



PENYEDIAAN DAN PENCIRIAN KOMPOSIT UPR/LNR/GENTIAN KACA TERAWAT MENGUNAKAN RESIN POLIESTER TAK TEPU DARIPADA BAHAN BUANGAN PET

¹SITI FARHANA HISHAM, ¹ISHAK AHMAD, ¹RUSLI DAIK, DAN ²ANITA RAMLI

¹Pusat Pengajian Sains Kimia dan Teknologi Makanan, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti
Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia.

²Bahagian Kejuruteraan Kimia, Universiti Teknologi PETRONAS,
Bandar Seri Iskandar, 31750 Tronoh, Perak, Malaysia

Tel: +603-89215431; Fax: +603-89215410; E-mail: gading@pkrisc.cc.ukm.my

ABSTRAK

Penghasilan komposit adalah bertujuan bagi membentuk suatu bahan baru yang mempunyai ciri-ciri yang lebih baik daripada ciri-ciri komponennya. Dalam kajian ini, komposit UPR/LNR/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 ditindakbalas dengan maleik anhidrida untuk mendapatkan resin poliester tak tepu. Kajian diteruskan dengan penyediaan adunan resin poliester tak tepu (UPR) dengan cecair getah asli (LNR) dimana komposisi penambahan LNR ke dalam UPR telah divariasikan dari 0-7.5% (wt). Komposisi UPR/LNR dengan sifat mekanik terbaik dipilih sebagai matrik untuk penyediaan komposit berpuang gentian kaca. Rawatan silana ke atas gentian kaca turut dilakukan dengan menggunakan (3-Aminopropil)triethoxysilane. Hasil daripada kajian mendapati adunan UPR/LNR dengan penambahan 2.5% LNR mempunyai sifat mekanik dan morfologi terbaik di mana 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 UPR/LNR/gentian kaca terawat berbanding dengan penggunaan gentian tanpa rawatan.

Kata kunci: resin poliester tak tepu (UPR), cecair getah asli (LNR), gentian kaca, rawatan silana dan kitar semula PET.

ABSTRACT

Composite has create a new material with the improvement in the properties compare to its basic components. In this research, the UPR/LNR/glass fiber composite had been prepared by using unsaturated polyester resin (UPR) based from recycled PET product. First of all the PET waste was recycled by glycolisis process and then, the glycolised product had been reacted with maleic anhydride to produce unsaturated polyester resin. The preparation of UPR/LNR blends were done by varying the amount of LNR addition to the resin from 0-7.5% (wt). The composition of UPR/LNR blend with the optimum mechanical properties had been choosed as the matrix of the glass fiber reinforced composite. Glass fiber also had been treated by (3-Aminopropil)triethoxysilane as the coupling agent. From the result, the addition of 2.5% LNR in UPR had showed the optimum mechanical and morphology properties where the elastomer particels were well dispersed in smaller size in the matrix. The silane treatment on the glass fiber had increased the value of tensile and impact strength of the UPR/LNR/GF composite compared to untreated fiber reinforcement.

Keywords: *Unsaturated polyester resin (UPR), liquid natural rubber (LNR), glass fiber, silane treatment and recycled PET.*

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. Ia dapat membantu dalam penghasilan komposit secara kos efektif 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 et al. 2001). Sifat mekanik komposit berpenguat 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-aplikasi lain atau khusus termasuklah dalam industri marin, bahan binaan dan automotif.

BAHAN DAN KAEDAH

Bahan

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

Kaedah

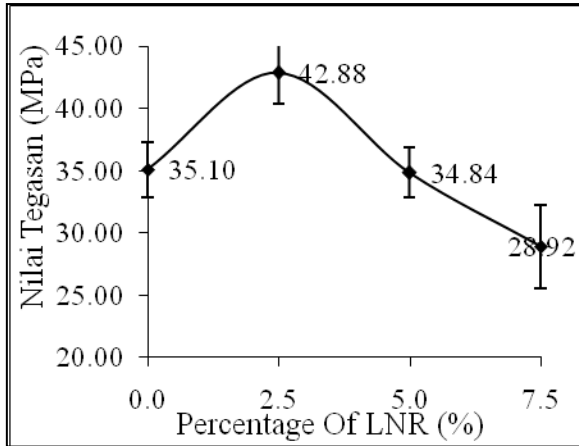
Proses pengitaran semula dijalankan melalui proses glikolisis di antara PET dan etilena glikol. Hasil glikolisis iaitu bis-2-hidroksi etil tereftalat (BHET) akan melalui tindak balas poliesterifikasi dengan malik anhidrida dan kemudiannya dilarutkan ke dalam monomer stirena untuk menghasilkan UPR. Penyediaan sampel adunan UPR/LNR menggunakan resin poliester tak tepu (UPR) daripada hasil pengitaran semula PET dilakukan dengan menvariasi komposisi penambahan getah dari 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 digunakan dengan etanol sebagai bahan pelarut. Peratus kepekatan larutan yang disediakan adalah sebanyak 2% silana manakala amaun silana yang digunakan pula adalah sebanyak 20% (w/w) daripada berat gentian kaca (Z. A. Mohd Ishak et al. 2001). Analisis morfologi menggunakan Mikroskop Imbasan Elektron (SEM) dan ujian sifat mekanik seperti kekuatan ujian regangan dan hentaman telah dilakukan ke atas semua sampel yang disediakan.

HASIL DAN PERBINCANGAN

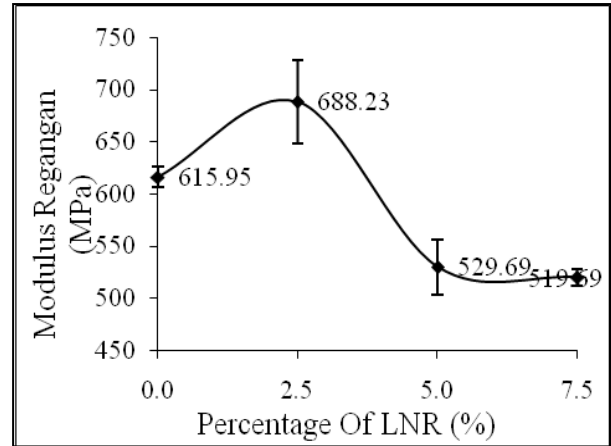
Sifat Mekanik

Adunan UPR/LNR

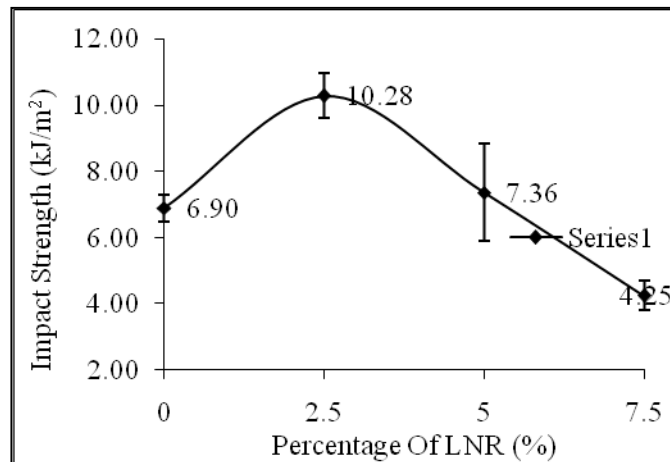
Beberapa mekanisma yang dikenalpasti mempengaruhi kekuatan resin termoset yang telah dimodifikasi dengan cecair elastomer adalah penyerapan tenaga oleh partikel getah, pemutusan ikatan antaramuka matrik dan partikel getah, shear yield, peretakan matrik, dan kombinasi jenis patahan (Benny et al. 2003). Mekanisma-mekanisma ini dapat mempengaruhi sifat mekanik adunan sampel yang terhasil. Rajah 3.1.1(a), 3.1.1(b) dan 3.1.1(c) masing-masing menunjukkan nilai tegasan regangan, modulus regangan dan kekuatan hentaman bagi semua sampel adunan.



Rajah 3.1.1(a): Graf Nilai Tegasan



Rajah 3.1.1(b): Graf Nilai Modulus



Rajah 3.1.1(c): Graf Kekuatan Hentaman

Rajah 3.1.1(a) 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 keserasian yang baik di mana partikel getah tersebar dengan homogen dan bersaiz optimum iaitu lebih

kecil berbanding saiz partikel getah dalam resin bagi komposisi adunan LNR/UPR yang lain. 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 di mana keadaan cecair berubah kepada fasa pepejal. Kehadiran ruang kosong yang lebih kecil dapat meminimalkan saiz zon peretakan semasa tegasan diberikan. Oleh itu, saiz partikel getah yang lebih besar dalam sampel adunan lain telah mewujudkan kawasan di mana 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 UPR ditunjukkan dalam Rajah 3.1.1(b). Berdasarkan rajah tersebut, didapati adunan UPR/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 UPR telah menghasilkan satu adunan yang serasi dengan pelekatan antaramuka yang baik dan homogen dari 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 mekanisma 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 mekanisma 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 UPR/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 UPR/LNR.

Rajah 3.1.1(c) menunjukkan nilai tenaga hentaman yang dicapai oleh semua sampel adunan UPR/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. Sepertimana yang kita telah sedia maklum, 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 kerana itu selepas penambahan getah ke dalam resin, perubahan sifat patahan resin berlaku iaitu daripada patahan rapuh berubah kepada patahan shier yield 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 UPR/LNR/Gentian Kaca

Rajah 3.1.2 menunjukkan keseluruhan data daripada hasil ujian sifat mekanik bagi semua jenis sampel yang telah disediakan. Jadual tersebut menunjukkan selepas adunan UPR/LNR dengan komposisi LNR optimum sebanyak 2.5% diperkuat dengan penguat gentian kaca, peningkatan dengan nilai yang tinggi pada sifat mekanik telah berlaku.

Sampel	Sifat Mekanik		
	Tegasan Maksimum (MPa)	Modulus Regangan (MPa)	Kekuatan Hentaman (kJ/m ²)
100% UPR	35.10	615.95	6.90
97.5% UPR: 2.5% LNR	42.88	688.23	10.28
95% UPR: 5% LNR	34.84	529.69	7.36
92.5% UPR: 7.5% LNR	28.92	519.69	4.25
UPR/LNR/Gentian Kaca	51.56	906.96	29.29
UPR/LNR/Gentian Kaca Terawat	51.87	1095.86	30.10

Rajah 3.1.2: Sifat Mekanik

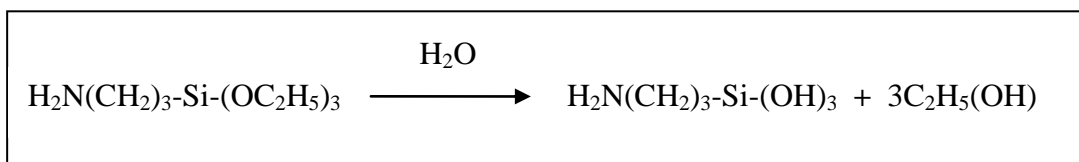
Gentian kaca yang mempunyai kekuatan dan modulus regangan yang baik dapat bertindak sebagai media alas beban dalam komposit UPR/LNR/gentian kaca yang telah dihasilkan (Callister 1987). Apabila daya dikenakan kepada komposit, maka gentian akan mengalami tegasan akibat pemindahan daya bebanan daripada 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 tegasan di kawasan antaramuka (George & Thomas 1997). Oleh itu nilai tegasan 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 kerana 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 (Mohd Ishak & Berry 1993). Kombinasi tiga mekanisma ini juga telah menyebabkan lebih tenaga hentaman diperlukan untuk menggagalkan 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 Rajah 3.1.2, 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 kepolaran yang tinggi sementara matrik lebih kurang kepolarannya. 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 mengoptimumkan pemindahan tegasan pada zon antaramuka dan menyebabkan gentian lebih serasi dengan matrik adunan UPR/LNR. Struktur agen pengkupelan diberikan oleh formula umum $R^3\text{-Si-(OR)}_3$ (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)triethoxysilane adalah $\text{H}_2\text{N(CH}_2)_3\text{-Si-(OC}_2\text{H}_5)_3$. Persamaan tindakbalas bagi hidrolisis silana ditunjukkan dalam Rajah 3.1.2.1(a).

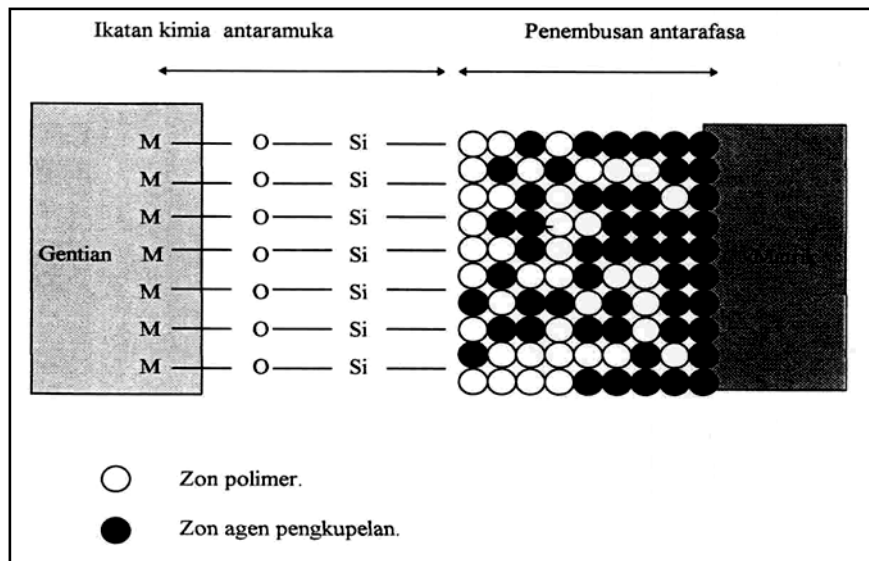


Rajah 3.1.2.1(a): Tindak balas hidrolisis silana

-Si(OH)_3 iaitu trihidrosilanol adalah hasil tindakbalas hidrolisis silana yang akan mengalami tindakbalas kondensasi dengan kumpulan hidroksi pada permukaan gentian kaca dengan membentuk

ikatan kovalen. Kumpulan berfungsi R' iaitu $H_2N(CH_2)_3-$ 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 mekanisma 'saling penembusan fasa' berlaku di kawasan antaramuka seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.1.2.1(b). 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.



Rajah 3.1.2.1(b): Mekanisma Penembusan Fasa (Stuart 1990)

Analisis Morfologi

Adunan UPR/LNR

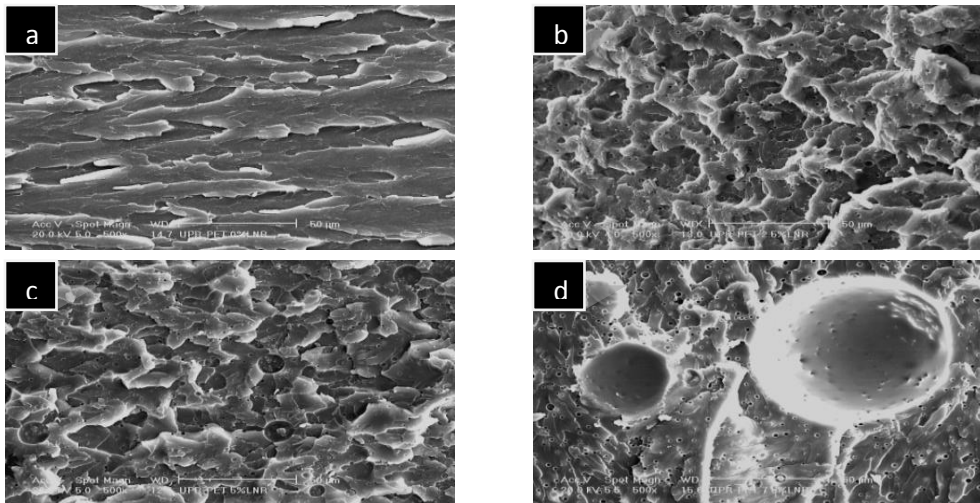
Mikroskop Imbasan Elektron (SEM) telah digunakan untuk mengkaji struktur sampel matrik resin dan sampel adunan UPR/LNR bagi mendedahkan kewujudan sistem dua fasa yang terhasil selepas modifikasi resin dengan getah. Hal ini kerana berdasarkan kajian lepas oleh Benny et al 2003 telah menyatakan bahawa 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 3.2.1(a) menunjukkan mikrograf SEM bagi sampel matrik UPR tanpa penambahan LNR. Struktur permukaan yang rapuh pada mikrograf tersebut dapat ditunjukkan dengan bentuk permukaan

pada bahagian patahan yang agak rata (Raju et al. 2007). Mikrograf juga menunjukkan kehadiran sistem satu fasa sahaja pada permukaan sampel matrik UPR.

Mikrograf SEM yang mewakili sampel adunan dengan penambahan 2.5% LNR ke dalam UPR ditunjukkan dalam Rajah 3.2.1(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. Struktur permukaan patahan bagi sampel ini agak kasar terutama pada bahagian sekeliling partikel getah dan terdapat juga ruang sfera kosong yang hadir akibat penarikan partikel getah keluar semasa mekanisma pemutusan sampel adunan. Hal ini menunjukkan bahawa wujudnya lekatan antara muka yang kuat di antara matrik resin dan LNR dalam komposisi ini.

Penambahan LNR melebihi komposisi 2.5% (wt) telah menyebabkan penurunan pada sifat mekanik adunan UPR/LNR. Faktor penyebab kepada penurunan tersebut dapat ditunjukkan oleh Rajah 3.2.1(c) dan 3.2.1(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 yang mana 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 di mana strukturnya lebih rata kerana wujudnya interaksi yang lemah di antara getah dan resin matrik dalam adunan tersebut.



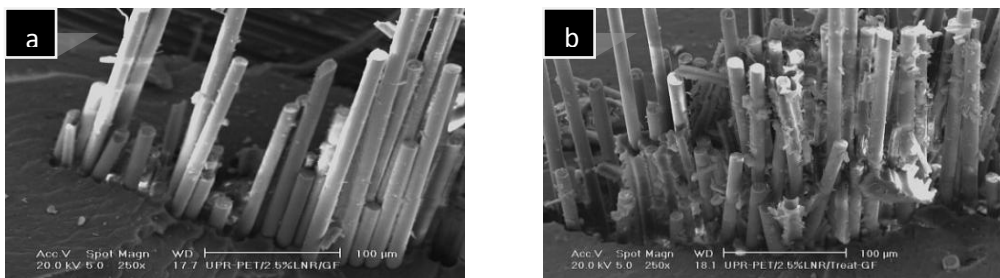
Rajah 3.2.1 Mikrograf SEM pembesaran 500x bagi sampel: (a) 100% UPR, (b) 2.5%LNR/97.5% UPR, (c) 5.0%LNR/95% UPR, dan (d) 7.5%LNR/92.5% UPR.

Komposit UPR/LNR/Gentian Kaca

Rajah 3.2.2(a) dan (b) masing-masing menunjukkan mikrograf SEM bagi hasil analisis morfologi ke atas sampel komposit UPR/LNR/gentian kaca tidak terawat dan komposit menggunakan gentian kaca terawat silana dibawah pembesaran 200x.

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 penyahikatan gentian dari matrik (Ashida & Guo 1993).

Morfologi yang berbeza dapat dilihat pada mikrograf SEM bagi sampel komposit UPR/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).



Rajah 3.2.2 Mikrograf SEM pembesaran 200x bagi sampel: (a) UPR/LNR/gentian kaca tak rawat dan (b) UPR/LNR/gentian kaca terawat

KESIMPULAN

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

- Ashida, M., & Guo, W. 1993. The mechanical properties short fibre. Styrenic block copolymer composites. *Journal Of Applied Polymer Science*. **37**:2645-2659.
- Benny Cherian, A. and Eby Thomas Tachil. 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.
- Dayang Ratnasari Abu Bakar. 2006. Synthesis and characterization of unsaturated polyester resin from poly(ethylene terephthalate)(PET) waste for the preparation of kenaf reinforced polyester composites. Thesis. UKM.
- Fareed Mahdi 2007. Physiochemical properties of polymer mortar composites using resins derived from post-consumer PET bottles. *Cement & Concrete Composites*, **29**, 241–248.
- George, J & Thomas, S. 1997. Short fiber-reinforced plastic composite. Dlm. (pynt). Nicholas, P. *Handbook og Engineering Polymeric Materials*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Huang, Y., Anthony, J. K., Bertsch, R.J., and Siebert, A. R. 1993. Particle-Matrix Interfacial Bonding.(Effect on the Fracture Properties of Rubber-Modified Epoxy Polymers). Rubber-Toughened Plastics.
- 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 Hygrothermal 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. and Russo, P. 1999. A novel compatibilizer for the toughening of unsaturated polyester resins. *Journal of Materials Science* **34**: 1037-1044
- Raju Thomas, Sebastien Durix, Christophe Sinturel, Tolib Omonov , Sara Goossens, Gabriel Groeninckx, Paula Moldenaers and Sabu Thomas. 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., and Pascault, J-P. 1993. Additive Effects on the Toughening of Unsaturated Polyester Resins. Rubber Toughened Plastics.