajian ini, suatu percubaan melibatkan penambahan gentian kaca ke dalam adunan cecair getah asli (LNR) dengan resin poliester tak tepu yang disintesis menggunakan kaedah pengitaran semula kimia daripada bahan buangan PET telah dilakukan untuk menghasilkan komposit bersifat mesra alam. Cecair getah asli (LNR) yang dihasilkan melalui kaedah pengoksidaan fotokimia merupakan salah satu pengisi yang dapat meningkatkan kekuatan plastik termoset dan berasaskan sumber

semulajadi iaitu getah asli (Abdullah & Zakaria 1989). Ia dapat membantu dalam penghasilan komposit secara efektif kos menggantikan cecair elastomer sintetik yang digunakan dengan meluas selama ini.

Gentian kaca pula digunakan sebagai bahan penguat kerana mempunyai sifat kombinasi yang unik seperti mempunyai takat lebur yang tinggi, keanjalan dan modulus regangan yang tinggi, stabil secara terma dan tahan dari segi rintangan kimia (Park & Jin 2001). Sifat mekanik komposit berkuat gentian kaca juga boleh dioptimumkan lagi dengan merawat gentian kaca menggunakan larutan silana yang berfungsi sebagai agen pengkupelan.

Kajian ini secara tidak langsung dapat mengatasi masalah lambakan bahan buangan plastik (PET) serta mewujudkan pengitaran semula yang mampan dan menyumbang ke arah pemuliharaan produk berasaskan

bahan mentah petrokimia untuk penjimatan tenaga. Selain daripada itu, penghasilan komposit ini juga berpotensi menyumbang kepada aplikasi lain atau khusus termasuklah dalam industri marin, bahan binaan dan automotif.

BAHAN DAN KAEDAH

BAHAN

Polietilena tereftalat (PET) daripada botol minuman air mineral/osmosis dipotong kecil dengan dimensi kira-kira $\sim(1 \times 1) \text{ cm}^2$. Etilena glikol dan zink asetat masing-masing diperolehi dari R&M Chemicals and Riedel-de Haën. Hasil glikolisis bersama-sama dengan maleik anhidrida (Merck), hidrokuinon (Merck), dan monomer stirena (Merck) digunakan untuk mensintesis resin poliester tak tepu (UPR). Untuk penyediaan sampel adunan, cecair getah asli (LNR) disediakan melalui proses fotodegradasi manakala gentian kaca jenis kepingan anyaman berketebalan $\sim 2 \text{ mm}$ digunakan. Bagi kaedah rawatan kaca, silana jenis (3-Aminopropil) trietoksisisilana (Fluka) digunakan.

KAEDAH

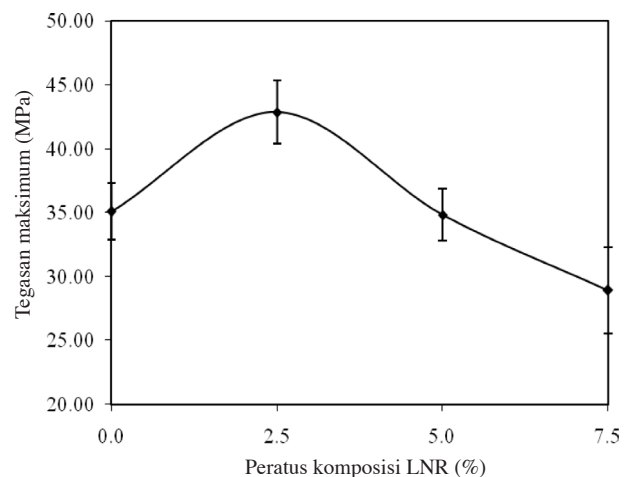
Proses pengitaran semula dijalankan melalui proses glikolisis di antara polietilena tereftalat (PET) dan etilena glikol. Kepingan kecil PET yang telah dipotong ditindakbalaskan dengan etilena glikol berlebihan bersama-sama dengan 0.5% zink asetat yang diperolehi berdasarkan jumlah PET (w/w) sebagai mangkin di dalam kelalang tiga lengan berkapasiti 1 L. Pengoperasian dijalankan pada suhu 180°C hingga 190°C selama 8 jam di dalam sistem atmosfera gas nitrogen dan reaktan dikacau menggunakan pengacau bermagnetik. Hasil glikolisis iaitu bis-2-hidroksi etil tereftalat (BHET) akan melalui tindak balas poliesterifikasi dengan malik anhidrida dan kemudiannya dilarutkan ke dalam monomer stirena untuk menghasilkan UPR. Penyediaan sampel adunan UPR/LNR menggunakan resin poliester tak tepu (UPR) daripada hasil pengitaran semula PET dilakukan dengan mengvariasi komposisi penambahan getah daripada 0% hingga 7.5% (w/w) ke dalam UPR. Kemudian adunan UPR/LNR yang menunjukkan sifat mekanik terbaik akan dipilih sebagai matrik bagi penyediaan komposit UPR/LNR/gentian kaca. Untuk proses rawatan kaca, silana jenis (3-Aminopropil) triethoxysilane yang dilarutkan dalam etanol telah digunakan. Peratus kepekatan larutan yang disediakan adalah sebanyak 2% silana manakala amaun silana yang digunakan pula adalah sebanyak 20% (w/w) daripada berat gentian kaca (Mohd Ishak et al. 2001). Analisis morfologi menggunakan Mikroskop Elektron Imbasan (SEM) model Philips Series XL30 dan ujian sifat mekanik seperti kekuatan ujian regangan menggunakan Instron 5567 mengikut kaedah ASTM D-638-91 dan hentaman dengan menggunakan impaktometer (Ceast 6545/0000) mengikut kaedah ASTM 256-90b telah dilakukan ke atas semua sampel yang disediakan.

HASIL DAN PERBINCANGAN

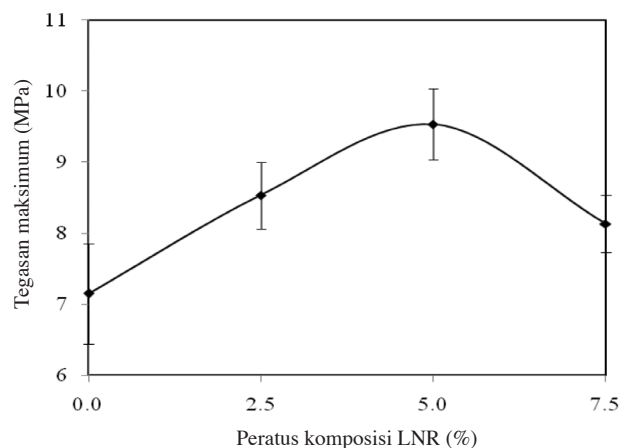
SIFAT MEKANIK

Adunan UPR/LNR

Beberapa mekanisme yang dikenalpasti mempengaruhi kekuatan resin termoset yang telah diubah suai dengan cecair elastomer adalah penyerapan tenaga oleh partikel getah, pemutusan ikatan antaramuka matrik dan partikel getah, tegasan ricih, peretakan matrik, dan kombinasi jenis patahan (Benny & Eby Thomas 2003). Mekanisme-mekanisme ini dapat mempengaruhi sifat mekanik adunan sampel yang terhasil. Rajah 1, 2 dan 3 masing-masing menunjukkan nilai tegasan regangan, modulus regangan dan kekuatan hentaman bagi semua sampel adunan.

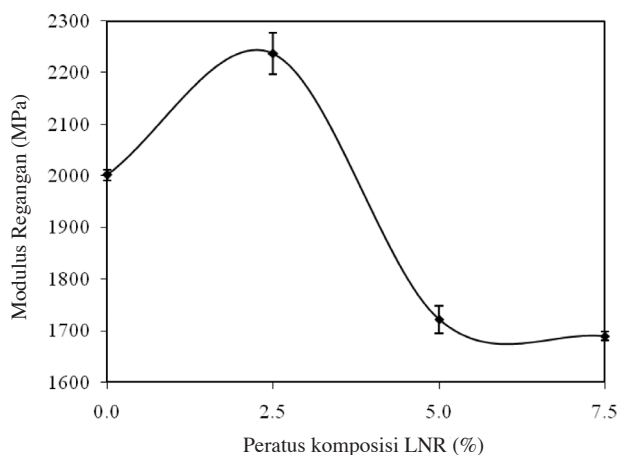


RAJAH 1. Kesan penambahan LNR ke atas nilai tegasan regangan UPR



RAJAH 2. Kesan penambahan LNR ke atas nilai terikan regangan UPR

Rajah 1 menunjukkan nilai tegasan paling maksimum dicapai pada komposisi LNR sebanyak 2.5% (wt) dalam UPR. Penambahan LNR ke dalam UPR dengan komposisi melebihi 2.5% telah menyebabkan penurunan nilai tegasan. Hal ini kerana adunan 2.5% LNR bersama UPR mempunyai



RAJAH 3. Kesan penambahan LNR ke atas nilai modulus regangan UPB

keserasian yang baik iaitu partikel getah tersebar dengan homogen dan bersaiz optimum iaitu lebih kecil berbanding saiz partikel getah dalam resin bagi komposisi adunan LNR/UPB yang lain. Perkara ini dibuktikan oleh mikrograf SEM bagi sampel adunan ini dalam Rajah 6(b). Kehomogenan penyebaran partikel getah dalam resin adalah disebabkan oleh wujudnya tenaga antaramuka yang rendah di antara getah dan resin (Ragosta et al. 1999). Perkara ini turut menghasilkan lekatan antaramuka yang kuat di antara komponen dan menyebabkan pemindahan tenaga tegasan berlaku dengan baik dalam sistem adunan. Fasa partikel getah yang hadir dalam resin turut menyebabkan penghasilan ruang kosong mikro. Ruang ini terbentuk ketika proses pengecutan yang berlaku semasa pematangan resin iaitu keadaan cecair berubah kepada fasa pepejal. Kehadiran ruang kosong yang lebih kecil dapat meminimumkan saiz zon peretakan semasa tegasan diberikan. Oleh itu, saiz partikel getah yang lebih besar dalam sampel adunan lain telah mewujudkan kawasan untuk retakan mudah berlaku dan menyebabkan tenaga tegasan tidak dapat dipindahkan sekaligus merendahkan nilai tegasan (Suspene et al. 1993).

Kesan penambahan LNR ke atas nilai modulus UPB ditunjukkan dalam Rajah 2. Berdasarkan rajah tersebut, didapati adunan UPB/LNR dengan komposisi LNR sebanyak 2.5%(wt) mempunyai nilai modulus regangan yang paling tinggi berbanding sampel adunan yang lain. Seperti yang telah dibincangkan sebelum ini, adunan 2.5% LNR dengan UPB telah menghasilkan satu adunan yang serasi dengan pelekatan antaramuka yang baik dan homogen daripada segi penyebaran partikel getah dalam resin. Ikatan antaramuka yang baik antara getah dan matrik akan menyebabkan tenaga tegasan yang dikenakan pada sampel dapat dipindahkan dan diserap oleh partikel getah (Ragosta et al. 1999). Selain faktor yang telah dinyatakan, nilai modulus regangan yang tinggi turut dicapai oleh faktor mekanisme pemutusan yang berlaku semasa tegasan diberikan. Apabila sampel diberikan tegasan, ia menyebabkan saiz ruang kosong mikro yang wujud

dalam fasa partikel getah membesar dan berubah bentuk mengakibatkan partikel getah putus sebelum matrik mengalami kegagalan. Semasa mekanisme itu, terdapat juga persaingan pemutusan ikatan yang berlaku di antara pemutusan dalaman partikel getah dan juga pemutusan ikatan antaramuka bagi getah dan resin. Oleh itu suatu nilai tegasan yang tinggi diperlukan untuk membolehkan sampel adunan UPB/LNR ini berubah bentuk, dan menyebabkan sampel mempunyai nilai modulus regangan yang tinggi. Dengan erti kata yang lain, komposisi LNR sebanyak 2.5% telah berjaya meningkatkan sifat kekakuan bagi sampel adunan UPB/LNR.

Rajah 3 menunjukkan nilai tenaga hentaman yang dicapai oleh semua sampel adunan UPB/LNR dengan komposisi LNR sebanyak 0% hingga 7.5% (wt). Dalam hal ini juga, sampel adunan dengan penambahan 2.5% LNR ke dalam resin menunjukkan kekuatan hentaman yang paling tinggi dicapai. Interaksi getah dan resin dengan kepekatan LNR 2.5% dalam adunan adalah sangat baik. Getah yang semulajadinya bersifat kenyal adalah komponen yang dapat menampung beban tenaga yang diberikan serta mewujudkan perkembangan pemutusan shear-yield (Huang et al. 1993). Oleh sebab itu selepas penambahan getah ke dalam resin, perubahan sifat patahan resin berlaku iaitu daripada patahan rapuh berubah kepada patahan ricih atau liat. Kehadiran fasa getah yang serasi dengan resin dalam adunan juga dapat meningkatkan kadar penyerapan dan pelenyapan tenaga hentaman yang diberikan bagi mengelakkan berlakunya penyebaran retakan pada matrik resin (Benny et al. 2003).

Komposit UPB/LNR/Gentian Kaca Jadual 1 menunjukkan data daripada hasil ujian sifat mekanik yang masing-masing mewakili sampel adunan dengan komposisi optimum yang dipilih sebagai matrik komposit bagi sebelum penambahan gentian kaca, selepas penambahan gentian dan juga selepas melalui rawatan gentian. Jadual tersebut menunjukkan selepas adunan UPB/LNR dengan komposisi LNR sebanyak 2.5% diperkuat dengan penguat gentian kaca, peningkatan dengan nilai yang tinggi pada sifat mekanik telah berlaku.

Gentian kaca yang mempunyai kekuatan dan modulus regangan yang baik dapat bertindak sebagai media alas beban dalam komposit UPB/LNR/gentian kaca yang telah dihasilkan (Callister 1987). Apabila daya dikenakan kepada komposit, maka gentian akan mengalami tegasan akibat pemindahan daya bebanan daripada matrik kepada gentian melalui fasa antaramuka sekaligus melambatkan proses komposit untuk mengalami kegagalan. Nilai nisbah aspek gentian yang tinggi, iaitu nisbah di antara panjang dan diameter gentian dalam komposit ini juga telah mewujudkan fasa antaramuka yang luas yang dapat meningkatkan interaksi ikatan matrik dengan gentian serta memudahkan pemindahan tenaga tegasan yang diberikan berlaku (Michael & Alistair 1993). Orientasi gentian yang tersusun pada paksi yang sama dalam gentian kaca jenis anyaman ini juga menjadi faktor keberkesanan pemindahan

JADUAL 1. Sifat mekanik komposit UPR/LNR/gentian kaca

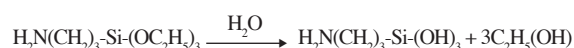
Sampel	Sifat Mekanik		
	Tegasan Maksimum (MPa)	Modulus Regangan (MPa)	Kekuatan Hentaman (kJ/m ²)
97.5% UPR: 2.5% LNR	42.88	2236.75	10.28
UPR/LNR/Gentian Kaca	50.74	2897.15	29.29
UPR/LNR/Gentian Kaca Terawat	52.71	3547.86	30.10

tegangan di kawasan antaramuka (George & Thomas 1997). Oleh itu nilai tegangan yang tinggi diperlukan untuk komposit mula berubah bentuk akibat proses regangan. Kemasukan gentian kaca yang bersifat tegar ke dalam adunan UPR/LNR juga telah menjadikan komposit yang terhasil bersifat lebih kaku dan kurang keanjalan. Oleh sebab itu nilai modulus regangan telah meningkat apabila gentian kaca digunakan sebagai penguat. Peningkatan pada kekuatan hentaman oleh kehadiran gentian kaca pula adalah disebabkan faktor kebolehan gentian tersebut untuk memberhentikan pergerakan retakan dan menyerap tenaga yang diberikan semasa proses penyahikatan, keretakan matrik dan penarikan keluar gentian dari matrik (Ishak & Berry 1993). Kombinasi tiga mekanisme ini juga telah menyebabkan lebih tenaga hentaman diperlukan untuk mengagalkan komposit. Selain itu, faktor penguatan komposit ini adalah disebabkan oleh matrik komposit (adunan UPR/LNR) yang mempunyai fasa getah dalam resin UPR yang boleh menyerap tenaga hentaman telah bertindak melindungi gentian daripada bengkok serta menjadi medium pemindahan tenaga hentaman.

Kesan Rawatan Silana Berdasarkan Jadual 1, rawatan silana ke atas gentian kaca telah berjaya meningkatkan sifat mekanik komposit UPR/LNR/gentian kaca yang dihasilkan. Hal ini kerana, rawatan gentian kaca dengan silana telah berjaya meningkatkan interaksi ikatan antaramuka di antara matrik dan gentian. Rawatan terhadap permukaan gentian dilakukan bagi memenuhi dua perkara iaitu untuk melindungi permukaan gentian dan memperbaiki interaksi di antara gentian dan matrik dengan mengubah tenaga permukaan atau keaktifan permukaan gentian (Mikael & Shishoo 1995).

Permukaan gentian kaca mempunyai sifat kepolaran yang lebih tinggi berbanding matrik polimer. Oleh itu, permukaan gentian perlu lebih bersifat hidrofobik untuk meningkatkan interaksi gentian dengan matrik. Rawatan silana sebagai agen pengkupelan ke atas gentian kaca telah membentuk lapisan hidrofobik yang dapat mengoptimalkan pemindahan tegasan pada zon antaramuka dan menyebabkan gentian lebih serasi dengan matrik adunan UPR/LNR. Struktur agen pengkupelan diberikan oleh formula umum R'-Si-(OR)₃ (George & Thomas 1997). Unit -OR adalah kumpulan berfungsi yang terikat pada silikon. Kumpulan ini bersifat sementara dan akan terhidrolisis dalam larutan akuaes. Formula struktur bagi silana yang telah digunakan iaitu (3-Aminopropil)

tretoxisilana adalah H₂N(CH₂)₃-Si-(OC₂H₅)₃. Persamaan tindak balas bagi hidrolisis silana ditunjukkan seperti berikut:



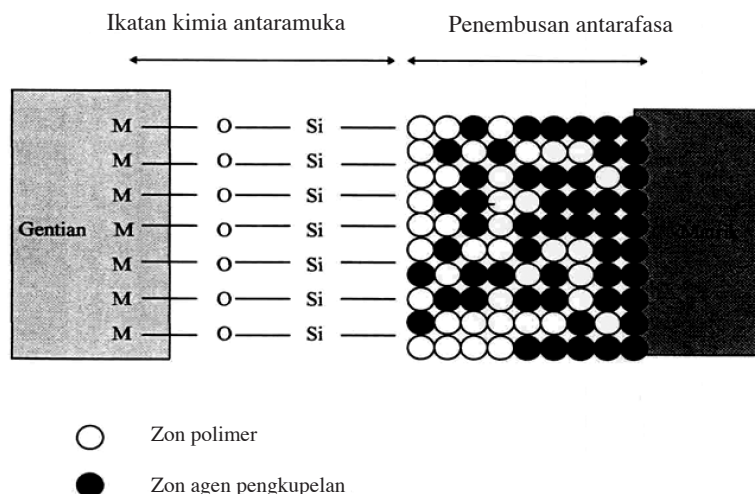
-Si(OH)₃ iaitu trihidrosilanol adalah hasil tindak balas hidrolisis silana yang akan mengalami tindak balas kondensasi dengan kumpulan hidroksi pada permukaan gentian kaca dengan membentuk ikatan kovalen. Kumpulan berfungsi R' iaitu H₂N(CH₂)₃- yang tidak terhidrolisis dan bersifat hidrofobik akan membentuk interaksi dengan matrik. Dengan cara ini agen pengkupelan silana membentuk ikatan antaramuka yang lebih kuat antara gentian kaca dan matrik berbanding sebelum rawatan dilakukan.

Peningkatan pada nilai tegasan, modulus regangan dan tenaga hentaman bagi komposit UPR/LNR/gentian kaca adalah disebabkan oleh pembentukan ikatan di kawasan antaramuka gentian dan matrik. Stuart (1990) mencadangkan ikatan kimia dan mekanisme 'saling penembusan fasa' berlaku di kawasan antaramuka seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4. Peningkatan interaksi antaramuka matrik dan gentian ini telah menyebabkan komposit bersifat lebih tegar dan kaku serta tidak mudah untuk mengalami kerosakan apabila dikenakan daya hentaman yang kuat.

ANALISIS MORFOLOGI

Adunan UPR/LNR Mikroskop Elektron Imbasan (SEM) telah digunakan untuk mengkaji struktur sampel matrik resin dan sampel adunan UPR/LNR bagi mendedahkan kewujudan sistem dua fasa yang terhasil selepas modifikasi resin dengan getah. Hal ini kerana berdasarkan kajian lepas, Benny dan Eby (2003) mendapati bahawa sistem dengan fasa matrik dan getah yang terpisah semasa proses pematangan adalah perlu disebabkan adunan yang mempunyai fasa terpisah lebih kuat berbanding dengan adunan yang menghasilkan satu fasa sahaja.

Rajah 5(a) menunjukkan mikrograf SEM bagi sampel matrik UPR tanpa penambahan LNR. Struktur permukaan yang rapuh dan mudah patah pada mikrograf tersebut dapat ditunjukkan dengan bentuk permukaan pada bahagian patahan yang agak rata (Raju et al. 2007). Hal ini dibuktikan oleh nilai terikan (%) bagi ujian sifat mekanik yang mewakili sampel ini adalah sangat rendah berbanding



RAJAH 4. Mekanisme penembusan fasa (Stuart 1990)

sampel yang lain. Mikrograf juga menunjukkan kehadiran sistem satu fasa sahaja pada permukaan sampel matrik UPB.

Mikrograf SEM yang mewakili sampel adunan dengan penambahan 2.5% LNR ke dalam UPB ditunjukkan dalam Rajah 5(b). Mikrograf SEM tersebut telah berjaya membuktikan wujudnya keserasian yang baik di antara partikel getah dan resin. Partikel getah dapat dilihat tersebar dengan sekata dalam resin dengan saiz yang lebih kecil berbanding sampel adunan yang lain. Permukaan patahan bagi sampel ini agak kasar terutama pada bahagian sekeliling partikel getah yang menunjukkan wujudnya struktur yang kuat dalam adunan sampel dan terdapat juga ruang sfera kosong yang hadir akibat penarikan partikel getah keluar semasa mekanisme pemutusan sampel adunan. Hal ini juga membuktikan bahawa lekatan antara muka di antara matrik resin dan LNR adalah kuat dan menyebabkan partikel getah dapat bertindak sebagai bahan modifikasi terbaik dalam meningkatkan sifat mekanik UPB terutama daripada segi kekuatan hentaman.

Penambahan LNR melebihi komposisi 2.5% (wt) telah menyebabkan penurunan pada sifat mekanik adunan UPB/LNR. Faktor penyebab kepada penurunan tersebut dapat ditunjukkan oleh Rajah 5(c) dan 5(d) yang masing-masing mewakili mikrograf SEM bagi sampel adunan dengan komposisi LNR sebanyak 5% dan 7.5%. Daripada kedua-dua mikrograf tersebut, dapat dilihat bahawa penambahan sebanyak 5% dan 7.5% LNR menghasilkan saiz partikel getah yang agak besar dan penyebarannya juga adalah tidak homogen. Mikrograf juga menunjukkan wujudnya ruang kosong pada fasa getah iaitu dapat menyumbang kepada kawasan untuk berlaku peretakan dengan mudah. Struktur permukaan patahan dalam kedua-dua mikrograf juga kurang kasar berbanding dengan sampel adunan komposisi 2.5% LNR. Perkara ini dapat dilihat dengan jelas terutama pada permukaan sampel adunan 7.5% LNR dengan strukturnya lebih rata kerana wujudnya interaksi yang lemah di antara getah dan resin matrik dalam adunan tersebut.

KOMPOSIT UPB/LNR/GENTIAN KACA

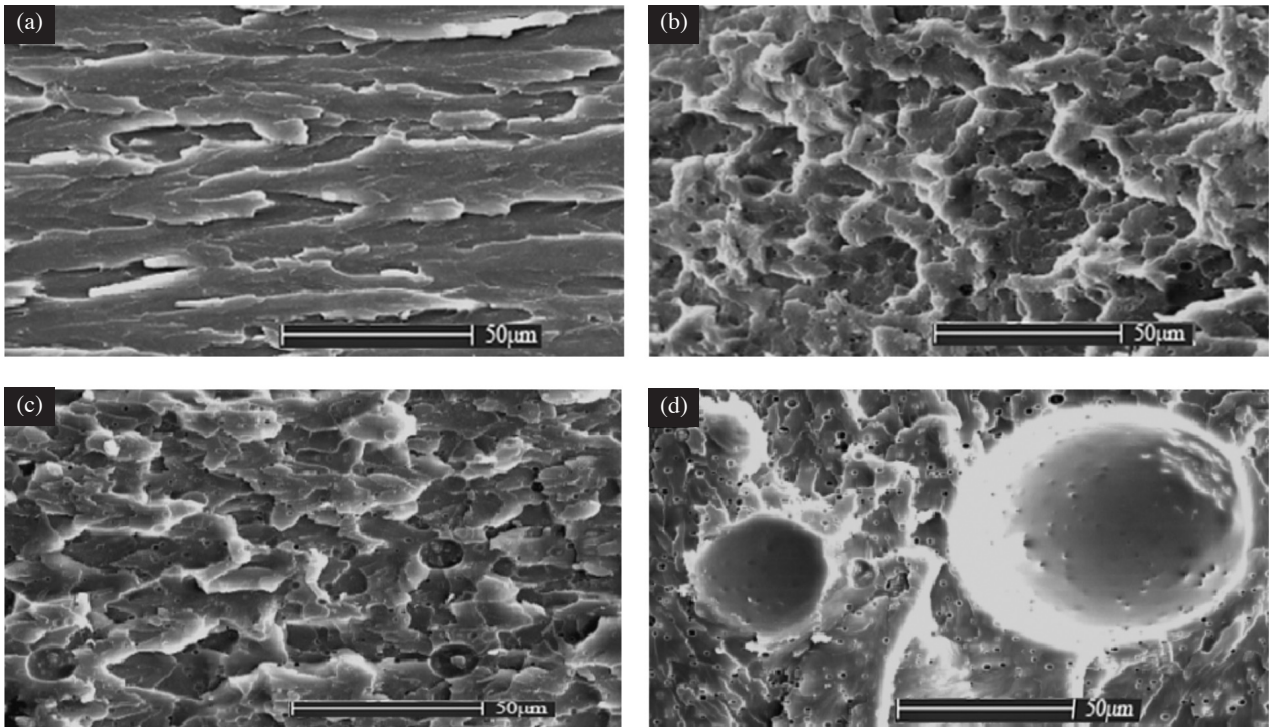
Rajah 6(a) dan (b) masing-masing menunjukkan mikrograf SEM bagi hasil analisis morfologi ke atas sampel komposit UPB/LNR/gentian kaca tidak terawat dan komposit menggunakan gentian kaca terawat silana.

Daripada mikrograf SEM bagi sampel komposit berpenguat gentian kaca tak rawat, dapat dilihat tiada kewujudan zon antaramuka yang kuat di antara gentian dan matrik. Hal ini jelas ditunjukkan oleh keadaan gentian yang menjulur keluar daripada matrik. Selain itu dapat diperhatikan bahawa permukaan gentian kaca juga kelihatan bersih tanpa sisa matrik yang tertinggal dipermukaannya. Ini adalah ciri tipikal keadaan interaksi antaramuka yang lemah. Terdapat juga regangan di antara matrik dan gentian yang disebabkan oleh penyahkitan gentian dari matrik (Ashida & Guo 1993).

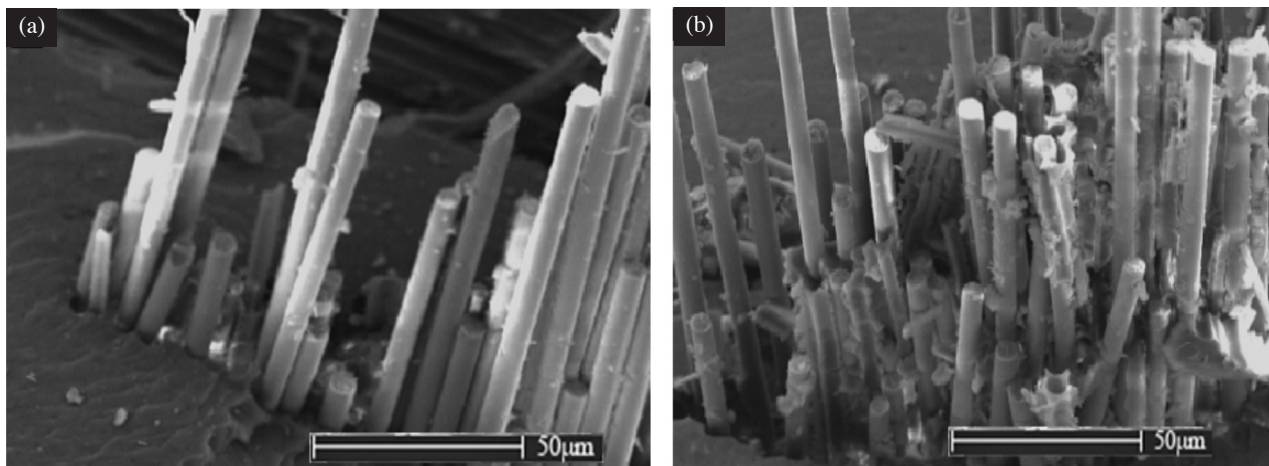
Morfologi yang berbeza dapat dilihat pada mikrograf SEM bagi sampel komposit UPB/LNR/gentian kaca terawat silana. Terdapat banyak sisa matrik yang melekat pada gentian kaca terawat silana. Ini bermakna kekuatan lekatan antaramuka matrik dan gentian adalah kuat dan banyak tenaga diperlukan untuk menjana retakan dan ini dibuktikan dengan kekuatan sifat mekanik yang tinggi bagi sampel ini (Podgaiz & Williams 1997). Selain itu juga, dapat dilihat gentian kaca terawat tidak mudah terpisah dan kurang mengalami kerosakan berbanding gentian kaca tanpa rawatan. Hal ini kerana, agen pengkupelan silana berfungsi sebagai pelindung yang dapat mengurangkan faktor geseran sesama gentian semasa tegasan diberikan. Silana yang dapat membentuk lapisan pelincir mampu mengurangkan kesan geseran dan mengurangkan kesan kecacatan pada permukaan gentian (Stuart 1990).

KESIMPULAN

Komposit UPB/LNR/gentian kaca terawat telah berjaya disediakan dengan menggunakan resin poliester tak tepu (UPB) daripada hasil kitar semula bahan buangan PET.



RAJAH 5. Mikrograf SEM pembesaran 500x bagi sampel: (a) 100% UPR, (b) 2.5%LNR 9.75%UPR, (c) 5.0%LNR-95%UPR dan (d) 7.5% LNR-92.5%UPR



RAJAH 6. Mikrograf SEM bagi sampel: (a) UPR/LNR/gentian kaca tak rawat dan (b) UPR/LNR/gentian kaca terawat

Kajian menunjukkan adunan UPR/LNR menggunakan resin yang disediakan ini hanya memerlukan amaun komposisi LNR yang kecil iaitu sebanyak 2.5% untuk menghasilkan sampel adunan dengan sifat mekanik dan struktur morfologi yang optimum. Kaedah rawatan gentian kaca dengan silana yang dipilih juga ternyata berkesan dalam meningkatkan sifat mekanik komposit UPR/LNR/gentian kaca dan memberikan struktur morfologi yang baik berbanding sebelum rawatan. Ternyata kajian ini sesuai untuk diteruskan bagi tujuan pengkomersilan.

RUJUKAN

- Abdullah, I. & Zakaria, Z. 1989. Pendepolimeran Fotokimia Getah Asli. *Sains Malaysiana* 18: 99-109.
- Ashida, M., & Guo, W. 1993. The mechanical properties short fibre. Sytrenic block copolymer composites. *Journal of Applied Polymer Science* 37: 2645-2659.
- Benny, C.A. & Eby, T.T. 2003. Blends of unsaturated polyester resin with functional elastomers. *Journal of Elastomers and Plastics* 35: 367-380.
- Callister, W.D. 1987. *Materials Science and Engineering*. New York: John Wiley & Sons Inc.

- George, J. & Thomas, S. 1997. Short fiber-reinforced plastic composite. Dlm. (pynt). Nicholas, P. *Handbook of Engineering Polymeric Materials*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Huang, Y., Hunston, D.L., Anthony, J.K., Bertsch, R.J. & Siebert, A.R. 1993. Mechanisms of toughening thermoset resins. Dlm. Riew, C.K. & Kinloch A.J. (pynt). *Toughened Plastics I*. Washington D.C.: American Chemical Society.
- Ishak, Z.A.M. & Berry, J.P. 1993. Impact Properties Of Short Carbon Fiber Reinforced Nylon 6.6. *Polymer Engineering & Science* 33: 1483-1488.
- Michael, G.B. & Alistair, R.H. 1993. Short fiber composites. Dlm. Cahn, R.W. (pynt). *Materials Science & Technology* 13. New York: VCH Publishers Inc.
- Mikael, E. & Shishoo, R.L. 1995. Studies of the effect of fiber surface and matrix rheological properties on nonwoven reinforced elastomer composites. *Journal of Applied Polymer Science* 57: 751-765.
- Mohd Ishak, Z.A., Ariffin, A. & Senawi, R. 2001. Effect of hydrothermal ageing and a silane coupling agent on the tensile properties of injection moulded Short Glass Fiber Reinforced Poly(Butylene Terephthalate) Composites. *European Polymer Journal* 37: 1635-1647.
- Park, S-J. & Jin, S-J. 2001. Effect of Silane Coupling Agent on Interphase and Performance of Glass Fibers/Unsaturated Polyester Composites *Journal of Colloid and Interface Science* 242: 174-179.
- Podgaiz, R.H. & William, R. 1997. Effect of fiber coating on mechanical properties of unidirectional glass reinforced composites. *Composites Science & Technology* 57: 1071-1076.
- Ragosta, G., Bombace, M., Martuscelli, E., Musto, P. & Russo, P. 1999. A novel compatibilizer for the toughening of unsaturated polyester resins. *Journal of Materials Science* 34: 1037-1044.
- Raju, T., Sebastien, D., Christophe, S., Tolib, O., Sara, G., Gabriel, G., Paula, M. & Sabu, T. 2007. Cure kinetics, morphology and miscibility of modified DGEBA-based epoxy resin - Effects of a liquid rubber inclusion. *Polymer* 48: 1695-1710.
- Stuart, M.L. 1990. *International Encyclopedia of Composites 2*. New York: VCIT Publisher.
- Suspene, L., Yang, Y.S. & Pascault, J-P. 1993. *Additive Effects on the Toughening of Unsaturated Polyester Resins*. Dlm. (pynt). Riew, C.K. & Kinloch A.J. *Toughened Plastics I*. Washington D.C.: American Chemical Society.
- Siti Farhana Hisham, Ishak Ahmad* & Rusli Daik
¹Pusat Pengajian Sains Kimia dan Teknologi Makanan
 Fakulti Sains dan Teknologi
 Universiti Kebangsaan Malaysia
 43600 UKM Bangi, Selangor
 Malaysia
- Anita Ramli
 Bahagian Kejuruteraan Kimia
 Universiti Teknologi PETRONAS
 Bandar Seri Iskandar
 31750 Tronoh
 Perak, Malaysia
- *Pengarang untuk surat-menyurat; e-mail: gading@ukm.my
- Diserahkan: 16 Jun 2010
 Diterima: 23 Disember 2010