

## Kesan Modifikasi Sekam Padi dengan Getah Asli Cecair dan Dedahan Kepada Alur Elektron ke Atas Sifat Mekanik Komposit NR/HDPE/Sekam Padi

(Effects of Rice Husk Modification with Liquid Natural Rubber and Exposure to Electron Beam Radiation on the Mechanical Properties of NR/HDPE/Rice Husk Composites)

CHONG EE LANE, ISHAK AHMAD, DAHLAN HJ. MOHD &  
IBRAHIM ABDULLAH\*

### ABSTRAK

Serbuk sekam padi (SP) merupakan serabut semula jadi yang boleh bertindak sebagai pengisi penguat dalam adunan getah asli termoplastik (TPNR) NR/HDPE selepas permukaan serbuk dimodifikasikan sewajarnya. Rawatan serbuk SP merangkumi pra-rawatan dengan 5% larutan natrium hidroksida (NaOH), rendaman dalam larutan getah asli cecair (LNR) dan dedahan SP tersalut LNR kepada sinaran electron (EB). Komposit TPNR/SP disediakan secara pengadunan leburan dalam pengadun dalaman pada keadaan yang telah ditentupastikan terlebih dahulu. Morfologi komposit yang dianalisis menggunakan mikroskop elektron imbasan (SEM), menunjukkan taburan zarah pengisi SP termodifikasi adalah homogen dan kewujudan interaksi matriks-zarah. Komposit terisi SP terubahsuai LNR-EB menunjukkan perubahan sifat mekanik yang ketara. Nilai maksimum tegasan dan kekuatan impak adalah masing masing 6.7 MPa dan 13.2 kJ/cm<sup>2</sup> pada dedahan 20 kGy dos EB, manakala modulus regangan adalah 79 MPa pada dos 30 kGy. Ini menunjukkan terdapat peningkatan interaksi berkesan antara-muka SP dan TPNR bagi SP terwat LNR pada dos 20-30kGy EB. Peningkatan dos EB pada SP tersalut LNR menyebabkan degradasi salutan NR dan meningkatkan interaksi antara zarah SP. Pengaglomerasian zarah SP akan berlaku dan menyebabkan serakan zarah dalam komposit menjadi tidak homogen.

*Kata kunci:* Getah asli termoplastik; sekam padi; sinaran alur elektron

### ABSTRACT

Rice husk (RH) powder is a natural fibre capable of reinforcing natural rubber thermoplastic (TPNR) NR/HDPE composites on specific modification of the particle surface. In this study the modification of RH powder involved pre-treatment with 5% sodium hydroxide (NaOH) solution, soaking in LNR solution and exposure of LNR coated RH to electron beam (EB) irradiation. Preparation of NR/HDPE/RH composites was via melt-mixing in an internal mixer at predetermined conditions. Morphology study of the composites using scanning electron microscope (SEM) showed a homogeneous distribution of modified RH particles and particle-matrix interaction in the composite. Modified RH filled composites exhibited a significant change in mechanical properties. The maximum stress and impact strength were 6.7 MPa and 13.2 kJ/m<sup>2</sup>, respectively at 20 kGy radiation, while the tensile modulus was 79 MPa at 30 kGy dose. The interfacial RH-TPNR interaction for the LNR-EB treated RH particles had improved in the EB dosage range of 20-30 kGy. However, over exposure to radiation caused degradation of rubber coat and interaction between particles to increase. Agglomeration of filler particles would occur and caused inhomogeneous distribution of filler in the composite.

*Keywords:* Electron beam irradiation; rice husk; thermoplastic natural rubber

### PENDAHULUAN

Kajian terhadap komposit termoplastik dan serabut semula jadi telah berkembang dengan ketara sejak beberapa dekad lalu. Ini disebabkan bahan komposit mempunyai sifat mekanik dan fizik yang boleh diubahsuai mengikut keperluan pasaran. Kebanyakan pengisi semula jadi yang digunakan dalam komposit terdiri daripada bahan buangan industri pertanian seperti sabut kelapa, sekam padi, serbuk gergaji, sabut tandan sawit dan sebagainya (Colom et al. 2003; Ishak et al. 1998; Ndazi et al. 2007; Prasad et al. 1998). Sekam padi dipilih dalam kajian ini disebabkan bahan ini merupakan bahan biojisim yang banyak dihasilkan di Malaysia (Siti & Yusof 2003).

Tambahan pula, penggunaan serabut lignoselulosa mempunyai banyak kelebihan jika dibandingkan dengan pengisi sintetik seperti sifat kekakuan yang tinggi, nisbah aspek serabut yang boleh diubahsuai, ketumpatan yang rendah, terbiodegradasi dan kos yang rendah (Wambua et al. 2003; Wong et al. 2004).

Sifat semula jadi serabut yang hidrofilik, bagaimanapun menjadi satu halangan yang perlu diatasi bagi meningkatkan pelekatan antara pengisi serabut dengan matriks. Kesan daripada interaksi antaramuka yang lemah antara dua komponen boleh menyebabkan sifat mekanik komposit menurun (Tserki et al. 2005). Terdapat pelbagai kajian telah dilakukan untuk meningkatkan interaksi serabut-matriks

dengan sama ada mengubah struktur permukaan serabut ataupun menambah agen pengserasi semasa pengadunan. Antaranya adalah rawatan alkali, pengasetilan, penambahan ko-polimer malik-anhidrida polipropalena (MAH-PP) dan sebagainya (Bessadok et al. 2007; Cao et al. 2006; Ishak & Lau 2006; Mwaikambo & Ansell 2002). Rawatan alkali menggunakan natrium hidroksida (NaOH) merupakan rawatan kimia paling murah, ringkas dan berkesan untuk modifikasi permukaan serabut. Larutan NaOH dapat menyingkirkan lapisan lignin yang menyelaputi permukaan serabut dan membolehkan interaksi mekanik antara serabut-matriks. Kebanyakan kajian menunjukkan peningkatan sifat mekanik dengan menggunakan rawatan NaOH (Qin et al. 2008; Rout et al. 2001).

LNR banyak dilaporkan sebagai agen pengserasi dalam adunan termoplastik yang dapat meningkatkan sifat mekanik adunan termoplastik dan getah asli dengan menurunkan tegangan permukaan dua komponen (Dahlan et al. 2000; Ishak et al. 2005b; Sahrim et al. 1994). Dahlan et al. 002) dan Azizan et al. 2005) juga pernah melaporkan bahawa LNR dapat memulakan interaksi taut-silang apabila sinaran EB dikenakan dan meningkatkan sifat mekanik adunan termoplastik. Zsigmond et al. (2003), menyatakan rawatan sinaran alur elektron dapat menjanakan bukan sahaja pusat aktif radikal bebas pada matriks oligomer tetapi juga pada permukaan serabut yang dapat membentuk ikatan kimia.

Dalam kertas ini kajian rawatan permukaan SP dengan LNR dan dedahan kepada sinaran EB untuk pengisi adunan NR/HDPE dilaporkan. Kesan rawatan pengisi SP keatas sifat mekanik dan morfologi adunan komposit berpengisi 10 % dihuraikan berdasarkan dos radiasi pada SP.

#### KAEDAH

Getah asli (NR) gred SMR-L dibekalkan oleh Lembaga Getah Malaysia, polietilena berketumpatan tinggi (HDPE) (jenis HF 81014C) berketumpatan 0.94 g/cm<sup>3</sup> dibekalkan oleh Titan Chemicals, Malaysia dan sekam padi (SP) didapati dari Bernas, Tanjung Karang Malaysia. LNR disediakan dalam makmal melalui tindak balas pengoksidaan fotokimia NR (Ibrahim & Zakaria 1989). Natrium hidroksida (NaOH) dibekalkan oleh System Chemical Co., Sepanyol.

Sekam padi dikisar dan diayak dengan menggunakan pengayak (Retsch Test Sieve, model ZM200) pada julat saiz 45-150 µm. Kemudian, serbuk SP direndam dalam larutan 5% NaOH selama sejam pada suhu bilik dan dikeringkan dalam ketuhar pada suhu 60°C selama 24 jam sebelum direndam dalam larutan 10% LNR selama 30 min pada suhu bilik. Bikar yang mengandungi SP dan LNR dimasukkan dalam mesin ultrasonik untuk agitasi selama 30 min lagi.

Serbuk SP terawat ditapis dan dikeringkan dalam ketuhar vakum pada suhu 60°C selama 24 jam. Serbuk sekam padi yang telah disaluti dengan LNR didedahkan kepada sinaran alur electron (EB) menggunakan mesin alur elektron, model EPS 3000 daripada Nissin High Voltage,

Japan. Julat dos EB adalah 0 hingga 50 kGy. Parameter sinaran yang digunakan adalah voltan penyinaran 2 MeV dan 10 kGy setiap laluan dengan arus alur sebanyak 1 mA pada kelajuan 0.96 m/min.

Penyediaan komposit TPNR diperkuat serbuk SP dimulakan dengan pengadunan TPNR (60/40) dengan menggunakan mesin pencampur dalaman (Brabender PL 2000). Parameter pengadunan TPNR adalah suhu 135°C selama 10 min pada kadar pengacauan 50 rpm. Adunan TPNR disejukan dan dikisar kepada partikel kecil dengan menggunakan pengisar (Refec Granular, model PH300SS). TPNR diadun dengan serbuk SP dalam mesin pencampur dalaman yang sama pada suhu 135°C selama 13 min pada kelajuan 45 rpm. Komposisi SP yang ditambahkan adalah 10% (Suzeren & Ibrahim 2006) mengikut berat adunan. Hasil adunan diacuankan dengan menggunakan mesin penekan panas jenis hidraulik kepada ketebalan 1 mm dan 3 mm untuk penilaian dan pencirian sampel.

Ujian regangan dilakukan dengan mesin ujian universal model Instron 5566 mengikut standard ASTM D412 pada kelajuan tarikan 50 mm/min. Kepingan sampel dengan ketebalan 1 mm dipotong kepada bentuk "Dumbbell" untuk ujian regangan. Ujian hentaman dilakukan mengikut standard ASTM D256 pada sampel berdimensi 65×12×3 mm<sup>3</sup> dengan menggunakan mesin bandul Izod Universal Fructoscope (CEAST 6545/000) dan pada bebanan 2 J. Morfologi dikaji dengan menggunakan mikroskop imbasan electron (SEM) jenis VPSEM LEO 1450. Sampel yang digunakan adalah permukaan patah sampel selepas ujian regangan. Permukaan sampel diselaputi dengan emas setebal 0.01 µm hingga 0.1 µm dalam kebuk penyalutan (Sputter model SC 500) sebelum pemeriksaan morfologi dijalankan.

#### KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Jadual 1 menunjukkan sifat mekanik (tegasan maksimum, modulus regangan dan kekuatan hentaman) bahan pada komposisi 10% SP dalam adunan NR/HDPE dengan pengisi SP tersalut LNR dan terdedah EB pada dos 10-50 kGy. Didapati tegasan maksimum pada awalnya iaitu terisi SP tanpa rawatan bernilai 5.2 MPa dan nilai ini meningkat ke 5.9 MPa apabila SP dirawat dengan 5% NaOH (Cao et al. 2006). Ini menunjukkan rawatan alkali dapat memperkuatkan pembasahan serabut oleh resin matriks dan menyebabkan peningkatan dalam pengikatan antaramuka dengan menambahkan keluasan pengikatan secara mekanik (Marcovich et al. 2001). Manakala komposit yang terisi dengan SP (terawat dan diselaputi LNR) mencapai nilai tertinggi tegasan pada dos radiasi 20 kGy iaitu 6.5 MPa, iaitu peningkat sebanyak 1.3 MPa dibandingkan dengan komposit terisi SP tanpa rawatan (Rajah 1). Keputusan menunjukkan fasa LNR yang terlekat pada permukaan SP dapat bertindak sebagai agen pengserasi kepada sistem matriks yang menggalakkan pelekatan serabut dengan matriks. Kekuatan regangan kebanyakan komposit berpengisi, pernah dilaporkan, dapat ditingkatkan dengan menggunakan agen pelekatan

atau pengserasi antaramuka serabut-matriks (Nielsen & Landel 1994).

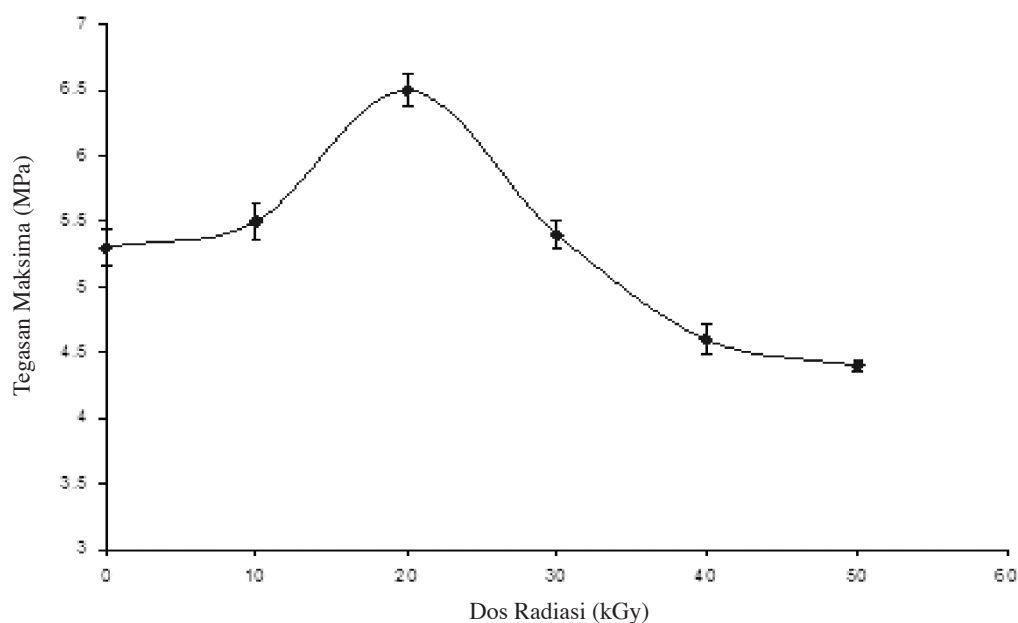
Peningkatan kekuatan regangan pada komposit berpengisi menunjukkan bahawa tegasan dapat dipindahkan daripada fasa matriks kepada partikel serabut dengan berkesan. Akan tetapi, sifat tegasan maksimum menurun semula apabila komposit terisi dengan SP (terawat dan diselaputi LNR) pada dos radiasi yang lebih tinggi (50 kGy). Ini disebabkan gumpalan zarah SP mungkin telah berlaku akibat daripada pendegradasian lapisan LNR yang mengaruhkan pelekatan antara zarah.

Perubahan modulus regangan pula ditunjukkan pada Rajah 2. Modulus regangan meningkat mendadak dengan peningkatan dos sinaran radiasi pada SP terawat LNR. Nilai modulus meningkat mencapai maksimum, 79 MPa pada dos radiasi 30 kGy. Pertambahan dos ke

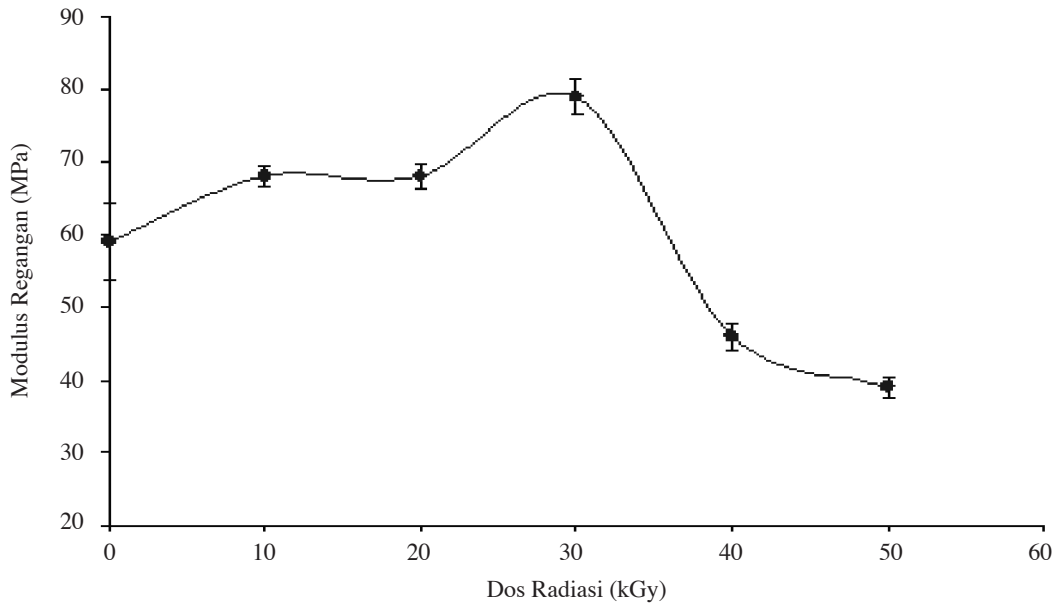
50 kGy menyebabkan modulus menurun kepada 39 MPa. Komposit dengan SP tanpa rawatan dan terawat 5% NaOH menunjukkan nilai modulus yang hampir sama iaitu masing-masing 67 dan 68 MPa. Pada keadaan ini, kesan rawatan adalah tidak ketara. Secara amnya, serabut yang dapat menyumbang kepada sifat kekakuan yang tinggi daripada matriks dapat meningkatkan sifat modulus komposit. Peningkatan sifat modulus regangan dijangka berlaku apabila serabut yang mempunyai sifat kekakuan tinggi dapat berinteraksi dengan berkesan dalam sistem matriks. Sekiranya sifat pelekatan antara serabut dengan matriks adalah kuat, maka takat putus pemanjangan akan menurun walaupun pada bebanan serabut yang rendah dapat dijangkakan. Sebaliknya, jika sifat pelekatan antara serabut dengan matriks adalah rendah, nilai takat putus pemanjangan akan menurun dengan ketara (Marcovich

JADUAL 1. Sifat mekanik (tegasan maksimum, modulus regangan dan kekuatan hentaman) komposit dengan komposisi 10% SP dalam adunan NR/HDPE dengan SP tersalut LNR dan terdedah sinar alur elektron pada dos 10-50 kGy

Perawatan sekam padi	Tegasan maksimum (MPa)	Modulus regangan (MPa)	Kekuatan hentaman (kJ/m <sup>2</sup> )
Tanpa rawatan	5.2	67.0	10.9
Terawat NaOH	5.9	68.0	10.3
NaOH dan LNR	5.3	59.0	6.2
NaOH dan LNR dengan EB (10kGy)	5.5	68.0	10.4
NaOH dan LNR dengan EB (20kGy)	6.5	68.0	13.1
NaOH dan LNR dengan EB (30kGy)	5.4	79.0	11.2
NaOH dan LNR dengan EB (40kGy)	4.6	46.0	9.8
NaOH dan LNR dengan EB (50kGy)	4.4	39.0	5.4



RAJAH 1. Kesan dos radiasi EB keatas tegasan maksimum komposit NR/HDPE/SP terawat

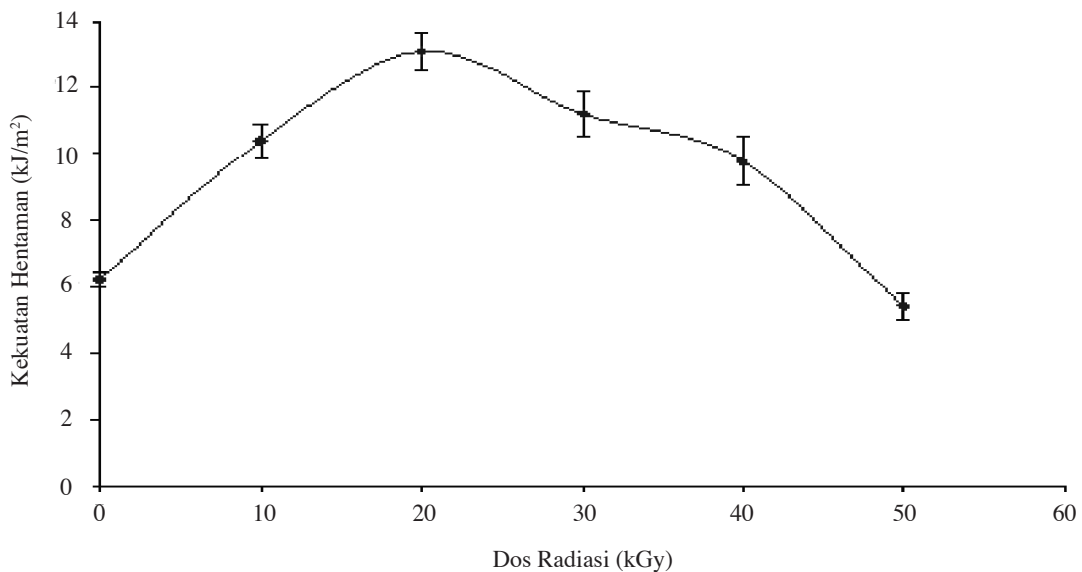


RAJAH 2. Kesan dos radiasi EB keatas modulus regangan komposit berkomposisi 10% SP tersalut LNR

et al. 2001; Nielsen & Landel 1994). Peningkatan sifat pelekatan antara serabut-matriks melalui modifikasi dan rawatan dapat membantu menggalakkan pemindahan tegasan. Ishak dan Lau (2006) juga pernah melaporkan bahawa komposit dengan 10 % serabut bersama grafkopol (etilena/malik anhidrida) (PE-g-MA) mempunyai sifat regangan yang lebih tinggi daripada komposit berpengisi serabut tanpa rawatan.

Rajah 3 menunjukkan kesan dos radiasi EB ke atas kekuatan hentaman 10% SP terawat pada dos radiasi yang berlainan. Secara puratanya, nilai hentaman adalah pada 10 kJ/m kecuali komposit terisi SP tersalut LNR tanpa radiasi (6.2 kJ/m<sup>2</sup>) dan SP tersalut LNR dengan dos radiasi 50

kGy (5.4 kJ/m<sup>2</sup>). SP tersalut LNR dan terdedah sinaran EB menunjukkan peningkatan kekuatan hentaman yang ketara sehingga mencapai nilai optimum pada 13.1 kJ/m<sup>2</sup> (20 kGy). Ini menunjukkan terdapat interaksi serabut-matriks yang berkesan bagi SP terawat LNR dan EB. Peningkatan sifat pelekatan antaramuka menyebabkan proses deformasi dan daya ricihan tidak dapat berlaku dengan mudah atau menyebabkan komposit menyerap tenaga yang lebih banyak untuk mencapai takat defomasi (Ishak & Lau 2006). Tenaga hentaman perlu tersebar keseluruhan matriks dan pemindahan tegasan bergantung kepada kekuatan interaksi antara serabut dengan matriks (Ishak et al. 2005b). Jika interaksi serabut-matriks tinggi pemindahan tenaga



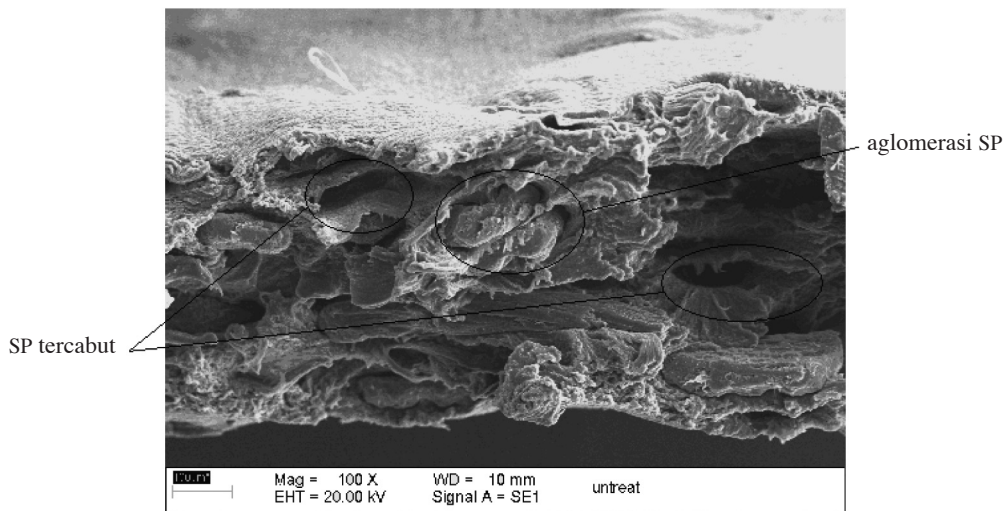
RAJAH 3. Kesan radiasi EB keatas kekuatan hentaman komposisi 10% SP terawat

dalam komposit adalah berkesan dan kekuatan hentaman komposit akan meningkat (Ishak et al. 2005a).

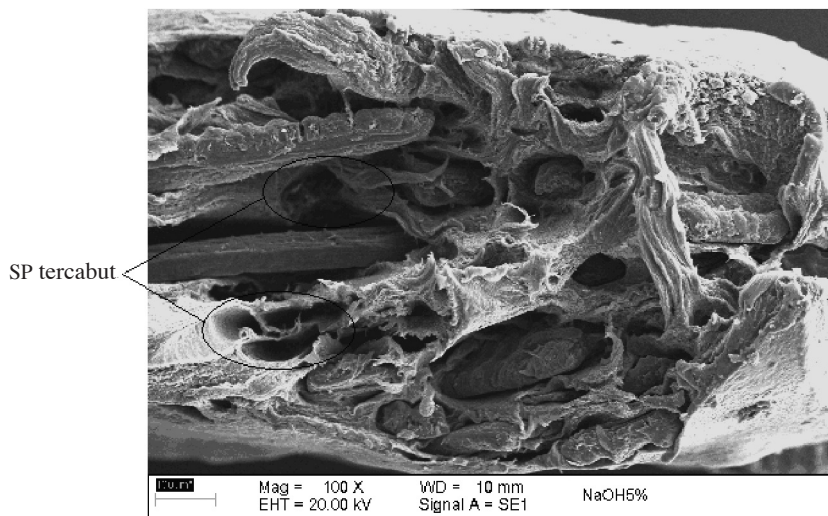
Rajah 4 menunjukkan mikrograf SEM adunan NR/HDPE/SP (10%) tanpa rawatan dengan pembesaran 100 kali ganda. Mikrograf yang diperhatikan terdiri daripada dua bahagian yang jelas iaitu matriks cerah dan SP gelap. Komposit SP tanpa rawatan menunjukkan taburan pengisi yang tidak sekata di seluruh sistem serta pembentukan aglomerasi. Permukaan rekahan menunjukkan banyak mikroruang selepas sampel komposit dipatah yang menunjukkan kesan penarikan keluar pengisi daripada matriks apabila tegasan dikenakan. Ini disebabkan masalah ketidakserasian antara pengisi dan matriks yang menyebabkan kekuatan interaksi yang lemah. Komposit dengan itu menunjukkan sifat mekanik yang rendah.

Rajah 5 menunjukkan mikrograf SEM adunan NR/HDPE/SP (10%) terawat 5% NaOH dengan pembesaran

100 kali ganda. Dapat diperhatikan SP terawat 5% NaOH memberikan serakan yang lebih seragam. Akan tetapi, masih terdapat banyak mikroruang yang menunjukkan SP tercabut semasa regangan. Keputusan ini adalah selari dengan perubahan sifat tegasan yang menunjukkan hanya terdapat peningkatan sebanyak 0.7 MPa (13%) sahaja (Jadual 1). Rawatan NaOH dapat memperbaiki interaksi antara pengisi dengan matriks walaupun sedikit. Ini disebabkan larutan NaOH dapat menyingkirkan sebahagian bahan tak tulen pada permukaan SP atau lapisan penghalang hidrofilik dengan menghasilkan permukaan yang kasar supaya dapat berikat dengan fasa matriks (Mwaikambo & Ansell 2002). Joseph dan Thomas (1996) juga melaporkan bahawa rawatan NaOH bukan sahaja dapat menyediakan permukaan serabut yang kasar malah juga dapat meningkatkan nisbah aspek dengan menyediakan luas permukaan yang lebih tinggi untuk berinteraksi dengan matriks.



RAJAH 4. Mikrograf SEM adunan NR/HDPE/SP (10%) tanpa rawatan



RAJAH 5. Mikrograf SEM komposit NR/HDPE/SP (10%) terawat 5% NaOH

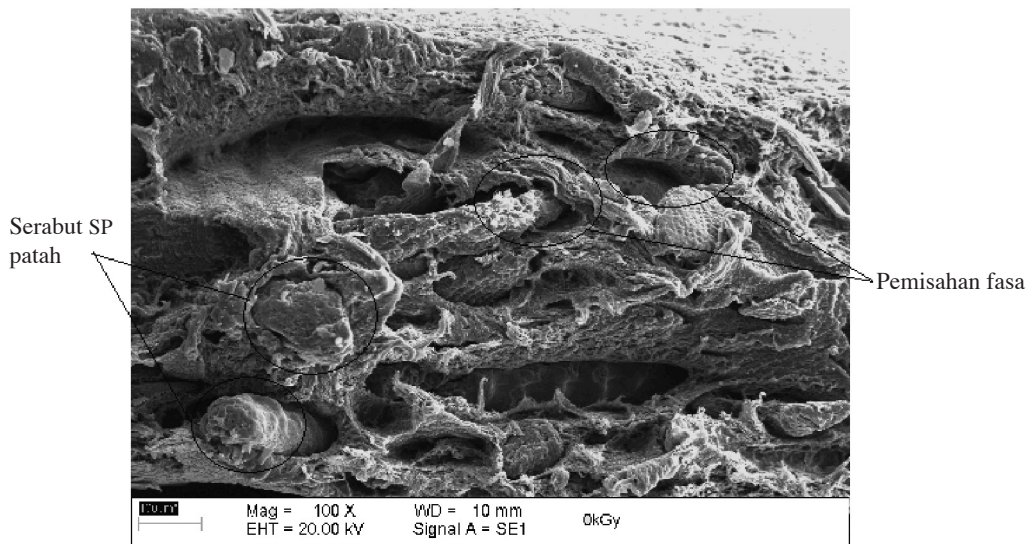


Rajah 6 menunjukkan mikrograf SEM komposit NR/HDPE/SP (10%) tersalut LNR. Dapat diperhatikan bahawa patahan serabut terjadi apabila tegasan dikenakan pada sampel. Ini menunjukkan serabut dapat melekat pada matriks dengan berkesan. Bagaimanapun terdapat terdapat mikroruang terbentuk yang menunjukkan kekuatan pelekatan serabut dengan matriks adalah tidak begitu kuat. Selain itu terdapat tumpukan, yang dipercayai adalah getah, terbentuk pada permukaan SP. Akibatnya zarah SP lebih cenderung berinteraksi sesama sendiri daripada terikat kepada fasa matriks.

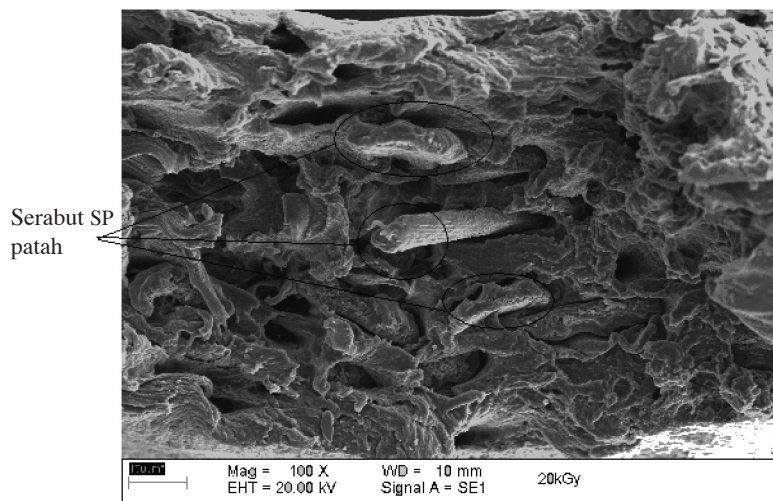
Rajah 7 menunjukkan mikrograf SEM adunan NR/HDPE/SP (10%) terawat LNR dan EB pada dos 20 kGy. Komposit dengan SP terawat LNR dan EB pada dos 20 kGy tidak menunjukkan kesan aglomerasi pengisi pada pembebanan 10 % SP. Komposit yang dihasilkan adalah lebih homogen dibandingkan dengan SP terawat LNR tanpa

radiasi. Kesan serabut sekam padi yang tercabut keluar juga tidak kelihatan menunjukkan perawatan LNR dan diikuti dedahan kepada EB meningkatkan interaksi pengisi-matriks. Terdapat patahan serabut pada mikrograf SEM, di mana interaksi antara pengisi-matriks adalah sangat kuat sehingga boleh memegang serabut dengan kukuh apabila tegasan yang kuat dikenakan semasa ujian regangan. LNR yang tersalut pada permukaan SP dapat bertindak sebagai agen pengserasi antara zarah serabut dengan matriks. Ini disebabkan sinaran bim elektron boleh menggalakkan tindak balas taut-silang antara rantai poliisoprena dan antara rangkaian isoprena dan selulosa dipermukaan SP. Dengan itu getah di permukaan SP dapat bertindak sebagai satu jambatan perhubungan antara zarah SP dengan fasa matriks.

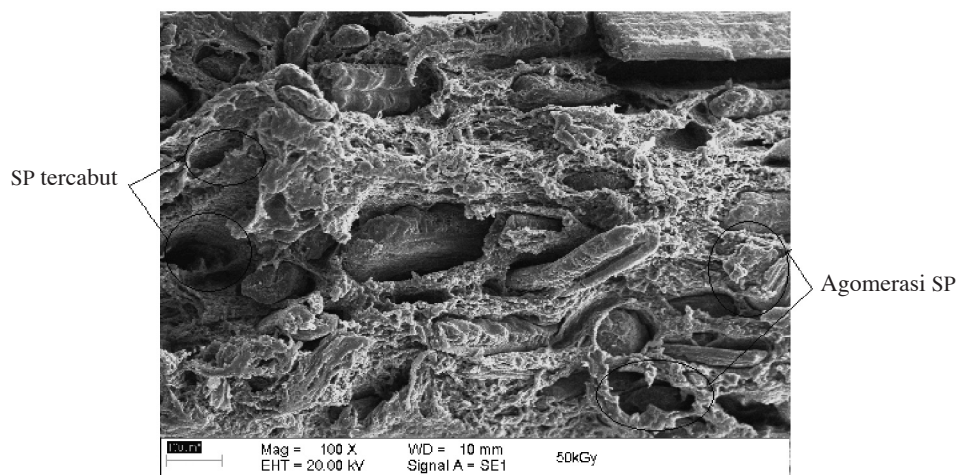
Rajah 8 menunjukkan mikrograf SEM adunan NR/HDPE/SP (10%) terawat LNR dan EB pada dos 50 kGy.



RAJAH 6. Mikrograf SEM komposit NR/HDPE/SP (10%) terawat LNR



RAJAH 7. Mikrograf SEM adunan NR/HDPE/SP (10%) terawat LNR dan terdedah kepada EB pada dos 20 kGy



RAJAH 8. Mikrograf SEM adunan NR/HDPE/SP (10%) terawat LNR dan EB pada dos 50 kGy

Mikrograf SEM menunjukkan tahap pelekatan antaramuka SP dengan matriks adalah rendah bagi komposit dengan SP terawat LNR dan EB pada dos 50 kGy. Ini dapat disimpulkan bahawa ketiadaan atau kekurangan pergabungan fizikal atau kimia antara kedua-dua komponen. Taburan SP dalam komposit adalah tidak seragam dan pembentukan aglomerasi antara pengisi-pengisi berlaku. Selain itu, pengisi adalah lebih mudah tercabut keluar daripada sistem matriks. Dapat juga diperhatikan bahawa satu lapisan gumpalan getah terbentuk pada permukaan SP dan gumpalan ini tidak terikat dengan fasa matriks. Gumpalan getah mungkin pada awalnya sudah terbentuk semasa rawatan. Apabila lapisan nipis LNR yang tersalut pada permukaan SP dikenakan dos radiasi yang terlampau tinggi, proses degradasi berlaku dan menyebabkan pemutusan ikatan selulosa-poliisoprena. Gumpalan getah akan terbentuk dipermukaan SP (Vijayabaskar et al. 2004). Maka, LNR yang tersalut pada permukaan SP tidak lagi dapat bertindak sebagai agen pengserasi untuk pengikatan pengisi-matriks.

#### KESIMPULAN

Komposit daripada NR/HDPE/SP dengan pelbagai kaedah rawatan SP telah berjaya disediakan. Keadaan rawatan yang paling sesuai adalah rendaman dalam 5% larutan NaOH dan 10% LNR, dan dedahan 20-30 kGy dos alur electron. LNR membentuk selaput di permukaan zarah sekam padi dan bertindak sebagai lapisan pengserasi antara-muka pengisi matriks. Lapisan getah yang tebal dan dedahan lebih kepada EB menghasilkan gumpalan getah di permukaan SP yang menggalakan pengumpulan zarah pengisi dan kehomogenan taburan yang rendah. Rawatan dengan NaOH menghasilkan zarah SP yang kurus dan rapuh. Penyalutan dengan LNR memperkuat zarah SP atau meningkat kekuatan hentaman. Dedahan kepada EB menyebabkan getah mendegradasi dan membentuk taut-silang antara rantai poliisoprena dan antara rantai

poliisoprena dengan selulosa dipermukaan zarah. Dedahan dos yang berlebihan membawa kepada degradasi menjadi dominan menghasilkan tumpukan getah dipermukaan SP. Lapisan LNR yang tebal mengarah kepada peningkatan interaksi zarah-zarah dan aglomerasi pengisi.

#### PENGHARGAAN

Penulis merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada Kementerian Sains Teknologi dan Inovasi dan Universiti Kebangsaan Malaysia di atas pemberian geran penyelidikan IRPA: 06-01-02-0077SF dan Agensi Nuklear Malaysia di atas penggunaan alat sinaran alur electron. Kejayaan projek ini juga hasil kerjasama dengan para penyelidik dalam kumpulan Polymer Research Centre (PORCE).

#### RUJUKAN

- Azizan, A., Dahlan, H.M. & Ibrahim, A. 2005. Electron beam cross-linking of NR/LLDPE blends. *Iranian Polymer Journal* 14: 505-510.
- Bessadok, A., Marais, S., Gouanve, F., Colasse, L., Zimmerlin, I., Roudesli, S. & Metayer, M. 2007. Effect of chemical treatment of Alfa (*Stipa tenacissima*) fibres on water-sorption properties. *Composites Science and Technology* 67: 685-697.
- Cao, Y., Shibata, S. & Fukumoto, I. 2006. Mechanical properties of biodegradable composites reinforced with bagasse fibre before and after alkali treatments. *Composites Part A* 37: 423-429.
- Colom, X., Carrasco, F., Pages, P. & Canarate, J. 2003. Effects of different treatment on the interface of HDPE/lignocellulosic fiber composites. *Composite Science and Technology* 63: 161-169.
- Dahlan, H.D., Khairul Zaman, M.D. & Ibrahim, A. 2002. Liquid natural rubber (LNR) as a compatibiliser in NR/LLDPE blends -II: the effect of electron-beam (EB) irradiation. *Radiation Physics and Chemistry* 64: 429-436.
- Dahlan, H.M., Khairul Zaman, M.D. & Ibrahim, A. 2000. Liquid natural rubber (LNR) as compatibilizer in NR/LLDPE blends. *Journal of Applied Polymer Science* 78: 1776-1782.

- Ibrahim, A. & Zakaria, Z. 1989. Pendepolimeran fotokimia getah asli. *Sains Malaysiana* 18: 99-109.
- Ishak, A. & Lau, P.F. 2006. Effect of PE-g-MA-compatibilizer on the morphology and mechanical properties of 70/30 HDPE/ENR blends. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 45: 735-739.
- Ishak, A., Din, N.A., Mohamad, A., Aziz, A.A. & Abdullah, A. 2005a. Penambahan gentian aramid (twaron) dalam adunan NR/LLDPE dan ENR/LLDPE terhadap sifat mekanik komposit. *Sains Malaysiana* 34: 57-61.
- Ishak, A., Norliza, A.L. & Ibrahim, A. 2005b. Effect of clay and LNR on mechanical properties and morphology of NR/HDPE-Aramid Composites. *Polymer Journal* 37: 866-869.
- Ishak, Z.A.M., Aminullah, A., Ismail, H. & Rozman, H.D. 1998. Effect of silane based coupling agents and acrylic acid based compatibilizers on mechanical properties of oil palm empty fruit bunch fiber filled high-density polyethylene composites. *Journal of Applied Polymer Science* 68: 2189-2203.
- Joseph, K., Thomas, S. & Pavithran, C. 1996. Effect of chemical treatment on the tensile properties of short sisal fibre-reinforced polyethylene composites. *Polymer* 37: 5139-5149.
- Marcovich, N.E., Aranguren, M.I. & Reboredo, M.M. 2001. Modified woodflour as thermoset fillers Part I. Effect of the chemical modification and percentage of filler on the mechanical properties. *Polymer* 42: 815-825.
- Mwaikambo, L.Y. & Ansell, M.P. 2002. Chemical modification of hemp, sisal, jute and kapok fibers by alkalization. *Journal of Applied Polymer Science* 84: 2222-2234.
- Ndazi, B.S., Karlsson, S., Tesha, J.V. & Nyahumwa, C.W. 2007. Chemical and physical modifications of rice husks for use as composite panels. *Composites Part A* 38: 925-935.
- Nielsen, L.E. & Landel, R.F. 1994. *Mechanical Properties of Polymers and Composites*. New York: Marcel Dekker.
- Prasad, P.N., Mark, J.E., Kandil, S.H. & Kafafi, Z.H. 1998. *Science and Technology of Polymers and Advanced Materials*. New York: Plenum Press.
- Qin, C., Soykeabkaew, N., Xiuyuan, N. & Peijs, T. 2008. The effect of fibre volume fraction and mercerization on the properties of all-cellulose composites. *Carbohydrate Polymers* 71: 458-467.
- Rout, J., Misra, M., Tripathy, S.S., Nayak, S.K. & Mohanty, A.K. 2001. The influence of fibre treatment on the performance of coir-polyester composites. *Composites Science and Technology* 61: 1303-1310.
- Sahrim, A., Ibrahim, A., Sulaiman, C.S., Kohjiya, S. & Yoon, J.R. 1994. Natural rubber-HDPE blends with liquid natural rubber as compatibilizer. I. Thermal and mechanical properties. *Journal of Applied Polymer Science* 51: 1357-1363.
- Siti, S.S. & Yusof, A. 2003. Ground rice husk as filler in rubber compounding. *Jurnal Teknologi* 39(A): 135-148.
- Suzeren, M., Ahmad, I. & Ibrahim, A. 2006. Effects of rice husk filler on the mechanical and thermal properties of liquid natural rubber compatibilized high-density polyethylene/natural rubber blends. *Journal of Polymer Research* 13: 315-321.
- Tserki, V., Matzinos, P., Kokkou, S. & Panayiotou, C. 2005. Novel biodegradable composites based on treated lignocellulosic waste flour as filler. Part I. Surface chemical modification and characterization of waste flour. *Composites: Part A* 36: 965-974.
- Vijayabaskar, V., Bhattacharya, S., Tikku, V.K. & Bhowmick, A.K. 2004. Electron beam initiated modification of acrylic elastomer in presence of polyfunctional monomers. *Radiation Physics and Chemistry* 71: 1045-1058.
- Wambua, P., Ivens, J. & Verpoest, I. 2003. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics. *Composites Science and Technology* 63: 1259-1264.
- Wong, S., Shanks, R. & Hodzic, A. 2004. Interfacial improvements in poly(3-hydroxybutyrate)-flax fibre composites with hydrogen bonding additives. *Composite Science and Technology* 64: 1321-1330.
- Zsigmond, B., Halasz, L. & Czvikovszky, T. 2003. Electron beam processing of fibre reinforced braided composites. *Radiation Physics and Chemistry* 67: 441-445.

Chong Ee Lane, Ishak Ahmad & Ibrahim Abdullah\*  
Pusat Pengajian Sains Kimia dan Teknologi Makanan  
Fakulti Sains dan Teknologi  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 Bangi, Selangor D.E. Malaysia

Dahlan Hj. Mohd  
Division Teknologi Pemprosesan Radiasi  
Agensi Nuklear Malaysia  
Bangi, 43000 Kajang  
Malaysia.

\*Pengarang untuk surat-menyurat; email: dia@ukm.my

Diserahkan: 16 Jun 2010  
Diterima: 23 Disember 2010