

## Sifat Mekanikal Saduran Epoksi Mengandungi Abu Buangan Industri

(The Mechanical Properties of Epoxy Coating Containing Industrial Waste Fly Ash)

Nursyahirah Mohd Safie\* & Nor Yuliana Yuhana\*  
Chemical Engineering Programme,  
Research Centre for Sustainable Process Technology (CESPRO),  
Faculty of Engineering and Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi,  
Zakaria Man  
Chemical Engineering Department, Universiti Teknologi PETRONAS  
32610 Seri Iskandar, Perak Darul Ridzuan, Malaysia

### ABSTRACT

*Organic epoxy coating was the primary focus of this study because of its thermosetting characteristics, high durability of adhesion to the substrate, stable structure, chemical resistance and economical cost. However, epoxy coating has several disadvantages in that it is easily cracked, brittle and sensitive to climate change due to its ability to easily absorb water. Humidity can weaken the structure of the coating. To resolve this issue, fly ash is added as reinforcement to the structure of the epoxy. Fly ash is a material that can improve the mechanical strength and durability of a coating. However, the optimum mass of fly ash in the epoxy should be studied carefully to produce an epoxy coating that is strong, stable and that does not easily absorb water. Therefore, this study was performed to synthesize epoxy resin with fly ash as filler, as well as to analyse the impact of fly ash on the properties of the epoxy coating through hardness strength tests. The characteristics of the epoxy resin with fly ash (MFA and OFA) and without fly ash (RE) were analysed by thermogravimetric analysis (TGA), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), and density and particle size analysis. Based on the FTIR analysis, fly ash does not change the structure of the functional groups in the epoxy. For the TGA analysis, the onset of degradation for MFA and OFA started to occur at  $346 \pm 1^\circ\text{C}$ . The addition of 5% fly ash increased the hardness of the epoxy by up to 13% compared to the unmodified epoxy. Epoxy coatings can be improved in terms of their hardness and degradation time by the addition of fly ash as filler.*

*Keywords: Fly ash; epoxy resin; composite*

### ABSTRAK

*Saduran organik seperti epoksi menjadi fokus utama dalam kajian saduran kerana ciri-cirinya yang termoset, tinggi daya tahan perekatan terhadap substrat, stabil dari segi struktur, tahan kimia dan menjimatkan. Namun saduran epoksi mempunyai beberapa kelemahan iaitu ia mudah retak dan rapuh, serta sensitif terhadap perubahan cuaca disebabkan cirinya yang mudah menyerap air malah kelembapan boleh melemahkan struktur saduran. Untuk mengatasi masalah ini, bahan pengisi abu buangan ditambah dalam sistem saduran sebagai penguat kepada struktur epoksi. Abu buangan adalah sejenis bahan buangan yang boleh meningkatkan kekuatan mekanikal dan daya tahan sesuatu saduran. Walau bagaimanapun, peratus pengkompositan optimum abu buangan ke dalam epoksi perlu dikaji dengan teliti untuk menghasilkan satu saduran epoksi yang kuat, stabil dan tidak mudah menyerap air. Oleh itu, kajian ini dilakukan untuk mensintesis resin epoksi dengan abu buangan, serta menganalisa kesan abu buangan terhadap sifat-sifat saduran epoksi. Pencirian terhadap resin epoksi bersama abu buangan (resin terubah suai, MFA dan OFA) dan tidak mengandungi abu buangan (resin terubah suai, RE) dilakukan dengan analisis analisis termogravimetrik (TGA), Fourier Transform Infrared (FTIR), Ujian Ketumpatan dan Analisa Saiz Zarah. Berdasarkan analisa FTIR, penambahan abu buangan tidak mengubah struktur kumpulan berfungsi pada resin epoksi, malahan ujian TGA juga menunjukkan kestabilan haba bagi resin terubah suai di mana suhu penguraian MFA dan OFA adalah pada  $346 \pm 1^\circ\text{C}$ . Penambahan abu buangan 5% menambahkan nilai kekerasan epoksi sehingga 13% berbanding epoksi yang tidak diubah suai. Kehadiran abu buangan dapat meningkatkan sifat-sifat resin epoksi untuk menjadi saduran yang lebih baik.*

*Kata kunci: Abu buangan; resin epoksi; komposit*

### INTRODUCTION

Saduran adalah satu kaedah yang digunakan untuk melindungi keluli daripada kebakaran, calar, cuaca yang buruk dan

kakistan. Ia adalah suatu bahan nipis yang disalut di atas suatu permukaan. Terdapat beberapa jenis bahan saduran antaranya, organik dan bukan organik. Ciri-ciri saduran yang baik adalah tinggi daya tahan lelasan, baik dalam ciri mekanikal, bagus

dalam daya tahan lekat, tahan haba dan tidak menyerap air (He et al. 2013).

Saduran epoksi adalah antara saduran organik yang sering digunakan dalam kerja penyaduran kerana sifatnya yang termoset, tinggi daya tahan lekat terhadap substrat, mempunyai struktur yang stabil, tahan kimia, murah dan selamat terhadap persekitaran (Li et al. 2015). Namun begitu, saduran epoksi ini mempunyai kelemahan iaitu ianya rapuh dan mudah retak (Shi et al. 2009). Terdapat beberapa cara sering digunakan bertujuan bagi memperbaiki ciri-ciri mekanikal dan sifatnya yang menyerap air antaranya pengubahsuaian elastomer, pengubahsuaian termoset, pengubahsuaian termoplastik, gentian tertulang dan penambahan bahan pengisi (Paluvai et al. 2014). Terkini, bahan pengisi yang bertindak sebagai penguat tetulang telah menarik beberapa perhatian kajian. Beberapa kajian telah menunjukkan bahawa dengan jumlah penambahan pengisi yang kecil (< 5 wt.%) dapat memberi kesan positif terhadap ciri fizikal dan sifat kimia saduran tersebut (He et al. 2011).

Antara hasil buangan yang boleh digunakan sebagai bahan pengisi adalah hasil dari kilang minyak kelapa sawit. Hasil sampingan industri dari kilang minyak kelapa sawit (POFA) ini boleh digunakan sebagai pengganti sebahagian untuk simen ke dalam campuran konkrit kerana kandungan pozzolaninya. Oleh kerana kandungan oksida silika tinggi dalam POFA yang memenuhi kriteria sifat pozzolanik, ia berpotensi digunakan sebagai pengganti simen atau sebagai pengisi untuk menghasilkan konkrit yang kuat dan tahan lasak. POFA juga sering digunakan sebagai sumber silika dalam pembuatan komposisi (Ozsoy 2015).

Abu buangan adalah abu yang terdiri daripada bahan bukan organik yang dihasilkan di loji kuasa pembakaran arang batu, dan mempunyai jumlah karbon yang kecil hasil dari pembakaran tidak sempurna. Antara elemen yang terdapat dalam abu buangan adalah 35-60% SiO<sub>2</sub>, 10-30% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan 4-20% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebagai bahan komponen utama dan 1-35% CaO, MgO dan SO<sub>3</sub> sebagai komponen sampingan. Antara kelemahan abu buangan adalah penghasilan abu buangan sebagai sisa buangan yang banyak (Nyale et al. 2013), penggunaan tanah yang luas untuk pelupusan dan kesan buruk pada kawasan sekeliling (Kumar et al. 2007). Pelbagai alternatif sedang dilaksanakan untuk mengguna pakai abu buangan termasuklah menjadikan abu buangan sebagai bahan pengisi dalam menghasilkan komposit berprestasi tinggi.

Terdapat sebilangan penyelidik yang menggunakan abu buangan sebagai pengisi dalam polimer matrik antaranya, poliester (Rohatgi et al. 2009), epoksi (Dharmalingam et al. 2015) dan polypropylene (PP) (Nath et al. 2009; Nath et al. 2010). Kulkarni et al. (2006) melaporkan, semakin tinggi penggunaan abu buangan dalam komposit sistem epoksi, semakin rendah kekuatan tegangan dan kekuatan dampak (Kulkarni et al. 2006). Dalam sistem fiber komposit epoksi, penambahan abu buangan membawa kepada pengurangan ketumpatan, peningkatan modulus bagi komposit dan memberi penyebaran yang baik dalam sistem matrik (Kulkarni 2003). Kesan penambahan abu buangan pada terephthalate polietilena telah dikaji dan mendapati ada pengurangan dalam penguraian terma dan pengecutan.

Keputusan menunjukkan bahawa penggunaan abu buangan membawa kepada peningkatan yang banyak kepada sifat-sifat mekanik dan kestabilan terma bagi komposit.

Zarah abu buangan adalah besar dan ia mempunyai keaktifan yang rendah yang mana ia mengurangkan kadar tindak balas penghidratan abu buangan. Istilah 'pengaktifan mekanikal' merujuk kepada peningkatan kereaktifan abu buangan dengan meningkatkan luas kawasan permukaan dan perubahan fisikokimia pada permukaan melalui pengisaran berkuasa tinggi (Boldyrev 2006). Untuk pengaktifan mekanikal, luas permukaan abu buangan boleh ditingkatkan dengan mengurangkan saiz abu buangan dan menjurus kepada taburan yang seragam dalam polimer matriks (Dharmalingam et al. 2015). Dalam proses ini, saiz abu buangan yang besar dapat dicekikan, pengurangan pada liang partikel, peningkatan dalam graviti tentu dan peningkatan dalam reaktiviti pozolana dalam industri simen (Aydm et al. 2010). Oleh itu, objektif kajian ini adalah mensintesis resin epoksi dengan abu buangan terubah suai (bersaiz kecil) dan abu buangan asal (bersaiz besar) untuk menghasilkan komposit epoksi dan kesan penambahan abu buangan terubah suai dan tidak terubah suai ini dikaji.

## BAHAN DAN KAEDAH

### KIMIA DAN BAHAN

Bahan yang digunakan untuk penyediaan sistem saduran adalah diglisidil bisfenol A (DGEBA) salah satu jenis resin epoksi juga dikenali dengan Epikot 828 (disediakan oleh ASA Chem. Sdn. Bhd). Jenis bahan pematang adalah polieteramina D230 (PEA) atau nama lain adalah Baxxodur EC301 (disediakan oleh ASA Chem. Sdn. Bhd) dan abu buangan (diambil dari loji kuasa di Ipoh Perak) sebagai bahan pengisi. Bahan kimia lain yang digunakan dalam kajian ini ialah aseton dan air suling untuk tujuan pembersihan sampel. Abu buangan dikisar di dalam jar pengisaran tahan karat bersaiz 10mm dengan menggunakan bola keluli sebagai medium pengisar. Proses pengisaran ini dilakukan selama 1 jam pada kelajuan 350 putaran per minit dengan nisbah bola kepada serbuk adalah 4: 1. Pengisar bebola berkuasa tinggi (Pulverisette) digunakan untuk menjalankan proses pengaktifan mekanikal.

### PENYEDIAAN KOMPOSIT

#### RESIN EPOKSI YANG TIDAK TERUBAH SUAI (RE)

Campuran DGEBA dan PEA dikacau menggunakan pengacau elektrik pada suhu 60°C untuk mengurangkan kelikatan resin epoksi selama 1 jam. Kemudian ia akan di masukkan ke dalam acuan dan diawet pada suhu bilik selama 24 jam.

#### RESIN EPOKSI YANG TERUBAH SUAI (MFA, OFA)

Untuk resin epoksi yang terubah suai ini, 5 sampel yang mengandungi 1% hingga 5% abu buangan bersaiz 14.95 µm dan 6.77 µm (saiz selepas abu buangan dikisar) disediakan.

1% hingga 5% abu buangan ditambah pada resin epoksi dan dikacau selama 1 jam 50 minit. Kemudian, PEA ditambah pada campuran resin dan abu buangan dengan cara yang sama selama 10 minit. Akhir sekali, campuran resin ini dituang ke dalam acuan dan dibiarkan pada suhu bilik selama 24 jam. Campuran resin epoksi dan abu buangan bersaiz  $14.95 \mu\text{m}$  ini dilabel sebagai OFA (Jadual 1) manakala resin epoksi dan abu buangan bersaiz  $6.77 \mu\text{m}$  dilabel sebagai MFA (Jadual 2).

JADUAL 1. Resin epoksi yang diubah suai (OFA)

Sampel	Resin epoksi (g)	Abu buangan $14.95 \mu\text{m}$ (g)
OFA 1	100	1
OFA 2	100	2
OFA 3	100	3
OFA 4	100	4
OFA 5	100	5

JADUAL 2. Resin epoksi yang diubah suai (MFA)

Sampel	Resin epoksi (g)	Abu buangan $6.77 \mu\text{m}$ (g)
MFA 1	100	1
MFA 2	100	2
MFA 3	100	3
MFA 4	100	4
MFA 5	100	5

#### PERINCIAN SAMPEL

Analisis saiz zarah dilakukan bertujuan untuk mengetahui taburan saiz dan luas permukaan zarah dengan menggunakan Mastersizer Malvern Instrument dari UK. Resin epoksi terubah suai (MFA, OFA) dan tidak terubah suai (RE) ini juga dianalisis menggunakan Thermo Scientific Nicolet™ 6700 FT-IR spektrometer dari USA bertujuan untuk mengenal pasti kumpulan berfungsi bahan. Kestabilan haba abu buangan dan resin epoksi telah ditentukan dengan menggunakan Setaram Instrument Digital SETSYS 1750. Ujian telah dijalankan pada julat suhu:  $20^\circ\text{C}$  hingga  $600^\circ\text{C}$  dengan  $10^\circ\text{C}/\text{min}$  untuk kadar pemanasan. Ketumpatan MFA dan OFA dikira menggunakan Densitymeter MD 3005 yang mempunyai resolusi ketumpatan  $0.001 \text{ g}/\text{cm}^3$ . Ketumpatan sampel dikira sebanyak tiga kali menggunakan sampel yang berlainan dan purata ketumpatan direkodkan. Ujian daya tahan kekerasan telah dinilai menggunakan standard ASTM D785 dengan menggunakan Rockwell Hardness. Diameter indenter yang digunakan adalah  $6.35\text{mm}$  dengan jumlah daya sebanyak  $588.4\text{N}$ .

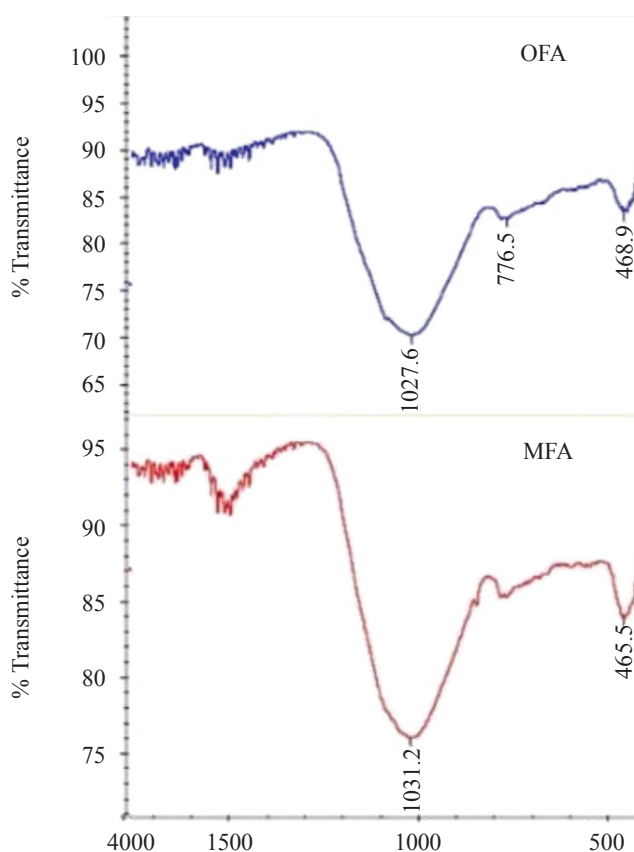
#### KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

##### PERINCIAN BAHAN

##### KEKESAN PENGAKTIFAN MEKANIKAL ABU BUANGAN

Keputusan FTIR dalam Rajah 1 menunjukkan beberapa perubahan pada keamatan IR OFA dan MFA iaitu getaran

pembengkokan Si–O–Si ( $468 \text{ cm}^{-1}$ ), Si–O–Si regangan simetrik ( $794 \text{ cm}^{-1}$ ), regangan amida H–O–H ( $1550 \text{ cm}^{-1}$ ) dan regangan asimetrik Si–O–Si ( $1027 \text{ cm}^{-1}$ ). Ini berlaku akibat daripada penyusunan semula struktur partikel semasa pengisaran berlaku. Jadi, berdasarkan keputusan yang diperolehi, jelas menunjukkan, pengaktifan mekanikal dapat memberi kesan pada saiz, bentuk dan struktur ikatan kimia tetapi tidak memberi kesan pada perubahan kimia abu buangan. Pengaktifan mekanikal telah terbukti menjadi alat yang berkesan untuk meningkatkan kadar keaktifan abu buangan. Ia juga dapat meningkatkan ciri-ciri abu buangan dan membolehkan ia digunakan dalam aplikasi yang lebih luas.



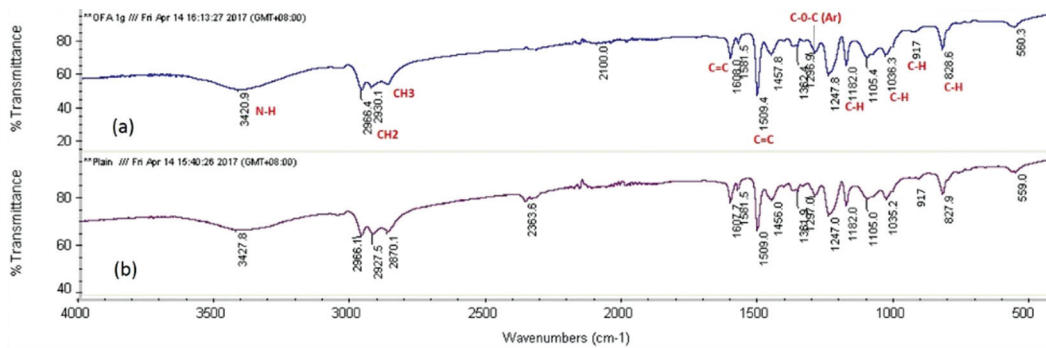
RAJAH 1. FTIR abu buangan asal (OFA) dan abu buangan yang telah dikisar (MFA)

#### ANALISIS FTIR

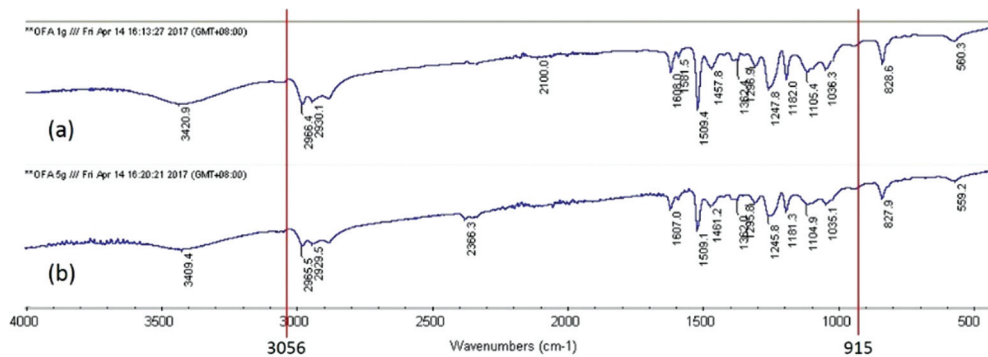
Kumpulan berfungsi yang terkandung dalam sistem epoksi terletak di antara  $4000 \text{ cm}^{-1}$  dan  $400 \text{ cm}^{-1}$ . FTIR resin tidak diubah suai (RE) dan diubah suai (OFA) ditunjukkan dalam Rajah 2 Secara umumnya, spektrum sistem epoksi diubah suai hampir sama dengan yang tidak diubah suai. Ini menunjukkan bahawa hampir tidak ada perubahan dalam resin dengan penambahan abu buangan. Untuk resin tidak terubah suai, kehadiran bacaan pada keamatan puncak  $3500 \text{ cm}^{-1}$  adalah kerana kumpulan berfungsi  $-\text{NH}_2$  yang mana ia menunjukkan ciri amina utama dari struktur PEA. Manakala ikatan yang kuat pada kawasan  $1608, 1580, 1510, 1455 \text{ cm}^{-1}$  adalah untuk kumpulan berfungsi  $\text{Ar}-\text{C}=\text{C}-\text{H}$ . Sampel MFA dan OFA

mempunyai lima formulasi yang berbeza, di mana jumlah abu buangan sebanyak 1%-5% ditambah pada resin epoksi. Dapat diperhatikan bahawa semua sistem epoksi diubah suai mempunyai keamatan penyerapan yang sama dalam spektrum IR tanpa mengira jumlah berat abu buangan seperti Rajah 3 dan 4. Walau bagaimanapun, kuantiti keamatan menjadi lebih rendah apabila jumlah abu buangan meningkat (OFA 5 g, MFA 5 g). Ini kerana apabila kandungan abu buangan meningkat, maka penggumpalan sesama zarah berlaku dan menyebabkan pengurangan dalam keaktifan abu buangan.

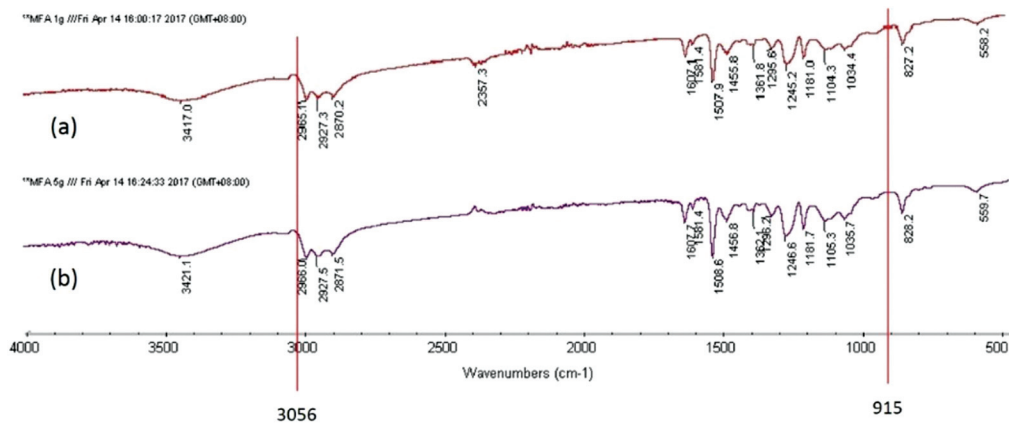
Rajah 3 dan Rajah 4 menunjukkan bahawa kehilangan keamatan penyerapan pada 3056 dan 915  $\text{cm}^{-1}$  ini kerana berlakunya pembukaan ikatan epoksi semasa proses paut silang. Kehadiran puncak ini memberitahu bahawa tempoh pengawetan resin epoksi masih belum matang, kerana jika resin epoksi diawet pada suhu 100-120°C, puncak 915 dan 3056  $\text{cm}^{-1}$  ini akan hilang.



RAJAH 2. FTIR OFA dengan 1 g abu buangan b) FTIR MFA dengan 1 g abu buangan



RAJAH 3. FTIR OFA dengan 1 g abu buangan b) FTIR OFA dengan 5 g abu buangan

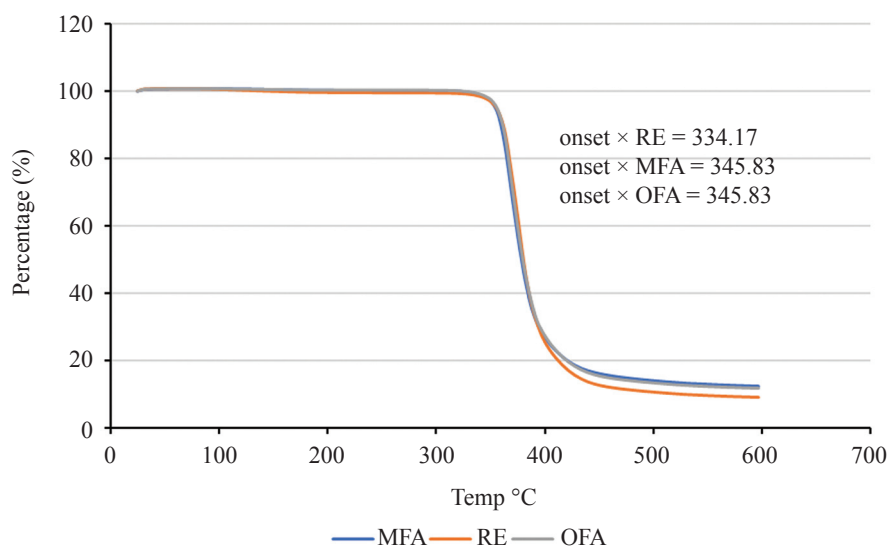


RAJAH 4. FTIR OFA dengan 1 g abu buangan b) FTIR MFA dengan 5 g abu buangan

## ANALISIS TGA

Keputusan analisis haba untuk epoksi tidak diubah suai (RE) dan epoksi diubah suai (MFA, OFA) ditunjukkan dalam Rajah 5. Berdasarkan bacaan yang diperolehi, secara amnya, semua sampel kekal stabil sehingga 300°C. Untuk sampel RE suhu penguraian bermula pada  $334 \pm 1^\circ\text{C}$ , manakala bagi sampel MFA dan OFA, suhu penguraian bermula pada  $346 \pm 1^\circ\text{C}$  dan  $346 \pm 1^\circ\text{C}$ . Ini menunjukkan bahawa MFA dan OFA mempunyai kestabilan haba dan ciri-ciri haba yang lebih baik daripada RE. Tiada perubahan pada suhu penguraian dengan perbezaan saiz abu buangan. Ini kerana perubahan saiz abu

buangan hanya memberi kesan pada saiz, struktur kima dan keaktifan abu buangan. Penambahan abu buangan dalam sistem epoksi memberi kesan ke atas tingkah laku haba; di mana dengan kehadiran abu buangan, tingkah laku haba meningkat walaupun sedikit. Abu buangan stabil dalam julat dari suhu 700°C dan apabila digabungkan di dalam DGEBA, ia dapat menghalang gerakan haba pada rantai DGEBA dan menjadi penghalang pada penguraian polimer. Selain itu, ia juga menunjukkan bahawa rintangan haba matriks boleh dioptimumkan dengan mengawal jumlah kandungan abu buangan.



RAJAH 5. TGA RE, MFA, OFA

## KETUMPATAN

Kesan kandungan abu buangan terhadap ketumpatan resin epoksi dapat dilihat seperti Rajah 6. Seperti yang direkodkan, ketumpatan epoksi RE, MFA dan OFA meningkat secara beransur-ansur dengan penambahan kandungan abu buangan. Ini kerana abu buangan (ketumpatan  $\approx 2.00 \text{ g/cm}^3$ ) lebih tumpat daripada epoksi (ketumpatan,  $1.178 \text{ g/cm}^3$ ) dan menjurus kepada peningkatan ketumpatan sifat-sifat komposit. Hanya 1% peningkatan yang dilaporkan untuk MFA dan 0.8% peningkatan untuk OFA.

## DAYA TAHAN KEKERASAN

Rajah 7 menunjukkan variasi dalam kekerasan komposit epoksi dengan kandungan abu buangan. Jelas menunjukkan kekerasan bagi komposit meningkat dengan peningkatan kandungan abu buangan. Ini adalah kerana wujudnya ikatan regangan yang dapat meningkatkan daya tahan komposit (epoksi terubah suai) berbanding dengan resin epoksi yang tidak terubah suai. Sampel MFA dengan 5% (5 g) abu buangan menunjukkan nilai kekerasan yang paling tinggi iaitu 99.07 HRL berbanding sampel OFA 5% (5 g), 98.4 HRL dan RE 5%, 87.17 HRL. Penambahan abu buangan 5% menambahkan

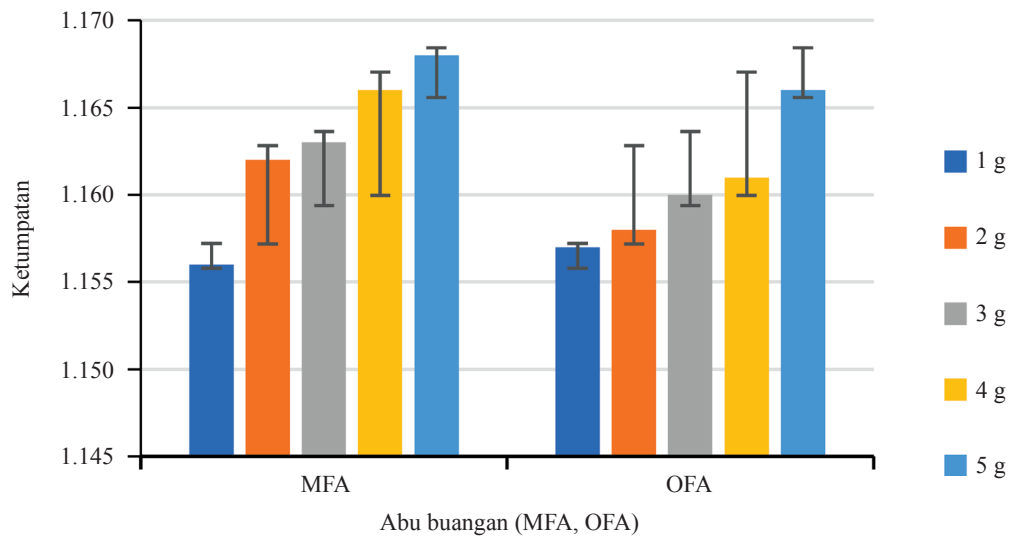
nilai kekerasan epoksi sehingga 13% berbanding epoksi yang tidak diubah suai.

Sampel MFA adalah sampel yang mempunyai nilai kekerasan yang tinggi kerana kehadiran jumlah abu buangan yang banyak dan memberikan kesan yang tinggi pada ikatan regangan antara komposit (Haque et al. 2010a ; Haque et al. 2010b). Selain itu, komposit epoksi (MFA, OFA) mempunyai nilai kekerasan yang tinggi kerana penyerakan zarah abu buangan yang baik di dalam epoksi matrik (Haridas 2014).

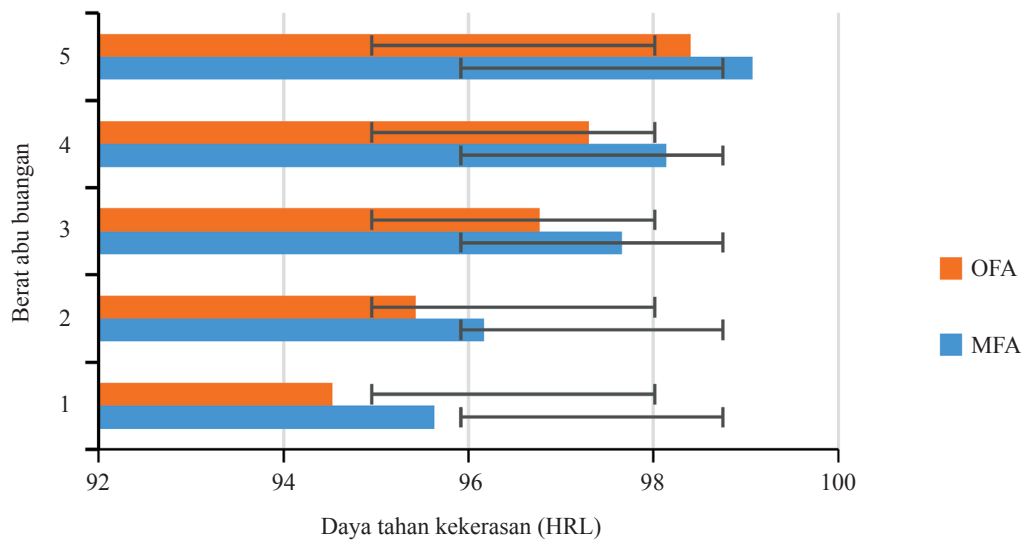
Abu buangan dapat meningkatkan kekerasan pada jumlah tertentu (jumlah yang kecil) tetapi tidak pada jumlah yang tinggi. Jumlah yang tinggi membawa kepada penurunan kecil dalam nilai kekerasan kerana kelemahan dalam lekatan antara matriks epoksi dan abu buangan. Ozsoy et al. (2015) menjelaskan bahawa peningkatan nisbah abu buangan boleh menyebabkan gumpalan kelompok dan menjurus kepada penurunan nilai kekerasan.

## KESIMPULAN

Dalam kajian ini, resin terubah suai (MFA, OFA) telah terbukti memberikan keputusan yang baik berbanding resin tidak terubah suai (RE). Bagi MFA dan OFA pula, MFA lebih reaktif



RAJAH 6. Ketumpatan MFA dan OFA



RAJAH 7. Daya tahan kekerasan MFA dan OFA

berbanding OFA. MFA yang paling memberi kesan pada ciri-ciri mekanikal komposit adalah 5% MFA. Pengaktifan mekanikal abu buangan dalam pengisar bebola berkuasa tinggi dengan nisbah bebola dengan serbuk 4:1, selama 1 jam kisaran membawa kepada pengurangan saiz abu buangan dan perubahan pada bentuk zarah tetapi tidak memberi perubahan kepada komposisi kimia. Resin epoksi yang digabungkan bersama abu buangan yang diaktifkan secara mekanikal membawa kepada peningkatan 13% dalam ujian daya tahan kekerasan berbanding resin yang tidak mengandungi abu buangan. Sumbangan utama kepada peningkatan kekuatan daya keras adalah disebabkan oleh pengurangan saiz zarah dan peningkatan ikatan regangan antara matrik.

Secara umumnya, penambahan jisim abu buangan boleh meningkatkan suhu penguraian di mana ia dapat menghadkan pergerakan rantai epoksi. Berdasarkan keputusan yang diperolehi, saiz abu buangan tidak memberi kesan pada suhu penguraian matrik. Daya tahan kekerasan sampel MFA 5% paling tinggi iaitu 99.07 HRL berbanding sampel OFA

5% (5g), 98.4 HRL dan RE 5%, 87.17 HRL. Penambahan abu buangan 5% menambahkan nilai kekerasan epoksi sehingga 13% berbanding epoksi yang tidak diubah suai.

PENGHARGAAN

Setinggi penghargaan buat Cik Ummu Iffah bt Muzakir, Puan Nur Nadia Nazirah Ismail dan Cik Rabiatul Adawiyah bt Ariffin di atas bantuan dan sokongan. Juga penulis berterima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia di atas kemudahan dan geran penyelidikan GGPI-2016-006 dan GUP-2017-041 atas pembiayaan penyelidikan ini.

RUJUKAN

Aydin, S., Karatay, Ç. & Baradan, B. 2010. The effect of grinding process on mechanical properties and alkali-silica reaction resistance of fly ash incorporated cement mortars. *Powder Technology* 197(1): 68-72.

- Boldyrev, V. V. 2006. Mechanochemistry and mechanical activation of solids. *Russian Chemical Reviews* 75(3): 177.
- Chand, N. & Jain, D. 2006. Effect of temperature on electrical behavior of flyash-filled epoxy gradient composites. *Journal of Applied Polymer Science* 100(2): 1269-1276.
- Dharmalingam, U., Dhanasekaran, M. & Balasubramanian, K. 2015. Surface treated fly ash filled modified epoxy composites, *Polimeros* 25(6): 540-546.
- He, H., Li, K., Wang, J., Sun, G., Li, Y. & Wang, J. 2011. Study on thermal and mechanical properties of nano-calcium carbonate/epoxy composites. *Materials & Design* 32(8): 4521-4527.
- He, H., Zhang, Z., Wang, J. & Li, K. 2013. Compressive properties of nano-calcium carbonate/epoxy and its fibre composites. *Composites Part B: Engineering* 45(1): 919-924.
- Koszkul, J. & Kwiatkowski, D. 2004. The creep tests of polyoxymethylene composites reinforced with the microspheres from fly ashes. *Journal of Materials Processing Technology* (157-158): 360-363.
- Kulkarni, S. M. 2003. Effect of filler-fiber interactions on compressive strength of fly ash and short fiber epoxy composites. *Journal of Applied Polymer Science* 87(5): 836-841.
- Kulkarni, S. M., Sharathchandra, S. & Sunil, D. 2002. On the use of an instrumented set-up to characterize the impact behaviour of an epoxy system containing varying fly ash content. *Polymer Testing* 21: 763-771.
- Kumar, R., Kumar, S. & Mehrotra, S. P. 2007. Towards sustainable solutions for fly ash through mechanical activation. *Resources, Conservation and Recycling* (52): 157-179.
- Li, Y., Liu, X., Yuan, J. & Wu, M. 2015. Toughness improvement of epoxy resin mortar by incorporation of ground calcium carbonate. *Construction and Building Materials* (100): 122-128.
- Nath, D. C. D., Bandyopadhyay, S., Yu, A., Blackburn, D. & White, C. 2010. Novel observations on kinetics of nonisothermal crystallization in fly ash filled isotactic-polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science* 115(3): 1510-1517.
- Nath, D. C. D., Bandyopadhyay, S., Yu, A., Zeng, Q., Das, T., Blackburn, D. & White, C. 2009. Structure-property interface correlation of fly ash-isotactic polypropylene composites. *Journal of Materials Science* 44(22): 6078-6089.
- Nyale, S. M., Babajide, O. O., Birch, G. D., Böke, N. & Petrik, L. F. 2013. Synthesis and characterization of coal fly ash-based foamed geopolymer. *Procedia Environmental Sciences* 18: 722-730.
- Ozsoy, I. 2015. The influence of micro- and nano-filler content on the mechanical properties of epoxy composites. *Journal of Mechanical Engineering* (61): 601-609.
- Paluvai, N. R., Mohanty, S. & Nayak, S. K. 2014. Synthesis and modifications of epoxy resins and their composites: A review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 53(16): 1723-1758.
- Payá, J., Monzó, J., Borrachero, M. V. & Peris-Mora, E. 1996. Comparisons among magnetic and non-magnetic fly ash fractions: strength development of cement-fly ash mortars. *Waste Management* 16(1): 119-124.
- Rohatgi, P. K., Matsunaga, T. & Gupta, N. 2009. Compressive and ultrasonic properties of polyester/fly ash composites. *Journal of Materials Science* 44(6): 1485.
- Shi, X., Nguyen, T. A., Suo, Z., Liu, Y. & Avci, R. (2009). Effect of nanoparticles on the anticorrosion and mechanical properties of epoxy coating. *Surface and Coatings Technology* 204(3): 237-245.

\*Nursyahrah Mohd Safie

\*Nor Yuliana Yuhana

Pusat Penyelidikan Teknologi Proses Mampan

Fakulti Kejuruteraan Alam Bina

Universiti Kebangsaan Malaysia

43600 UKM Bangi, Malaysia.

Phone: + 603-89216977

Zakaria Man

Jabatan Kejuruteraan Kimia

Universiti Teknologi PETRONAS

32610 Seri Iskandar, Perak Darul Ridzuan, Malaysia.

\*Corresponding author; email: syira9005@gmail.com/

yuliana@ukm.edu.my

Received date: 4<sup>th</sup> August 2017

Accepted date: 21<sup>st</sup> April 2018

Online First date: 1<sup>st</sup> September 2018

Published date: 31<sup>st</sup> October 2018