

Pengoptimuman Pemrosesan Komposit rHDPE Berpenguat Sekam Padi dengan Kaedah Tindak Balas Permukaan (RSM)

(Optimization of rHDPE Reinforced Rice Husk Composite Processing by Response Surface Method (RSM))

NISHATA ROYAN RAJENDRAN ROYAN*, ABU BAKAR SULONG, NOR YULIANA YUHANA,
MOHD HAFIZUDDIN AB GHANI & SAHRIM AHMAD

ABSTRAK

Kaedah tindak balas permukaan (RSM) telah digunakan untuk mengoptimumkan penyediaan biokomposit rHDPE berpenguat sekam padi sebagai pengisi. Sekam padi adalah sisa pertanian yang mempunyai ciri-ciri kayu dan digunakan secara pesat dalam bidang komposit kayu plastik. Kesan parameter suhu, tekanan serta masa proses tekanan panas ke atas kekuatan tegangan telah dikaji. Reka bentuk Box Bechken telah digunakan untuk menentukan parameter optimum biokomposit yang mempunyai kekuatan tegangan yang tinggi. Model tertib kedua telah dibangunkan untuk meramalkan kekuatan tegangan berdasarkan reka bentuk komposit. Didapati bahawa komposit sesuai digunakan apabila model regresi kuadratik dengan pekali penentu bilang (R^2) yang tinggi. Keadaan proses menekan yang optimum dicapai pada suhu 180°C, tekanan 1000 psi dan masa 9 min dengan pekali penentu berbilang mencapai 97%. Di bawah keadaan yang optimum ini, komposit yang mengandungi 10, 20, 30, 40 dan 50% gentian RH telah disediakan. Kekuatan tegangan dan modulus tegangan biokomposit menunjukkan peningkatan apabila kandungan gentian RH ditambah.

Kata kunci: Biokomposit; kaedah tindak balas permukaan; kekuatan tegangan; pengoptimuman; sekam padi

ABSTRACT

In this study, response surface methodology (RSM) was used to optimize preparation of biocomposites based on rHDPE and rice husk (RH) filler. RH is an agriculture waste which has the characteristic of wood and being used tremendously in wood plastic composites. The effects of pressing temperature, pressing pressure and pressing time on tensile strength were investigated. A Box Bechken design was employed to determine the optimum preparation condition of the biocomposites to obtain the highest tensile strength. A second-order polynomial model was developed for predicting the tensile strength based on the composite design. It was found that composites were best fit by a quadratic regression model with high coefficient of determination (R^2) value. The selected optimum pressing condition was 180°C at 1000 psi and 9 min of pressing, leading to a desirability of 97%. Under the optimum condition, the composites were then prepared containing 10, 20, 30, 40 and 50 wt. % of RH fibers. The tensile strength and the tensile modulus of the biocomposites shows a good trend, respectively.

Keywords: Biocomposite; optimization; response surface methodology; rice husk; tensile strength

PENGENALAN

Sejak kebelakangan ini, terdapat peningkatan kajian penyelidikan dan kemajuan dalam teknologi komposit kayu plastik (KKP). Penggunaan gentian semula jadi untuk mengukuhkan polimer adalah satu amalan yang mantap. Kini, biokomposit digunakan dalam tahap yang hebat dalam pelbagai sektor seperti automotif dan pembinaan. Salah satu kelas tertentu biokomposit dikenali sebagai komposit hijau dengan polimer matriks berasaskan bio diperkukuh oleh gentian semula jadi dan ia berkembang dengan pesat dalam bidang sains polimer (Zini & Scandola 2011). Hal ini disebabkan oleh kos yang rendah, kebiodegradasian, mesra alam, ketumpatan yang rendah, tidak merbahaya, sifat tidak kasar dan kewujudan pelbagai jenis gentian (Ashori 2008). Sekam padi (RH) dikenali sebagai hasil sisa tanaman pertanian dan dianggarkan bahawa kira-kira 20% daripada RH boleh diperolehi daripada jumlah beras yang

digenerasi melalui proses pengilangan. Secara umumnya, komponen RH terdiri daripada 35% selulosa, hemiselulosa 25%, 20% lignin dan 17% abu (94% silika) mengikut berat (Premalal et al. 2002). HDPE kitar semula dan gentian kayu komposit dikaji menggunakan pengacuan penyemperitan dan dilaporkan bahawa prestasi komposit ini adalah sama baik dibandingkan dengan komposit berdasarkan plastik HDPE tulen (Selke & Wichman 2004; Yam et al. 1990). Li et al. (1997) mengkaji komposit dibentuk secara pengacuan tekan panas berdasarkan gabungan HDPE tulen dan HDPE dikitar semula dan kepingan kayu. Ia melaporkan bahawa geometri zarah awal HDPE memainkan peranan yang penting dalam kualiti komposit. Komposit HDPE diperbuat daripada HDPE dikitar semula dan pengisi lignoselulosik pada 60% beban berat pengisi dengan menggunakan kaedah tekan panas juga telah dilaporkan (Najafi & Khademi-Eslam 2011). Kajian oleh Tong et

al. (2014) menunjukkan bahawa peningkatan gentian RH dalam komposit akan meningkatkan sifat tegangan komposit terhasil. Meskipun banyak kajian terhadap komposit HDPE, namun kajian mengenai pengoptimuman pemrosesan RH/rHDPE menggunakan kaedah tekan panas masih terhad. Hanya beberapa kertas menggunakan kaedah RSM telah dilaporkan. Objektif kajian ini adalah menggunakan kaedah tindak balas permukaan (RSM) untuk mengoptimumkan penyediaan biokomposit rHDPE dan sekam padi (RH) ke atas sifat mekanik biokomposit (kekuatan tegangan). Kesan pemboleh ubah input (suhu, tekanan dan masa) ke atas kekuatan tegangan telah dikaji. Di samping itu, syarat optimum pemboleh ubah bebas untuk memaksimumkan kekuatan tegangan komposit juga dilaporkan dalam kajian.

BAHAN DAN KAEDAH

REKA BENTUK EKSPERIMEN DAN ANALISIS STATISTIK

Kaedah tindak balas permukaan (RSM) telah digunakan untuk mengoptimumkan keadaan penyediaan komposit. Reka bentuk eksperimen telah dijalankan dengan menggunakan perisian Design Expert 9 (Stat-Ease Inc, USA). Tiga pemboleh ubah tidak bersandar digunakan dalam reka bentuk Box Benhken. Pemboleh ubah yang digunakan adalah suhu (X_1), tekanan (X_2) dan masa (X_3). Reka bentuk ini terdiri daripada 17 larian. Peringkat faktor dan kod dibentangkan dalam Jadual 1. Reka bentuk matriks ditunjukkan dalam Jadual 2. Fungsi tindak balas yang diukur dalam kajian ini ialah kekuatan tegangan.

JADUAL 1. Tahap kod pemboleh ubah

Pembolehubah	Tahap Kod		
	-1	0	+1
X_1 : Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	140	165	190
X_2 : Tekanan (psi)	450	725	1000
X_3 : Masa (min)	4	6.5	9

Satu persamaan polinomial tertib kedua, telah digunakan bagi setiap faktor sebagai fungsi X , seperti yang ditunjukkan dalam (1) berikut:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i<j}^3 \beta_{ij} X_i X_j \quad (1)$$

$$Y = 12.82 + 0.27X_1 + 2.00X_2 + 0.34X_3 + 0.75 X_1^2 + 2.04 X_2^2 - 0.21 X_3^2 - 0.083 X_2 X_3$$

dengan Y adalah anggaran sambutan; β_0 , β_i , β_{ii} dan β_{ij} adalah pekali malar (β_0 pemalar, β_i pekali untuk terma linear, β_{ii} pekali untuk terma kuadratik; β_{ij} pekali untuk terma interaktif); dan X_1 , X_2 dan X_3 masing-masing adalah nilai berkod pemboleh ubah tidak bersandar suhu pemrosesan ($^{\circ}\text{C}$), tekanan (psi) dan masa (min). Varian bagi setiap faktor telah dibahagikan dalam bentuk nilai

JADUAL 2. Susunan larian reka bentuk Box-Benkhen

Larian	Peringkat Kod			Pembolehubah		
	X_1	X_2	X_3	$X_1(^{\circ}\text{C})$	$X_2(\text{psi})$	$X_3(\text{min})$
1	0	+1	+1	165	1000	9
2	-1	0	+1	140	725	9
3	0	0	0	165	725	6.5
4	+1	0	+1	190	725	9
5	0	0	0	165	725	6.5
6	0	0	0	165	725	6.5
7	0	-1	-1	165	450	4
8	-1	+1	0	140	1000	6.5
9	+1	+1	0	190	1000	6.5
10	0	-1	+1	165	450	9
11	0	0	0	165	725	6.5
12	+1	-1	0	190	450	6.5
13	-1	-1	0	140	450	6.5
14	-1	0	-1	140	725	4
15	0	0	0	165	725	6.5
16	0	+1	-1	165	1000	4
17	+1	0	-1	190	725	4

linear, kuadratik dan interaktif. Faktor kurang padan dan ralat komponen digunakan bagi menentukan kepentingan pemboleh ubah ini dan kesesuaian fungsi polinomial tertib kedua.

PENYEDIAAN BOKOMPOSIT

Bahan mentah yang digunakan dalam uji kaji ini sebagai matriks ialah polietilena berketumpatan tinggi yang dikitar semula (rHDPE) yang dibekalkan oleh Muda Cemerlang Sdn. Bhd. Polimer rHDPE yang digunakan mempunyai ketumpatan 923 kg/m^3 dan indeks aliran cair, 0.72 g/10 min pada suhu 190°C . Bahan pengisi yang digunakan adalah sekam padi (RH) bersaiz $212 \mu\text{m}$ dibekalkan oleh DinXing Sdn. Bhd. Maleik anhidrida polietilena (MAPE) (Sigma Aldrich, US) adalah agen pengserasi yang digunakan. Sebelum pengadunan, sekam padi dikeringkan di dalam ketuhar pada suhu 80°C selama 24 jam untuk menurunkan kandungan lembapan sekam padi kepada 1-2%. Parameter ini dipilih berdasarkan kajian-kajian lepas dan parameter ini sesuai untuk menurunkan lembapan sekam padi untuk tujuan pemrosesan komposit (Duy Tran et al. 2013; Grozdanov et al. 2006; Yang et al. 2007b). Untuk pemrosesan komposit, sebanyak lima bebanan sekam padi (0, 10, 20, 30, 40, 50 % bt.) digunakan. Komposisi ini digunakan untuk melihat kesan pengisi pada beban yang rendah ke atas sifat mekanik komposit. Biokomposit polimer/gentian SP disediakan melalui kaedah pengadunan leburan dengan mesin penyemperitan skru kembar searah (Thermo Prism TSE 16PC). Suhu yang digunakan pada empat bahagian pelaras daripada zon suapan hingga zon acuan (*die*) disetkan 180, 190, 200 dan 190°C . Kadar putaran skru ditetapkan pada 30 rpm. Selepas proses

penyemperitan, palet telah dikisar lalu dimasukkan ke dalam acuan untuk melalui proses tekanan panas dan sejuk yang dilakukan dengan menggunakan mesin LP50, LABTECH Engineering Company LTD. Suhu, tekanan dan masa proses menekan bergantung kepada parameter optimum yang diperoleh daripada reka bentuk RSM. Sampel bagi ujian pencirian dipotong mengikut ukuran ASTM yang telah ditetapkan. Dalam kajian ini, ujian regangan dijalankan dengan menggunakan Testometric M350-10CT berdasarkan piawai ASTM D638-03 Jenis I. Ujian lenturan dan hentaman dijalankan berdasarkan ASTM D 790-03 (Materials Testing Machine, model: M350-10CT dan ASTM D256-05 (Ray-Ran Universal Pendulum Impact System).

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

PEMBANGUNAN MODEL PRODUKTIVITI TERTIB KEDUA

Keputusan 17 larian untuk menentukan kekuatan tegangan komposit menggunakan mesin penyemperit skru berkembar dan tekan panas ditunjukkan dalam Jadual 3. Tiga faktor utama yang diuji dalam kajian ini adalah suhu, tekanan dan masa. Kekuatan tegangan bagi komposit adalah antara 12.23 dan 18.16 MPa. Nilai kekuatan tegangan yang paling tinggi adalah 18.16 MPa di bawah keadaan ujian suhu (190°C), tekanan (450 psi) dan masa (6.5 min). Sementara itu, nilai kekuatan tegangan yang

paling rendah diperoleh pada 12.23 MPa di bawah keadaan ujian suhu (140°C), tekanan (450 psi) dan masa (6.5 min). Kajian statistik mengenai kekuatan tegangan komposit ini diteliti menggunakan perisian RSM dan kesan pemboleh ubah bebas kepada sambutan tindak balas dibincangkan dalam bahagian seterusnya.

ANALISIS VARIAN (ANOVA) DENGAN PERISIAN MINITAB

Dalam bahagian ini, parameter dimasukkan ke dalam perisian RSM serta analisis varian dijalankan dengan menggunakan kaedah statistik (ANOVA). Model tertib kedua atau model kuadratik dibina untuk menjalankan ANOVA kerana model ini akan mengambil kira kesan interaksi antara parameter dan untuk menentukan sejauh mana tahap kebolehpakaian model itu. Jadual 4 menunjukkan analisis varian (ANOVA) bagi model kuadratik manakala Jadual 5 menunjukkan anggaran pekali regresi model kuadratik. Memandangkan selang keyakinan yang digunakan dalam kajian ini adalah 95%, maka model yang mempunyai nilai p kurang daripada 0.05 adalah dianggap signifikan seterusnya membuktikan bahawa model ini adalah signifikan. Analisis ANOVA menunjukkan bahawa model regresi kuadratik kekuatan tegangan adalah sangat signifikan kerana nilai model F ujian mempunyai nilai kebarangkalian yang rendah ($p = 0.0001$). Nilai kebarangkalian ini bermakna bahawa terdapat hanya 0.01% kemungkinan bahawa 'nilai Model F ' boleh berlaku disebabkan oleh bunyi (L_v

JADUAL 3. Nilai sambutan parameter yang digunakan dalam reka bentuk Box-Behnken

Larian	Peringkat Kod			Pembolehubah Sebenar			Sambutan
	X_1	X_2	X_3	$X_1(^{\circ}\text{C})$	$X_2(\text{psi})$	$X_3(\text{min})$	Kekuatan Regangan (MPa)
1	0	+1	+1	165	1000	9	12.82
2	-1	0	+1	140	725	9	12.82
3	0	0	0	165	725	6.5	13.03
4	+1	0	+1	190	725	9	13.52
5	0	0	0	165	725	6.5	17.07
6	0	0	0	165	725	6.5	13.16
7	0	-1	-1	165	450	4	14.16
8	-1	+1	0	140	1000	6.5	12.82
9	+1	+1	0	190	1000	6.5	17.06
10	0	-1	+1	165	450	9	13.72
11	0	0	0	165	725	6.5	16.23
12	+1	-1	0	190	450	6.5	18.16
13	-1	-1	0	140	450	6.5	12.23
14	-1	0	-1	140	725	4	12.82
15	0	0	0	165	725	6.5	12.82
16	0	+1	-1	165	1000	4	13.06
17	+1	0	-1	190	725	4	13.07

JADUAL 4. Analisis varian model kuadratik

Punca	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
Model	9	54.18	6.02	60.74	0.0001 signifikan
Ralat baki	7	0.69	0.099		
Kurang Padan	3	0.69	0.23		0.098
Ralat tulen	4	0	0		
Jumlah	16	54.87			

Sisihan piawai = 0.31, min = 14.03, R2 = 0.9874 dan adeq.precision = 23.059

JADUAL 5. Anggaran pekali regresi model kuadratik

Sebutan	Pekali	P
Pemalar	12.82	<0.0001
X ₁ : Suhu	0.27	0.0480
X ₂ : Tekanan	2.00	<0.0001
X ₃ : Masa	0.34	0.0182
X ₁ ²	0.75	0.0018
X ₂ ²	2.04	<0.0001
X ₃ ²	-0.21	0.2109
X ₁ X ₂	0.00	1.0000
X ₁ X ₃	-0.083	0.6164
X ₂ X ₃	0.000	1.0000

et al. 2013). Walau bagaimanapun, jika dilihat daripada nilai *p* bagi model kurang padan iaitu, 0.098 (> 0.05), ini menandakan bahawa model tersebut adalah tidak signifikan untuk faktor kurang padan. Dalam erti kata lain, model ini adalah berpadanan, dengan sebutan bagi model yang diambil kira adalah pekali linear dan kuadratik. Di samping itu, nilai ketepatan mencukupi untuk kekuatan tegangan adalah 23.059 dan ia melebihi 4. Oleh itu, model sambutan tindak balas permukaan yang diperoleh mempunyai nilai yang memuaskan. Tambahan daripada itu, nilai pekali penentu berbilang, R² daripada Jadual 4 memberikan nilai 98.74% atau 0.9874 dan ini bermaksud model kuadratik yang dibina ini adalah berdekatan dengan model sedia ada dalam penentuan nilai pemboleh ubah sambutan dan nilai R² semakin berhampiran dengan nilai 1, maka model ini semakin sah dan boleh diterima pakai dan digunakan untuk meramal sifat mekanik kekuatan tegangan komposit sekam padi berpenguat rHDPE dalam had eksperimen.

Nilai *p* setiap sambutan diringkaskan dalam Jadual 5. Didapati bahawa terma dalam model mempunyai kesan yang signifikan ke atas sambutan. Untuk kekuatan regangan komposit, didapati bahawa suhu, tekanan dan masa (X₁, X₂, X₃) masing-masing menunjukkan nilai *p* 0.048, <0.000 dan 0.0182 dengan semua parameter memberi kesan yang signifikan terhadap kekuatan regangan. Di samping itu, nilai *p* itu telah memenuhi syarat *p*<0.05 dengan mengatasi keyakinan 95%. Nilai pekali regresi yang tinggi menunjukkan pemboleh ubah tak bersandar mempunyai kesan yang besar ke atas nilai sambutan (Chang et al. 2014). Tekanan menunjukkan

nilai pekali regresi tertinggi untuk kekuatan tegangan. Oleh itu, dapat disimpulkan bahawa tekanan, berbanding dengan pemboleh ubah yang lain, mempunyai kesan yang besar kepada kekuatan tegangan. Akan tetapi, parameter interaksi (X₃², X₁X₂, X₁X₃, X₂X₃) menunjukkan nilai *p*>0.05 dan parameter ini telah jauh daripada aras keyakinan yang perlu dipenuhi.

Kesemua pekali dalam model yang telah disahkan kemudiannya ditukar ke bentuk persamaan matematik seperti yang ditunjukkan dalam (2). Walau bagaimanapun, persamaan berikut hanya sah dalam julat keadaan diuji iaitu 140°C < suhu < 190°C, 450 psi < tekanan < 1000 psi dan 4 min < masa < 9 min.

$$Y = 12.82 + 0.27X_1 + 2.00X_2 + 0.34X_3 + 0.75 X_1^2 + 2.04 X_2^2 - 0.21 X_3^2 - 0.083 X_2X_3 \quad (2)$$

dengan *Y* adalah anggaran sambutan iaitu kekuatan tegangan terhasil; X₁ adalah suhu (°C); X₂ adalah tekanan (psi); dan X₃ adalah masa (min). Walaupun *x₁x₂* tidak mempunyai nilai yang signifikan, tetapi ia boleh juga diambil kira semasa perkiraan nilai ramalan kekuatan regangan.

PENGOPTIMUMAN PARAMETER KAJIAN

Objektif proses pengoptimuman ini adalah untuk mendapatkan set gabungan bagi faktor yang memenuhi kehendak setiap pemboleh ubah sambutan. Setelah parameter pemprosesan komposit rHDPE berpenguat sekam padi ditentukan, pengoptimuman parameter pemprosesan dengan kawasan rangkuman faktor penting yang akan membawa kesan kepada sambutan yang berkemungkinan ditentukan. Dengan menggunakan perisian RSM, proses pengoptimuman parameter pemprosesan dijalankan untuk mendapatkan kekuatan tegangan yang maksimum. Terdapat tiga faktor perlu diambil kira untuk mencapai satu matlamat bagi membina indeks kebaikan iaitu suhu pemprosesan, tekanan dan masa pemprosesan. Matlamat untuk kekuatan tegangan adalah untuk memaksimumkan kekuatan. Justeru, nilai sasaran daripada sambutan adalah nilai tertinggi daripada keputusan eksperimen yang diperoleh. Nilai yang boleh diterima pakai oleh fungsi kebaikan ialah nilai menghampiri satu (100%). Dalam kajian ini, sifat mekanik biokomposit optimum dicapai pada 182°C suhu pemprosesan, 1000 psi tekanan dan 9

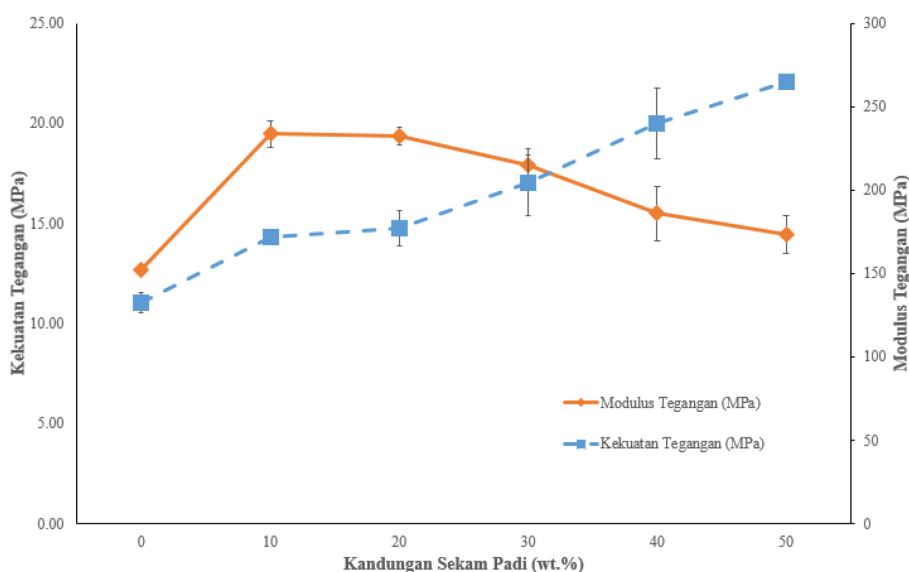
min masa pemrosesan dengan nilai tersebut mencapai 96.5% kebaikan. Peringkat pemboleh ubah tidak bersandar ini menghasilkan sambutan kekuatan tegangan tertinggi iaitu pada 17.95 MPa.

ANALISIS MEKANIK DAN MORFOLOGI KOMPOSIT

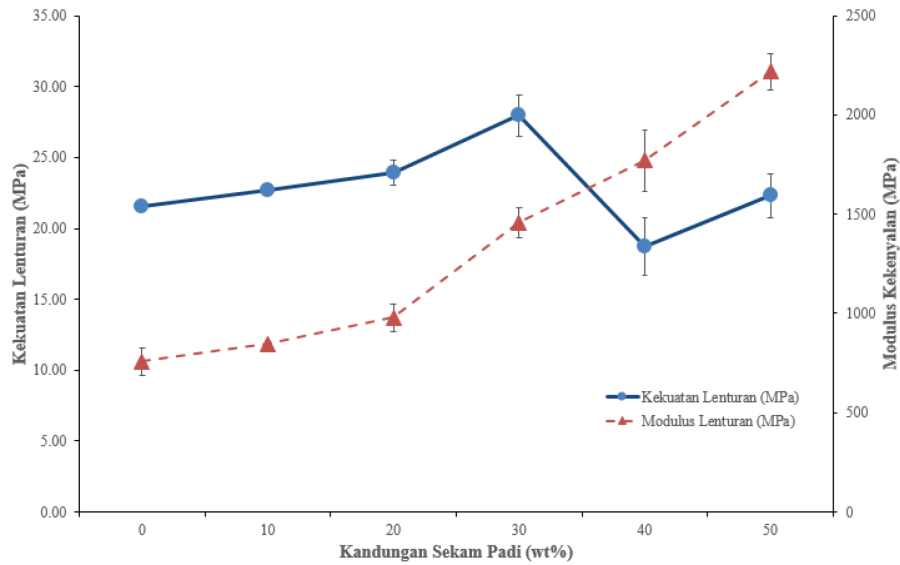
Dengan menggunakan parameter optimum yang diperoleh melalui kaedah RSM, komposit RH/rHDPE telah direka bentuk dan sifat tegangannya dianalisis. Ujian regangan dilakukan bagi mengukur keupayaan bahan untuk menahan daya tarikan dan menentukan sejauh mana bahan boleh meregang sebelum ia patah (Askeland et al. 2010). Rajah 1 menunjukkan kekuatan tegangan dan modulus tegangan komposit dengan 10, 20, 30, 40 dan 50 % bt. pembebanan sekam padi. Kajian ini mendapati bahawa apabila penambahan beban RH, kekuatan tegangan meningkat kira-kira 44% berbanding dengan polimer matriks rHDPE tulen. Walau bagaimanapun, kekuatan tegangan menurun apabila pembebanan sekam padi berkurangan. Ini mungkin disebabkan oleh ketidakupayaan bahan penetulang untuk menyokong pemindahan tekanan daripada matriks polimer (Syafri et al. 2011). Permukaan antara muka yang lemah akan mengurangkan kecekapan pemindahan tekanan daripada matriks ke komponen pengukuh yang seterusnya akan mengurangkan kekuatan komposit terhasil (Miguez Suarez et al. 2003). Keputusan ini juga selaras dengan kajian terdahulu (Chen et al. 2015; Tong et al. 2014; Wang et al. 2014). Untuk modulus tegangan, keputusan memaparkan tren yang meningkat dengan pembebanan RH. Ini boleh dikaitkan dengan modulus Young dan ia dipercayai lebih berhubung kait dengan ciri intrinsik bahan komposit, iaitu kekukuhan adalah disebabkan oleh pengisi RH (Yao et al. 2011). Oleh itu, lebih banyak sekam padi, lebih baik proses saling-bertaut dan lantas meningkatkan modulus Youngs biokomposit.

Rajah 2 menunjukkan kekuatan lenturan dan modulus kekenyalan komposit RH/rHDPE dengan kandungan sekam padi yang berlainan. Keputusan modulus lenturan jelas menunjukkan peningkatan dengan kandungan sekam padi. Hal ini kerana modulus lenturan lebih bergantung kepada pengisi, sokongan span dan keadaan alam sekitar (Hamid et al. 2012). Maka, penambahan sekam padi yang bersifat kekakuan tinggi meningkatkan modulus lenturan komposit RH/rHDPE. Kekuatan lenturan komposit pula menunjukkan peningkatan dengan penambahan sekam padi tetapi kemudiannya sedikit penurunan berlaku pada kandungan pengisi 40 dan 50 % bt. Menurut Nourbakhsh et al. (2011), kekuatan lenturan dipengaruhi oleh sifat jujuk, interaksi antara muka antara gentian dan matriks serta kehomogenan seluruh komposit. Penambahan sekam padi pada kuantiti yang tinggi mungkin menyebabkan aglomerasi pengisi dan ia mengakibatkan kegagalan komposit yang dihasilkan untuk mencapai kekuatan lenturan yang optimum.

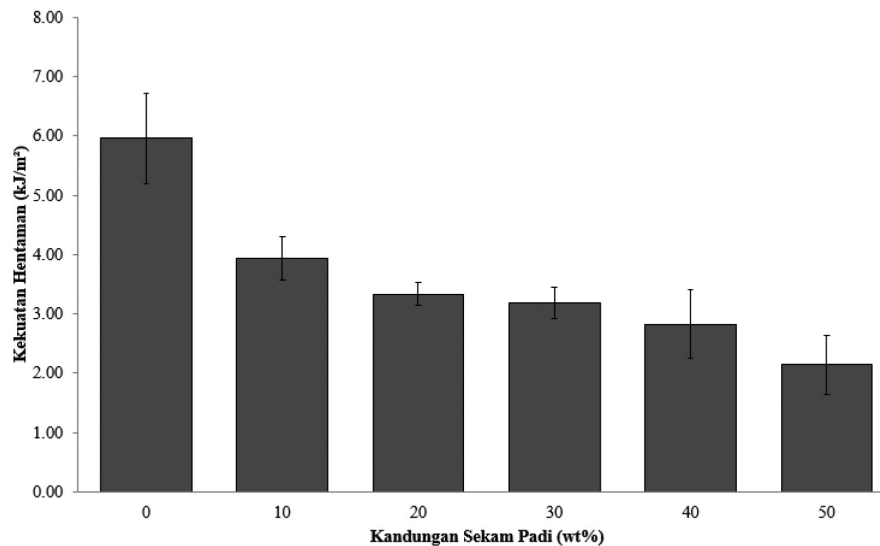
Rajah 3 pula menunjukkan kekuatan hentaman bagi komposit adunan RH/rHDPE berpengisi sekam padi yang berlainan kandungan. Komposit polimer rHDPE jelas menunjukkan kekuatan hentaman yang paling tinggi, namun kekuatan ini menurun apabila sekam padi ditambahkan ke dalam matriks polimer. Hal ini kerana sekam padi adalah sejenis pengisi organik dan gentian lignoselulosa yang bersifat kaku (Nourbakhsh et al. 2011). Kekuatan hentaman semakin berkurang dengan kandungan sekam padi. Pada kandungan pengisi yang tinggi, terdapat banyak interaksi antara pengisi akibat daripada pengaglomeratan pengisi dalam komposit. Justeru ia lebih sensitif terhadap retakan jika dibandingkan dengan antara muka dengan pengisi dan matriks. Perkara ini menunjukkan retakan tersebar dengan mudah dalam komposit pada kandungan sekam padi yang tinggi dan mengakibatkan penyusutan kekuatan hentaman (Yang et al. 2011).



RAJAH 1. Kekuatan tegangan dan modulus tegangan komposit RH/rHDPE



RAJAH 2. Kekuatan lenturan dan modulus kekenyalan komposit RH/rHDPE



RAJAH 3. Kekuatan hentaman komposit RH/rHDPE

Rajah 4(a) dan 4(b) menunjukkan mikrograf SEM permukaan patah bagi sampel komposit rHDPE tulen serta komposit RH/rHDPE pada komposisi 30 % bt. sekam padi. Liang antara sekam padi dan rHDPE dalam mikrograf menjelaskan bahawa gentian telah tersebar dengan heterogen pada matriks polimer rHDPE seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4(b). Hal ini jelas menunjukkan bahawa gentian tertanam dalam matriks dengan kukuh dan interaksi antara muka yang baik antara gentian RH dan matriks wujud (Adhikary et al. 2008a; Ghani et al. 2016).

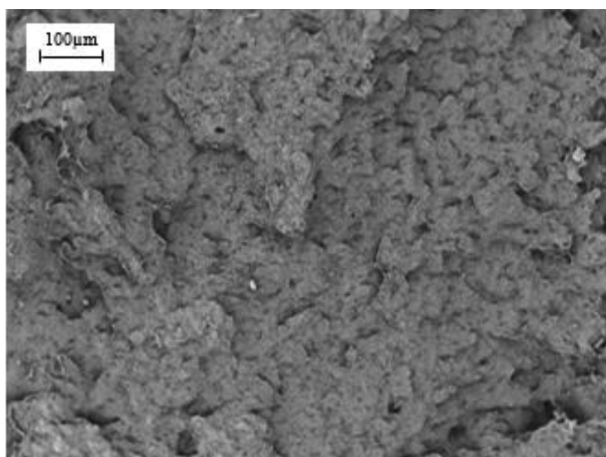
KESIMPULAN

Kaedah tindak balas permukaan (RSM) telah digunakan untuk mengoptimalkan penyediaan biokomposit rHDPE berpenguat sekam padi sebagai pengisi dengan menggunakan

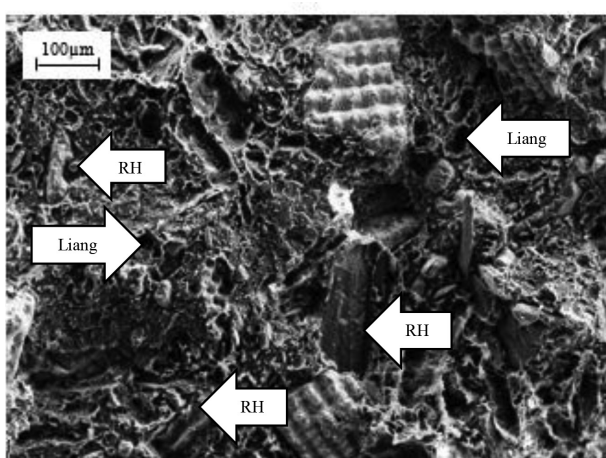
reka bentuk Box-Benhken. Nilai pekali penentu berbilang, R^2 memberikan nilai 98.74% dan ini bermaksud model kuadratik yang dibina ini sah dan boleh diterima pakai dan digunakan untuk meramal sifat mekanik kekuatan tegangan komposit sekam padi berpenguat rHDPE. Parameter pemrosesan yang optimum adalah pada suhu 180°C, tekanan 1000 psi dan masa penekanan 9 min. Sifat tegangan, lenturan, kekuatan hentaman serta morfologi komposit dibincangkan dengan menggunakan parameter optimum yang diperoleh daripada kaedah tindak balas permukaan.

PENGHARGAAN

Penulis merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada Kementerian Pengajian Tinggi (KPT), Malaysia di bawah tajaan MyPHD serta sokongan kewangan di bawah Skim



(a)



(b)

RAJAH 4. Mikrograf SEM (a) rHDPE dan (b) komposit rHDPE/RH (30 % bt.) (p/s, untuk rajah 4b, sila rujuk pdf file)

Geran Penyelidikan Jangka Panjang (LRGS/TD/2012/USM-UKM/PT/05) dan DIP-2017-001.

RUJUKAN

- Adhikary, K.B., Pang, S. & Staiger, M.P. 2008a. Dimensional stability and mechanical behaviour of wood-plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (Hdpe). *Composites Part B: Engineering* 39(5): 807-815.
- Ashori, A. 2008. Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries! *Bioresour. Technol.* 99(11): 4661-4667.
- Askeland, D.R., Fulay, P.P. & Wright, W.J. 2010. *The Science and Engineering of Materials*. Stamford: Cengage Learning Inc.
- Chang, B.P., Akil, H.M., Affendy, M.G., Khan, A. & Nasir, R.B.M. 2014. Comparative study of wear performance of particulate and fiber-reinforced nano-ZnO/ultra-high molecular weight polyethylene hybrid composites using response surface methodology. *Materials & Design* 63: 805-819.
- Chen, R.S., Ghani, M.H.A., Ahmad, S., Salleh, M.N. & Tarawneh, M.A.A. 2015. Rice husk flour biocomposites based on recycled high-density polyethylene/polyethylene terephthalate blend: Effect of high filler loading on physical, mechanical and thermal properties. *Journal of Composite Materials* 49(10): 1241-1253.
- Duy Tran, T., Dang Nguyen, M., Thuc, C., Thuc, H.H. & Dang Tan, T. 2013. Study of mechanical properties of composite material based on polypropylene and Vietnamese rice husk filler. *Journal of Chemistry* 2013: Article ID. 752924.
- Ghani, M.H.A., Salleh, M.N., Chen, R.S., Ahmad, S., Hanafi, I., Royan, N.R.R. & Idris, M.N. 2016. Kajian sifat mekanik nanokomposit epoksi berpenguat gentian hibrid nantoanotub karbon dan nanozarah tanah liat. *Sains Malaysiana* 45(8): 1259-1263.
- Grozdanov, A., Buzarovska, A., Bogoeva-Gaceva, G., Avella, M., Errico, M. & Gentile, G. 2006. Rice straw as an alternative reinforcement in polypropylene composites. *Agronomy for Sustainable Development* 26(4): 251.
- Hamid, M.R.Y., Ab Ghani, M.H. & Ahmad, S. 2012. Effect of antioxidants and fire retardants as mineral fillers on the physical and mechanical properties of high loading hybrid biocomposites reinforced with rice husks and sawdust. *Industrial Crops and Products* 40: 96-102.
- Li, R., Ye, L. & Mai, Y.W. 1997. Effect of polyethylene particle geometry on mechanical properties of compression moulded wood-polyethylene composites. *Plastics Rubber and Composites Processing and Applications* 26(8): 368-371.
- Lv, C., Wang, Y., Wang, L.J., Li, D. & Adhikari, B. 2013. Optimization of production yield and functional properties of pectin extracted from sugar beet pulp. *Carbohydrate Polymers* 95(1): 233-240.
- Miguez Suarez, J.C., Coutinho, F.M.B. & Sydenstricker, T.H. 2003. Sem studies of tensile fracture surfaces of polypropylene-sawdust composites. *Polymer Testing* 22(7): 819-824.
- Najafi, A. & Khademi-Eslam, H. 2011. Lignocellulosic filler/recycled Hdpe composites: Effect of filler type on physical and flexural properties. *BioResources* 6(3): 2411-2424.
- Nourbakhsh, A., Baghlani, F.F. & Ashori, A. 2011. Nano-Sio2 filled rice husk/polypropylene composites: Physico-mechanical properties. *Industrial Crops and Products* 33(1): 183-187.
- Premalal, H.G.B., Ismail, H. & Baharin, A. 2002. Comparison of the mechanical properties of rice husk powder filled polypropylene composites with talc filled polypropylene composites. *Polymer Testing* 21(7): 833-839.
- Selke, S.E. & Wichman, I. 2004. Wood fiber/polyolefin composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 35(3): 321-326.
- Syafri, R., Ahmad, I. & Abdullah, I. 2011. Effect of rice husk surface modification by Lenr the on mechanical properties of Nr/Hdpe reinforced rice husk composite. *Sains Malaysiana* 40(7): 749-756.
- Tong, J.Y., Royan, N.R.R., Ng, Y.C., Ab Ghani, M.H. & Ahmad, S. 2014. Study of the mechanical and morphology properties of recycled Hdpe composite using rice husk filler. *Advances in Materials Science and Engineering* 2014: Article ID 938961.
- Wang, X., Sun, H., Bai, H. & Zhang, L.P. 2014. Thermal, mechanical, and degradation properties of nanocomposites prepared using lignin-cellulose nanofibers and poly (lactic acid). *BioResources* 9(2): 3211-3224.
- Yam, K.L., Gogoi, B.K., Lai, C.C. & Selke, S.E. 1990. Composites from compounding wood fibers with recycled high density polyethylene. *Polymer Engineering & Science* 30(11): 693-699.

- Yang, H.S., Wolcott, M.P., Kim, H.S., Kim, S. & Kim, H.J. 2007b. Effect of different compatibilizing agents on the mechanical properties of lignocellulosic material filled polyethylene bio-composites. *Composite Structures* 79(3): 369-375.
- Yang, W., Hu, Y., Tai, Q., Lu, H., Song, L. & Yuen, R.K. 2011. Fire and mechanical performance of nanoclay reinforced glass-fiber/Pbt composites containing aluminum hypophosphite particles. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 42(7): 794-800.
- Yao, F., Wu, Q., Liu, H., Lei, Y. & Zhou, D. 2011. Rice straw fiber reinforced high density polyethylene composite: Effect of coupled compatibilizing and toughening treatment. *Journal of Applied Polymer Science* 119(4): 2214-2222.
- Zini, E. & Scandola, M. 2011. Green composites: An overview. *Polymer Composites* 32(12): 1905-1915.

Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan
Malaysia

Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan
Malaysia

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: ry_nish@yahoo.com

Diserahkan: 24 Mac 2017

Diterima: 9 Jun 2017