

Pembandingan Kesan Faktor Pelekangan (F_d) ke atas Bahan Komposit Plastik Bertetulang Ekaarah dan Bertenun semasa Proses Pemesinan Kisar

(Comparison Effect of Delamination Factor (F_d) on Unidirectional and Woven Kenaf Fibre Reinforced Plastic Composite Materials during Milling Process)

H. AZMI, C.H. CHE HARON*, J.A. GHANI & M. SUHAILY

ABSTRAK

Serabut kenaf merupakan salah satu serabut berasaskan tumbuhan di dalam kumpulan serabut asli yang semakin luas penggunaannya. Serabut kenaf dicampurkan dengan bahan plastik (epoksi) bagi menghasilkan suatu bahan baharu dengan sifat mekanikal yang baik dengan kos pembuatan yang rendah. Bahan kerja ini terbahagi kepada dua jenis iaitu serabut kenaf ekaarah dan serabut kenaf tenunan. Uji kaji ini akan menumpukan kepada pembandingan kesan faktor pelekangan F_d yang terhasil semasa proses pemesinan kisar ke atas bahan komposit tersebut dengan penentuan set parameter mesin yang paling optimum bagi mengurangkan kesan F_d . Uji kaji dijalankan berdasarkan analisis kaedah gerak balas permukaan (RSM) dengan pendekatan reka bentuk Box-Behnken bagi mendapatkan hasil faktor bersandar terhadap sambutan. Faktor yang terlibat adalah kelajuan pemotongan, kadar suapan dan kedalaman pemotongan. Proses pengisaran secara lurus (lurah) dilakukan bagi melihat kesan F_d yang terhasil dengan menggunakan perkakasan mata alat jenis Keluli Berkelajuan Tinggi (HSS) tidak bersalut hujung rata berdiameter 10 mm. Imej daripada mikroskop menunjukkan bahan komposit serabut kenaf ekaarah menghasilkan faktor pelekangan yang tinggi berbanding kesan ke atas bahan komposit serabut kenaf bertenenun. Bagi set parameter optimum pula, bahan kerja serabut kenaf ekaarah ialah kelajuan pemotongan, kadar suapan dan kedalaman pemotongan yang rendah. Manakala bagi bahan kerja serabut kenaf bertenenun, set parameter optimum adalah kelajuan pemotongan yang rendah dengan kadar suapan dan kedalaman pemotongan yang tinggi.

Kata kunci: Faktor pelekangan; optimum; RSM Box-Behnken

ABSTRACT

Kenaf fibre is a fibre-based plant in the natural fibre group that is becoming more widely used. Kenaf fibre was mixed with polymer (epoxy) materials to develop a new material with good mechanical properties with low manufacturing costs. The workpiece is divided into two types which is the unidirectional kenaf fibre and the woven kenaf fibre. The experiment will focus on comparison the effect of delamination factor (F_d) which was produced during milling process on that materials with the most optimum set of parameter to reduce the effects of F_d . This experiment will be conducted based on roughness surface methodology (RSM) analysis with the Box-Behnken Design approach to get the effects of dependant factors on response. The factors involved are cutting speed, feed rate and depth of cut. The straight line (slotting) milling process will be conducted to indentify the effect of F_d using high speed steel (HSS) uncoated and tungsten carbide uncoated end milling with 10 mm diameter cutting tools. Image from microscope shown the unidirectional kenaf fibre composite material has a high delamination factor compared to effect on woven kenaf fibre composite material. On optimum parameter setting, unidirectional kenaf fibre workpiece is low cutting speed, feed rate and depth of cut. While for woven kenaf fibre workpiece, the optimum parameter setting is low cutting speed with high feed rate and depth of cut.

Keywords: Delamination factor; optimization; RSM Box-Behnken

PENGENALAN

Kenaf atau nama saintifiknya *Hibiscus cannabinus* L. merupakan salah satu jenis tumbuhan yang boleh diproses menjadi serabut untuk digunakan sebagai tali berpintal atau dijadikan kertas (Lembaga Kenaf dan Tembakau Negara). Tumbuhan kenaf ini juga banyak didapati di Malaysia terutamanya di negeri Kelantan yang dikendalikan oleh Lembaga Kenaf dan Tembakau Negara (LKTN) di bawah

Kementerian Perusahaan Perladangan dan Komoditi. Batang tumbuhan kenaf ini mempunyai dua bahagian yang sangat berguna iaitu bahagian luar (bahagian kulit, mengandungi 40% berat daripada berat batang kering) dan bahagian dasar batang (Lembaga Kenaf dan Tembakau Negara). Selain dijadikan tali dan kertas, kenaf juga diproses untuk dijadikan serabut. Serabut kenaf dihasilkan dengan menggunakan tiga bahagian pokok kenaf iaitu

basta, dasar dan empulur. Serabut kenaf daripada bahagian basta mempunyai sifat mekanikal yang lebih baik berbanding serabut kenaf yang dihasilkan dengan bahagian dasar dan empulur (Zampaloni et al. 2007). Serabut kenaf merupakan salah satu bahan di dalam kumpulan serabut asli yang digunakan sebagai bahan mentah kepada bahan komposit plastik bertetulang berserabut. Huda et al. (2006) mendapati bahawa serabut asli mempunyai ketumpatan yang rendah iaitu $1.2 - 1.6 \text{ g/cm}^3$ berbanding serabut kaca dengan ketumpatan 2.5 g/cm^3 . Dengan ini menjadikan bahan komposit serabut asli lebih ringan berbanding bahan komposit serabut tiruan. Begitu juga daripada sudut perbandingan harga, serabut asli lebih murah pada kadar US\$0.30 - US\$0.55/kg berbanding serabut kaca pada kadar US\$1.20 - US\$1.50/kg (Huda et al. 2006). Selain itu, bahan berasaskan serabut asli boleh dikitar semula dan selamat digunakan dalam mana-mana persekitaran. Bagi penyelidikan ini, dua jenis bentuk serabut kenaf digunakan di dalam bahan komposit ini iaitu; serabut kenaf ekaarah dan serabut kenaf tenunan. Tujuan penggunaan bahan komposit ini sebagai benda-kerja di dalam proses pemesian kisar ialah bagi melihat kesan kebolehmesian terutama kesan faktor pelekatan ke atas bahan tersebut.

Proses pemesian kisar merupakan satu proses yang digunakan bagi mendapatkan kemasan akhir, ketepatan dan kejituan dimensi yang baik. Terdapat beberapa kaedah pemesian kisar yang digunakan seperti proses pengisaran permukaan, pengisaran persisian dan pengisaran hujung (Kalpakjian & Schmid 2010). Dalam uji kaji ini, proses pemesian kisar digunakan bagi menghasilkan lurah ke atas benda-kerja dengan berorientasikan 0° dan 90° arah bagi serabut kenaf tenunan dan tidak berorientasi bagi serabut kenaf ekaarah melalui set parameter yang telah ditetapkan. Proses pengisaran lurah ini amatlah penting bagi tujuan proses penyambungan di antara bahagian produk. Bagi menghasilkan lurah pada benda-kerja, pemesian konvensional merupakan proses yang paling sesuai bagi tujuan tersebut (Babu et al. 2013). Proses pemesian kisar ini dilakukan dengan menggunakan mata-alat keluli berkelajuan tinggi (HSS) tidak bersalut hujung rata dengan empat flut berdiameter 10 mm. Proses ini dilakukan bagi melihat kesan F_d yang terhasil semasa proses pemesian kisar yang perlu dikawal agar tidak menjadi lebih teruk dan akhirnya mencacatkan benda-kerja yang dikisar. Perkara yang mempengaruhi kesan ke atas nilai F_d ini adalah pelarasan parameter mesin di dalam proses pemesian kisar. Parameter yang terlibat ialah kelajuan pemotongan, kadar suapan dan kedalaman pemotongan (Puw & Hocheng 1995) mendapati nilai F_d akan menjadi lebih teruk sekiranya proses pemesian kisar dilakukan dengan menggunakan kadar suapan yang tinggi. Davim et al. (2007) pula telah membuat penyelidikan pemesian ke atas bahan komposit serabut kaca dan mendapati kelajuan pemotongan serta kadar suapan paling mempengaruhi kesan secara langsung terhadap nilai F_d . Dalam salah satu penyelidikan ke atas bahan komposit plastik bertetulang berserabut, Davim et al. (2007, 2005) mendapati nilai F_d menjadi lebih tinggi dengan penggunaan kelajuan pemotongan dan kadar suapan yang tinggi. Kajian

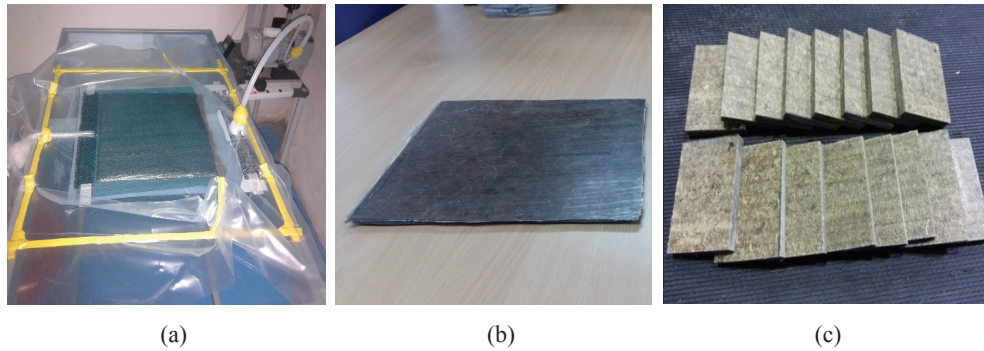
kesan nilai F_d ke atas benda-kerja bahan komposit plastik bertetulang serabut kenaf ini bertujuan bagi menentukan nilai parameter mesin yang paling optimum dalam proses pemesian kisar. F_d merupakan kesan yang perlu dikawal melalui penggunaan parameter mesin sesuai bagi tujuan mengawal kualiti produk atau bahan yang dikisar melalui proses pemesian. Dengan contoh daripada penyelidik lain (seperti rujukan sebelum ini) menunjukkan nilai F_d memberi kesan yang penting ke atas kualiti pemesian kisar sesuatu bahan terutama bahan-bahan baharu yang digunakan di dalam industri pembuatan. Penggunaan dua jenis bahan benda-kerja iaitu serabut kenaf ekaarah dan serabut kenaf tenunan adalah bagi melihat perbezaan kesan F_d ke atas kedua-dua bahan tersebut.

Kaedah Gerak Balas Permukaan (RSM) merupakan satu kaedah yang digunakan bagi melakukan analisis ke atas data uji kaji yang diperoleh. Kaedah ini menggunakan set statistik dan model matematik yang membantu dalam membangun, mempertingkatkan dan mengoptimumkan sesuatu proses (Myers et al. 2009). Penggunaan RSM dalam penyelidikan ini adalah bagi mendapatkan hubungan antara sambutan pengukuran dengan nilai faktor atau pemboleh ubah yang digunakan. Hubungan ini merupakan nilai fungsi polinomial normal manakala model parameter pengisaran diperoleh melalui jumlah uji kaji yang dihasilkan dengan menggunakan perisian reka bentuk uji kaji (Alauddin et al. 1997). Gabungan set parameter dan larian uji kaji boleh diperoleh dengan menggunakan kaedah 2-tingkat faktor dalam reka bentuk uji kaji seperti fungsi orthogonal 2^3 . Fungsi orthogonal ini digunakan bagi tujuan pengimbasan ke atas faktor yang penting dengan membangunkan model rumusan bagi menghasilkan lengkungan. Dengan terhasilnya lengkungan ini, proses penggunaan RSM boleh diteruskan kepada reka bentuk tingkat-dua (Reka bentuk Komposit Berpusat, CCD) atau reka bentuk tingkat-tiga (Reka bentuk Box-Behnken) bagi mendapatkan nilai parameter pengisaran yang paling optimum (Myers et al. 2009). Uji kaji ini menggunakan analisis reka bentuk Box-Behnken bagi mendapatkan nilai set parameter mesin yang paling optimum dalam proses pemesian kisar benda-kerja bahan komposit plastik bertetulang serabut kenaf.

BAHAN DAN KAEDAH

BENDA-KERJA

Benda-kerja yang digunakan dalam uji kaji ini ialah bahan komposit plastik bertetulang serabut kenaf. Bahan komposit ini terdiri daripada dua unsur bahan mentah iaitu serabut kenaf dan epoksi yang dicampurkan dengan bahan pengeras. Serabut kenaf yang digunakan terdiri daripada dua bentuk iaitu bentuk serabut ekaarah (tidak berorientasi) dan serabut tenunan (orientasi 0° dan 90°). Benda-kerja bahan komposit plastik bertetulang serabut kenaf ekaarah dihasilkan dengan menggunakan proses Acuan Pemindah Resin Bantuan Vakum (VARTM). Nisbah campuran epoksi dan bahan pengeras ialah 4:1 dengan sebanyak 800 g epoksi dan 200 g bahan pengeras. Dua lapisan serabut



RAJAH 1. (a) Proses VARTM, (b) benda-kerja berukuran asal dan (c) benda-kerja yang telah dipotong

JADUAL 1. Sifat mekanikal serabut kenaf dan bahan epoksi

Sifat mekanikal	Serabut kenaf ekaarah	Serabut kenaf tenunan	Bahan epoksi
Diameter	43.47 μm (purata)	55.27 μm (purata)	-
Kelikatan	-	-	1200 mPa.s
Ketumpatan	1.193 g/cm^3	1.222 g/cm^3	1.13 g/cm^3
Modulus tegangan	14-38 GPa	51.98 GPa	3.60 GPa
Tegangan terikan	240-600 MPa	504.78 MPa	67 MPa

Sumber: Summerscales et al. (2010) dan Wambua et al. (2003)

kenaf berukuran $250 \times 250 \times 5$ mm setiap lapisan telah digunakan di dalam uji kaji ini. Bahan campuran epoksi dan pengeras akan disedut masuk ke dalam acuan dengan pam vakum bertekanan 15 psi dan dibiarkan selama hampir 23 jam (Rajah 1(a)). Benda-kerja yang terhasil mempunyai ukuran $(250 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}) \times (250 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}) \times (8 \text{ mm} - 10 \text{ mm})$. Benda-kerja ini dipotong kepada ukuran yang lebih iaitu $(75 \text{ mm}) \times (30 \text{ mm}) \times (8 \text{ mm} - 10 \text{ mm})$ bagi tujuan proses pemesinan kasar. Rajah 1(b) menunjukkan benda-kerja yang telah dihasilkan, manakala Rajah 1(c) menunjukkan benda-kerja yang telah dipotong kepada ukuran yang lebih kecil. Bagi benda-kerja bahan komposit plastik bertetulang serabut kenaf tenunan pula, telah diperolehi daripada pembekal yang dilantik iaitu syarikat Autocomposite Sdn. Bhd. Jadual 1 menunjukkan sifat serabut kenaf dan epoksi yang digunakan dalam uji kaji ini.

KAEDAH PEMESINAN KISAR

Proses pemesinan kasar ke atas benda-kerja bahan komposit plastik bertetulang serabut kenaf ini dilakukan dengan menggunakan mesin kasar Kawalan Berangka Komputer (CNC). Proses pemesinan kasar ini dilakukan dengan menggunakan sistem kod G dan kod M yang mudah. Pergerakan bindul yang memegang mata-alat pemotongan akan bergerak secara lurus bagi membentuk lurah pada benda-kerja dengan menggunakan set parameter yang

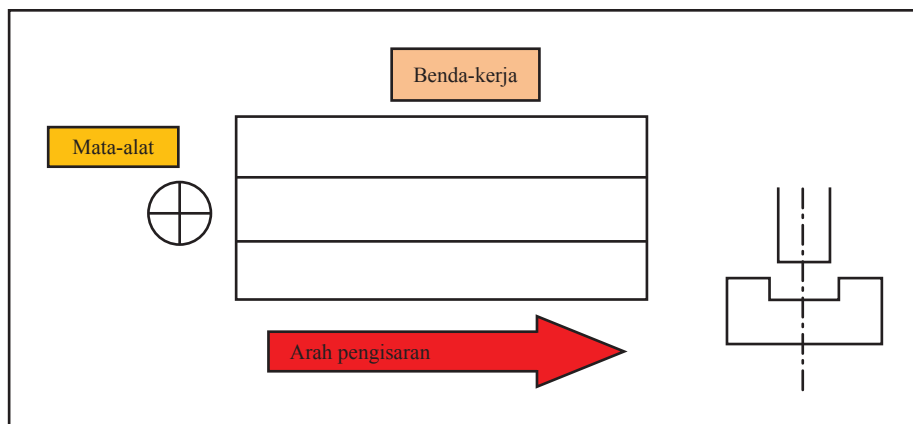
telah ditetapkan (Rajah 2). Mata-alat pemotongan yang digunakan ialah jenis keluli berkelajuan tinggi (HSS) tidak bersalut berdiameter 10 mm dengan 4 flut (Babu et al. 2013). Set parameter mesin yang digunakan di dalam proses pemesinan kasar ini adalah merujuk kepada penyelidik yang telah membuat penyelidikan ke atas bahan komposit serabut asli (Babu et al. 2013). Jadual 2 menunjukkan set parameter mesin kasar yang digunakan. Set parameter ini akan dilaraskan menggunakan perisian komputer *Design Expert* Kaedah Gerak Balas Permukaan (RSM) dengan pendekatan Reka bentuk Box-Behnken. Pemilihan tiga faktor pemboleh ubah iaitu kelajuan pemotongan, kadar suapan dan kedalaman pemotongan akan dijulatkan dengan tiga aras pemesinan (rendah, tengah, tinggi). Di dalam perisian komputer ini hanya julat paras rendah dan tinggi sahaja yang dimasukkan, manakala julat tengah akan dikira di dalam perisian komputer dengan merujuk kepada nilai paras rendah dan tinggi. Sebanyak 12 larian uji kaji teras dan ditambah dengan 5 titik tengah larian telah menjadikan pelarasan uji kaji sebanyak 17 larian bagi setiap benda-kerja yang dikisar.

PENGUKURAN FAKTOR PELEKANGAN (F_d)

Pelekangan merupakan salah satu kesan kebolehmehmesinan yang terhasil semasa proses pemesinan kasar. Pengukuran F_d hanya boleh diukur selepas proses pemesinan kasar

JADUAL 2. Set parameter mesin kasar

Parameter Kisar	Paras		Tukar kepada unit Matrik	Parameter Kisar	Paras	
	Rendah	Tinggi			Rendah	Tinggi
Kelajuan Bindul (m/mm)	16	32		Kelajuan Bindul (rpm)	500	1000
Kadar suapan (mm/tooth)	0.10	0.3		Kadar suapan (mm/min)	200	1200
Kedalaman pemotongan (mm)	1	3		Kedalaman pemotongan (mm)	1	3



RAJAH 2. Ilustrasi proses pemesinan kasar

dilakukan. F_d merupakan lebar ukuran maksimum pelekangan dinisbahkan dengan lebar ukuran sebenar pemesinan. Pengukuran jumlah maksimum pelekangan dilakukan dengan menggunakan Mikroskop Imbasan Elektron (SEM). Jumlah ini akan dinisbahkan dengan ukuran sebenar pemesinan (Rajah 3) menggunakan (1) (Babu et al. 2013). Di dalam uji kaji ini, pengukuran nilai F_d dilakukan dengan 4 bahagian sepanjang benda-kerja yang diuji. Bahagian yang mempunyai nilai ukuran yang paling maksimum diambil sebagai nilai F_d bagi benda-kerja tersebut. Jadual 3 menunjukkan contoh nilai ukuran F_d yang diambil daripada salah satu benda-kerja yang digunakan.

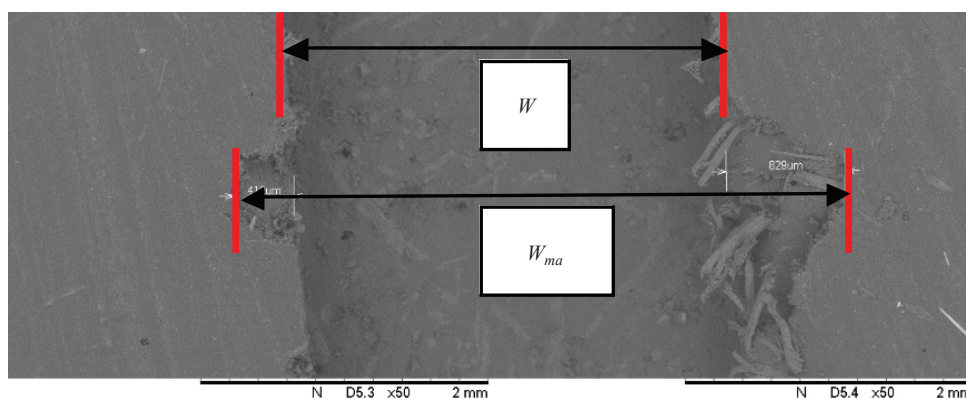
$$F_d = W_{maksimum}/W \tag{1}$$

dengan F_d ialah faktor pelekangan; $W_{maksimum}$ ialah lebar maksimum pelekangan; dan W ialah lebar pemotongan.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

FAKTOR PELEKANGAN (F_d)

Setelah proses pemesinan kasar dilakukan dan pengukuran faktor pelekangan diambil dengan menggunakan Mikroskop Imbasan Elektron (SEM), keputusan direkodkan dalam Jadual 4. Jadual ini merujuk kepada kombinasi parameter yang telah dilaraskan dengan menggunakan perisian Komputer Design Expert Kaedah Gerak Balas Permukaan (RSM) pendekatan Reka bentuk Box-Behnken. Data uji kaji ke atas F_d yang diambil diletakkan ke dalam



RAJAH 3. Ilustrasi pengiraan faktor pelekangan

JADUAL 3. Contoh nilai faktor pelekangan yang diperolehi

Sampel	Kelajuan bindul (rpm)	Kadar suapan (mm/min)	Kedalaman pemotongan (mm)	Kiri (mm)	Kanan (mm)	Nilai Mak.	Jumlah (mm)	F_d
1	500	200	2	0.220	0.125	0.413	10.413	1.041
				0.272	0.141			
				0.139	0.158			
				0.162	0.132			
				0.214	0.086			

JADUAL 4. Keputusan nilai faktor pelekangan bagi kedua-dua jenis benda-kerja

Uji kaji	Kelajuan bindul (rpm)	Kadar suapan (mm/min)	Kedalaman pemotongan (mm)	Komposit serabut kenaf	
				Ekaarah	Tenunan
1	500	200	2	1.041	1.051
2	1000	200	2	1.055	1.038
3	500	1200	2	1.064	1.041
4	1000	1200	2	1.045	1.035
5	500	700	1	1.042	1.068
6	1000	700	1	1.048	1.032
7	500	700	3	1.054	1.048
8	1000	700	3	1.052	1.058
9	750	200	1	1.032	1.053
10	750	1200	1	1.042	1.072
11	750	200	3	1.048	1.061
12	750	1200	3	1.062	1.031
13	750	700	2	1.067	1.037
14	750	700	2	1.038	1.043
15	750	700	2	1.050	1.034
16	750	700	2	1.045	1.047
17	750	700	2	1.043	1.053

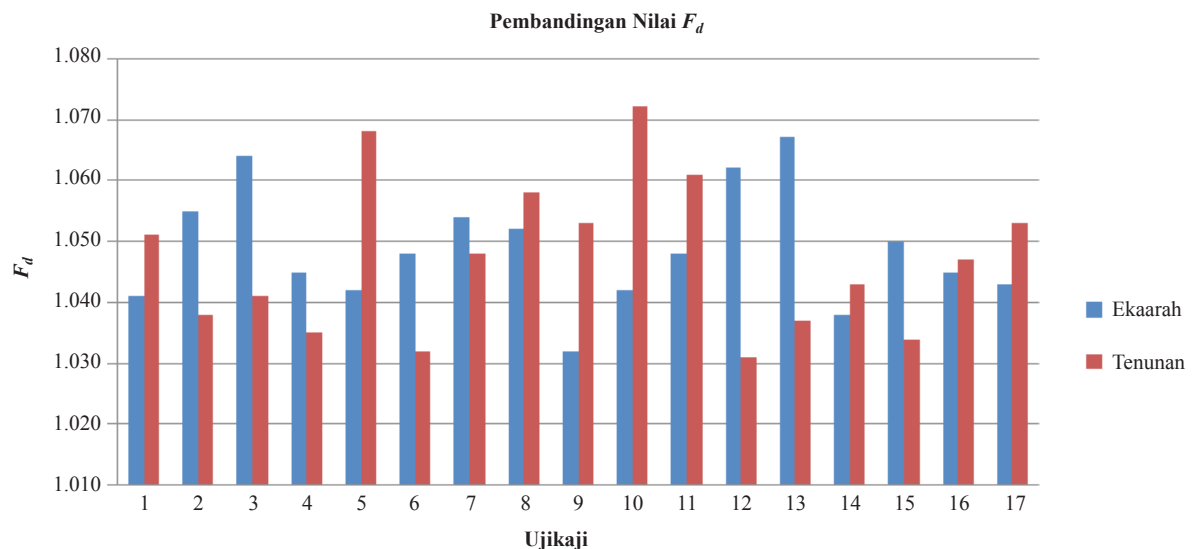
ruang sambutan. Terdapat dua keadaan sambutan iaitu nilai F_d bagi komposit plastik bertetulang serabut kenaf ekaarah dan serabut kenaf tenunan. Data uji kaji yang diambil dianalisis dengan menggunakan kaedah Analisis ke atas Varian (ANOVA) yang terdapat dalam Reka bentuk Box-Behnken. Analisis ini dilakukan bagi mendapatkan dan menentukan faktor yang paling signifikan terhadap F_d ke atas kedua-dua jenis bahan benda-kerja yang dikisar.

Daripada keputusan yang diperoleh melalui pengukuran dan pengiraan F_d , didapati nilai faktor pelekangan yang diperoleh adalah tidak seimbang bagi kedua-dua benda-kerja. Merujuk kepada keputusan pada graf perbandingan (Rajah 4) bacaan nilai F_d yang tertinggi dan terendah adalah pada benda-kerja serabut kenaf ekaarah nilai tertinggi pada uji kaji ke-10 iaitu sebanyak 1.072 dan nilai terendah pada uji kaji ke-12 iaitu sebanyak 1.031. Manakala bagi benda-kerja bahan serabut kenaf ekaarah,

nilai F_d yang paling tinggi adalah pada larian uji kaji ke-13 dengan nilai 1.067. Bagi nilai terendah pula adalah pada larian uji kaji ke-9 dengan nilai 1.032. Nilai purata faktor pelekangan adalah 1.049 bagi serabut kenaf ekaarah dan 1.047 bagi serabut kenaf tenunan. Ini menunjukkan F_d yang terhasil adalah disebabkan serabut benda-kerja tertarik keluar semasa proses kisar yang merosakkan bahagian lapisan paling atas benda-kerja serta daya pemotongan dan daya apitan ragum yang memberikan tekanan semasa proses kisar. Situasi F_d yang tidak seimbang ini juga turut berlaku ke atas benda-kerja bahan komposit serabut asli yang dikaji oleh Babu et al. (2013).

ANALISIS KE ATAS VARIAN (ANOVA)

Melalui Kaedah Gerak Balas Permukaan (RSM) pendekatan Reka bentuk Box-Behnken, data dianalisis dengan



RAJAH 4. Carta perbandingan nilai faktor pelekangan bagi kedua-dua jenis benda-kerja

menggunakan kaedah Analisis ke atas Varian (ANOVA). Data akan dianalisis secara statistik yang akan menghasilkan nilai faktor-faktor yang penting ke atas data yang dimasukkan. ANOVA juga menghasilkan model matematik yang akan digunakan sebagai perbandingan ke atas nilai F_d yang diperolehi dengan menggunakan parameter pemesinan paling optimum. Parameter mesin adalah Kelajuan Bindul (A), Kadar Suapan (B) dan Kedalaman Pemetongan (C).

Melalui ANOVA, model analisis ke atas kedua-dua jenis bahan benda-kerja ini adalah model 2FI. Model 2FI menunjukkan faktor yang penting dengan nilai P mesti kecil daripada nilai alfa 0.05 (Myers et al. 2009). Mana-mana faktor yang besar daripada nilai alfa, faktor tersebut akan dikeluarkan daripada model. Sekiranya faktor mempunyai sifat saling tidak antara faktor, maka faktor yang mempunyai nilai P yang besar daripada nilai alfa akan diterima. Selain itu model mestilah signifikan dan padanan kurang tepat pula mestilah tidak signifikan. Merujuk kepada Jadual 5 dan 6, model bagi benda-kerja bahan komposit serabut kenaf tenunan (0.0367) dan bahan komposit serabut kenaf ekaarah (0.0371) adalah signifikan dan padanan kurang tepat tidak signifikan. Maka model ini boleh diterima dan analisis diteruskan. Faktor yang signifikan dan menyumbang kepada kesan F_d bagi benda-kerja bahan komposit serabut kenaf ekaarah ialah C (0.0278) dan AB (0.0444). Bagi faktor A (0.9624) dan B (0.1004) adalah tidak signifikan kerana nilai P adalah lebih besar daripada nilai alfa. Walau bagaimanapun,

kedua-dua faktor ini tidak boleh dikeluarkan kerana terdapatnya faktor yang saling tidak AB. Manakala bagi benda-kerja bahan komposit serabut kenaf tenunan pula, faktor yang signifikan dan menyumbang kepada kesan F_d ialah BC (0.0232) dan AC (0.0311). Faktor A (0.1154), B (0.3815) dan C (0.3271) adalah tidak signifikan. Walau bagaimanapun, faktor ini tidak boleh dikeluarkan kerana terdapatnya faktor saling tidak BC dan AC yang mempunyai sumbangan terhadap kesan F_d .

KEPUTUSAN GRAF FAKTOR

KOMPOSIT PLASTIK BERTETULANG SERABUT KENAF TENUNAN

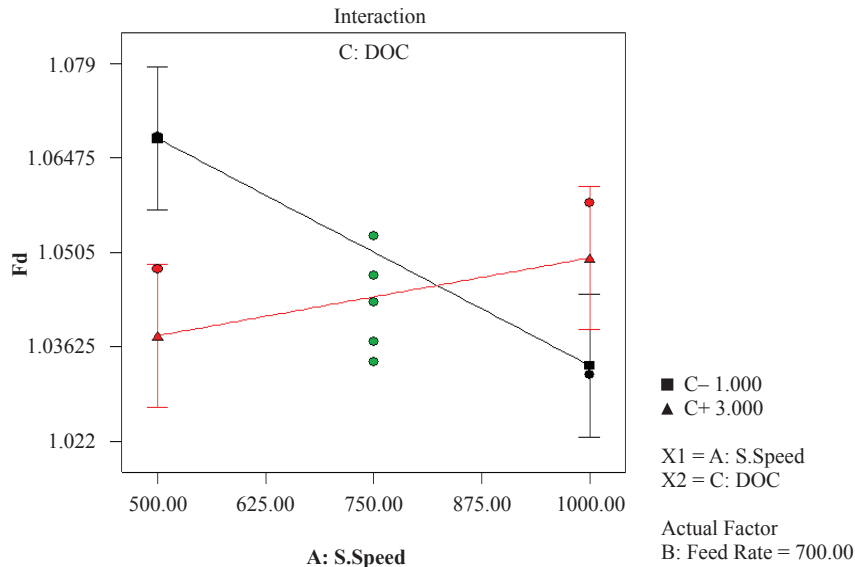
Merujuk kepada keputusan yang diperolehi daripada analisis ANOVA, didapati hubungan saling tidak faktor AC dan BC telah memberikan sumbangan ke atas kesan F_d bagi benda-kerja bahan komposit serabut kenaf tenunan. Maka terdapat dua graf yang terhasil iaitu graf saling tidak faktor AC dan graf saling tidak faktor BC. Rajah 5(a) menunjukkan graf saling tidak faktor AC. Garisan hitam menunjukkan kedalaman pemetongan pada aras bawah (1 mm) manakala garisan merah bagi aras atas (3 mm) dengan nilai faktor B (kadar suapan) pada 700 mm/mim. Oleh yang demikian, dapat dilihat kelajuan bindul yang tinggi dan kedalaman pemetongan pada aras atas memberikan kesan F_d yang tinggi. Bagi Rajah 5(b) graf saling tidak faktor BC, garisan hitam menunjukkan

JADUAL 5. Keputusan ANOVA bagi benda-kerja bahan komposit serabut kenaf ekaarah

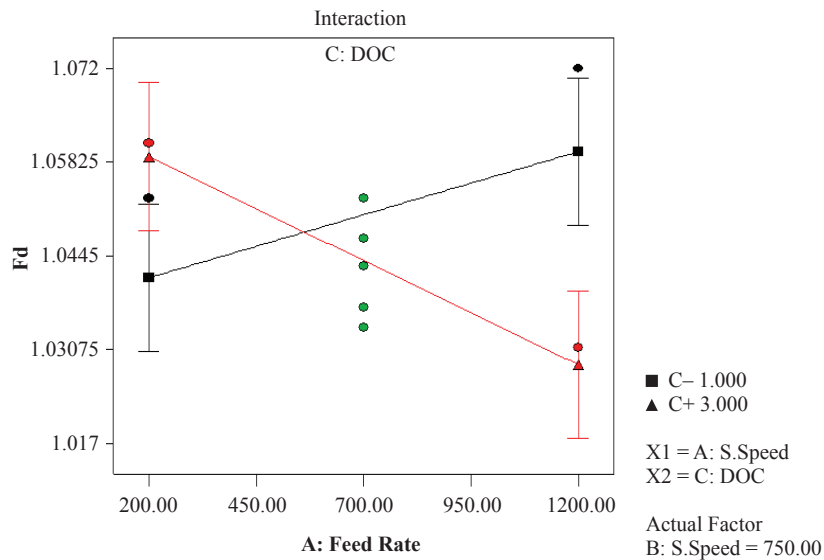
Punca	Jumlah punca kuasa	Peratus kebebasan	Punca kuasa min	Nilai F	Nilai-p Prob > F	
Model	7.82E-004	4	1.95E-004	3.62	0.0371	Signifikan
A-Kelajuan bindul	1.25E-007	1	1.25E-007	2.32E-03	0.9624	
B-Kadar suapan	1.71E-004	1	1.71E-004	3.17	0.1004	
C-Kedalaman Pemetongan	3.38E-004	1	3.38E-004	6.26	0.0278	
AB	2.72E-004	1	2.72E-004	5.04	0.0444	
Baki	6.48E-004	12	5.400E-005	-	-	
Padanan kurang tepat	1.51E-004	8	1.88E-005	0.15	0.9881	Tidak Signifikan
Ralat tulen	4.97E-004	4	1.24E-004	-	-	

JADUAL 6. Keputusan ANOVA bagi benda-kerja bahan komposit serabut kenaf tenunan

Punca	Jumlah punca kuasa	Peratus kebebasan	Punca kuasa min	Nilai F	Nilai-p Prob > F	
Model	1.545E-004	5	3.091E-004	3.57	0.0367	Signifikan
A-Kelajuan Bindul	2.531E-004	1	2.531E-004	2.92	0.1154	
B-Kadar Suapan	7.200E-005	1	7.200E-005	0.83	0.3815	
C-Kedalaman Pemetongan	9.113E-005	1	9.113E-005	1.05	0.3271	
AC	5.290E-004	1	5.290E-004	6.11	0.0311	
BC	6.003E-004	1	6.003E-004	6.93	0.0233	
Baki	9.530E-004	11	8.663E-005	-	-	
Padanan kurang tepat	7.202E-004	7	1.021E-004	1.77	0.3040	Tidak Signifikan
Ralat Tulen	2.328E-004	4	5.820E-005	-	-	



RAJAH 5 (a). Graf saling tidak bagi faktor AC



RAJAH 5 (b). Graf saling tidak bagi faktor BC

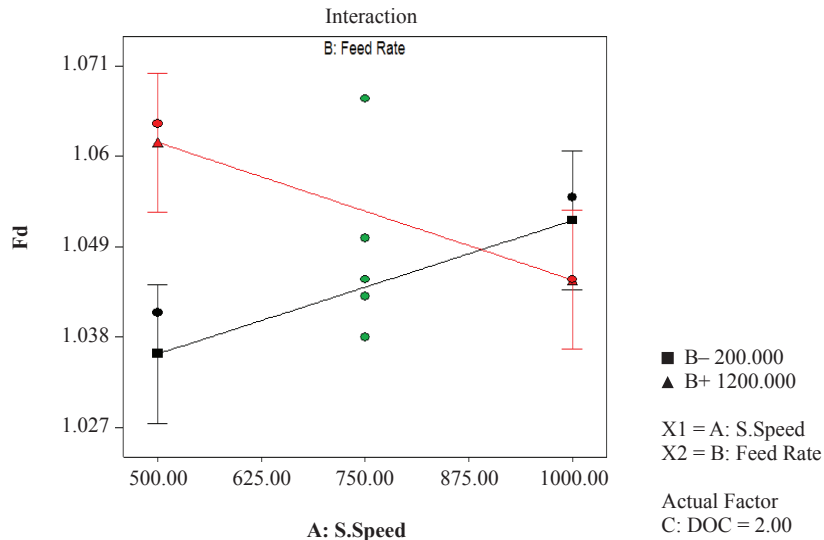
kedalaman pemotong pada aras bawah (1 mm), manakala garisan merah pada aras atas (3 mm) dengan faktor A (kelajuan bindul) pada 750 rpm. Dapat dilihat kadar suapan yang tinggi dan kedalaman pemotongan pada aras bawah akan menghasilkan F_d yang tinggi.

KOMPOSIT PLASTIK BERTETULANG SERABUT KENAF EKAARAH

Rajah 6 menunjukkan keputusan graf yang terhasil daripada faktor yang memberi sumbangan yang tinggi ke atas kesan F_d benda-kerja bahan komposit plastik bertetulang serabut kenaf ekaarah. Faktor yang terlibat ialah faktor AB. Garisan hitam menunjukkan kadar suapan pada aras rendah (200 mm/min), manakala garisan merah merujuk kepada kadar suapan pada aras tinggi (1200 mm/min). Dengan nilai kedalaman pemotongan 2 mm, didapati kelajuan bindul yang rendah dan kadar suapan yang tinggi

menghasilkan kesan F_d yang tinggi. Manakala sekiranya nilai kadar suapan pada paras atas dan kelajuan bindul pada nilai rendah, maka nilai kesan F_d adalah rendah.

Keputusan pada kedua-dua benda-kerja ini tidak menunjukkan kesamaan dengan keputusan Davim et al. (2013), pemesinan kisar bahan komposit serabut kaca (Babu et al. 2012) dan pemesinan kisar bahan komposit serabut asli (selain serabut kenaf) yang mendapati kelajuan bindul dan kadar suapan yang tinggi akan menghasilkan F_d yang tinggi. Mungkin keadaan ini berlaku kerana penggunaan bahan asas iaitu serabut kenaf ekaarah dan tenunan mempunyai sifat yang berbeza dengan bahan asas serabut asli yang lain dan serabut kaca. Selain itu juga, faktor pemesinan yang lain seperti daya pemotongan juga turut memberikan kesan ke atas F_d ini. Selain daripada set parameter yang digunakan, kejadian tarik keluar serabut semasa proses kisar juga memberikan kesan secara langsung ke atas kesan F_d .



RAJAH 6. Graf saling tidak bagi faktor BC

JADUAL 7. Parameter optimum bagi kedua-dua jenis bahan benda-kerja

Perkara	Komposit plastik bertetulang serabut kenaf	
	Serabut kenaf tenunan	Serabut kenaf ekaarah
Kelajuan bindul (rpm)	996	530
Kadar suapan (mm/min)	240	210
Kedalaman pemotongan (mm)	1	1
Jangkaan F_d	1.027	1.031
F_d Teoritikal	1.026	1.030
F_d Pengukuran	1.038	1.042
95% Had bawah	1.00	1.01
95% Had atas	1.05	1.05

MODEL MATEMATIK DAN PEMOPTIMUMAN

Analisis ke atas Varian (ANOVA) menghasilkan nilai faktor yang paling optimum dengan nilai kesan F_d yang rendah. Bagi mengesahkan nilai faktor yang dipilih adalah bersesuaian, maka model matematik dihasilkan bagi tujuan tersebut.

PARAMETER PENGOPTIMUMAN

MODEL MATEMATIK

Komposit plastik bertetulang serabut kenaf tenunan.

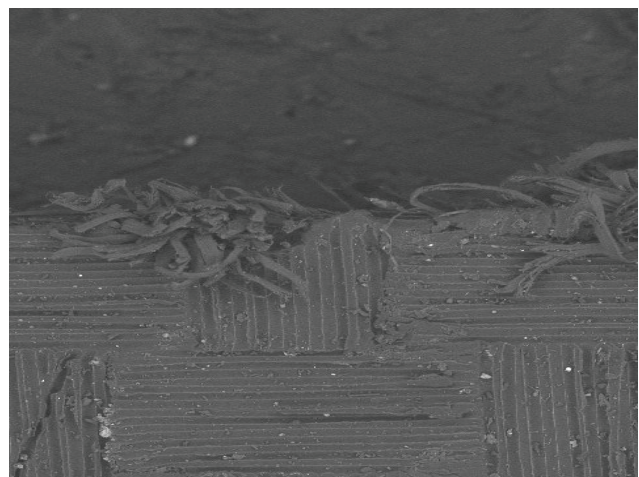
$$F_d = 1.10970 - 1.145 \times 10^{-4} (A) + 4.3 \times 10^{-5} (B) - 0.020729 (C) + 4.6 \times 10^{-5} (A)(C) - 2.45 \times 10^{-5} (B)(C)$$

Komposit plastik bertetulang serabut kenaf ekaarah.

$$F_d = 0.99496 + 4.57 \times 10^{-5} (A) + 5.875 \times 10^{-5} (B)$$

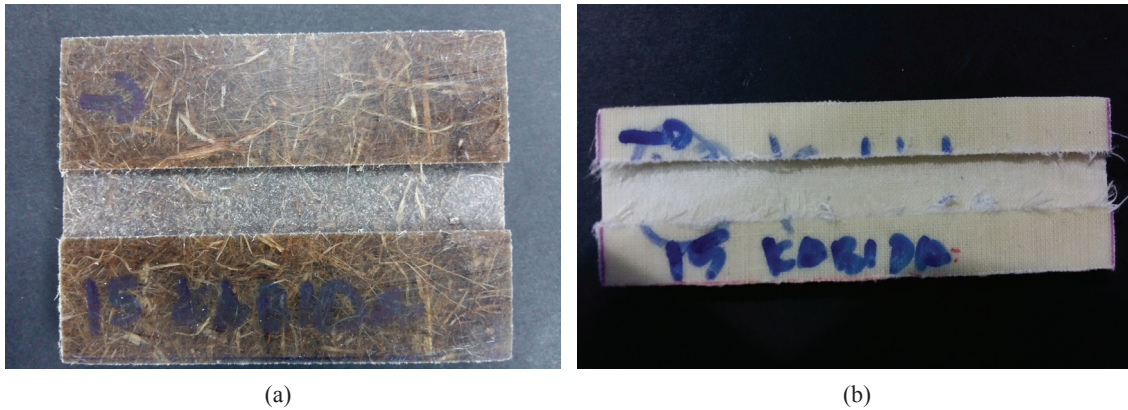


(a)



(b)

RAJAH 7. Kesan F_d dan serabut tarik keluar melalui SEM (a) serabut kenaf ekaarah dan (b) serabut kenaf tenunan



RAJAH 8. Hasil pemesinan kisar (a) serabut kenaf ekaarah dan (b) serabut kenaf tenunan

$$+ 6.5 \times 10^{-3} (c) - 6.6 \times 10^{-8} (A)(B)$$

Daripada nilai parameter yang optimum, proses pemesinan kisar dilakukan hanya ke atas satu uji kaji benda-kerja komposit serabut kenaf ekaarah dan tenunan bagi mendapatkan nilai kesan F_d yang baru. Nilai ini dibandingkan dengan nilai jangkaan dan teori F_d . Daripada keputusan ini, didapati nilai kesan F_d yang baru bagi kedua-dua jenis benda-kerja berada dalam lingkungan 95% had bawah dan 95% had atas. Oleh itu, nilai optimum parameter pemesinan bagi kedua-dua benda-kerja boleh digunakan sebagai garis panduan bagi melakukan proses pemesinan kisar bahan komposit plastik bertetulang serabut kenaf ekaarah atau tenunan.

RUMUSAN

Rumusan yang boleh dibuat ialah, kombinasi parameter mesin merupakan faktor utama dalam mempengaruhi hasil nilai faktor pelekangan F_d ke atas kedua-dua benda-kerja bahan komposit plastik bertetulang serabut kenaf ekaarah dan tenunan. Daripada keputusan analisis yang diperolehi didapati parameter mesin dengan kadar suapan yang tinggi telah menghasilkan kesan F_d yang kurang baik berbanding dengan nilai kadar suapan yang rendah. Keadaan ini disebabkan oleh kelajuan pergerakan mata-alat yang tinggi semasa proses kisar telah menyebabkan bahagian paling atas (permukaan) benda-kerja mudah pecah dan kebanyakan serabut kenaf tidak dapat dipotong dengan begitu baik (Rajah 7). Bahan komposit berasaskan epoksi ini adalah rapuh dan mudah pecah apabila dilakukan proses pemesinan. Selain itu juga, daya pemotongan yang terhasil bagi kadar suapan yang tinggi adalah tinggi sekitar 120 N – 200 N secara purata untuk kedua-dua jenis bahan benda kerja. Melalui perbandingan kedua-dua bahan benda-kerja, didapati bahan kerja serabut kenaf tenunan menghasilkan kesan F_d yang lebih besar disebabkan oleh sifat mekanikal yang tinggi berbanding bahan kerja serabut kenaf ekaarah. Ini membuktikan sifat mekanikal juga boleh mempengaruhi kesan F_d di dalam proses pemesinan ini. Rajah 8 menunjukkan hasil pemesinan benda-kerja bahan komposit plastik bertetulang serabut kenaf ekaarah dan tenunan dengan menggunakan kombinasi parameter

kelajuan bindul (500 rpm), kadar suapan (1200 mm/min) dan kedalaman pemotongan (2 mm).

KESIMPULAN

Uji kaji proses pemesinan kisar ke atas benda-kerja bahan komposit plastik bertetulang serabut kenaf ekaarah dan tenunan dilakukan bagi melihat perbandingan faktor pelekangan yang terhasil. Kesimpulan yang boleh dibuat ialah, faktor pelarasan parameter pemesinan kisar yang digunakan telah memberikan sumbangan ke atas kesan faktor pelekangan terhadap kedua-dua benda-kerja. Bagi benda-kerja bahan komposit plastik bertetulang serabut kenaf ekaarah, menunjukkan faktor kelajuan bindul (A) dan kadar suapan memberi sumbangan ke atas kesan faktor pelekangan yang terhasil. Dengan nilai kelajuan bindul dan kadar suapan yang tinggi akan menghasilkan faktor pelekangan yang tinggi. Manakala bagi benda-kerja bahan komposit plastik bertetulang serabut kenaf tenunan, menunjukkan ketiga-tiga faktor A, B dan C menyumbang terhadap kesan faktor pelekangan yang terhasil semasa pemesinan kisar. Dengan faktor A yang rendah dan faktor B yang tinggi akan menghasilkan kesan faktor pelekangan yang rendah. Selain daripada pelarasan parameter pemesinan, jenis serabut kenaf yang digunakan juga memberi kesan ke atas faktor pelekangan. Serabut kenaf ekaarah yang tidak mempunyai arah orientasi memberikan faktor pelekangan yang agak tinggi berbanding serabut kenaf tenunan berorientasi 0° dan 90° .

PENGHARGAAN

Penghargaan kepada fasiliti makmal, bengkel mesin dan kakitangan teknikal di Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia. Terima kasih kepada Kementerian Pengajian Tinggi Malaysia yang memberi sumbangan geran penyelidikan LRGS/TD/2012/USM-UKM/PT/05.

RUJUKAN

Alauddin, M., El Baradie, M.A. & Hashmi, M.S.J. 1997. Prediction of tool life in end milling by response surface methodology. *J. Mater. Process. Technol.* 71(3): 456-465.

- Babu, G.D., Babu, K.S. & Gowd, B.U.M. 2013a. Effect of machining parameters on milled natural fibre-reinforced plastic composites. *J. Adv. Mech. Eng.* 1: 1-12.
- Babu, G.D., Babu, K.S. & Gowd, B.U.M. 2013b. Optimization of machining parameters in drilling hemp fibre reinforced composites to maximize the tensile strength using design experiments. *Indian J. Eng. Mater. Sci.* 20: 385-390.
- Davim, J.P. & Reis, P. 2005. Damage and dimensional precision on milling carbon fibre-reinforced plastics using design experiments. *J. Mater. Process Technol.* 160(2): 160-167.
- Davim, J.P., Rubio, J. & Abrao, A.M. 2007. A novel approach based on digital image analysis to evaluate the delamination factor after drilling composite laminates. *Compos. Sci. Technol.* 67(9): 1939-1945.
- Davim, J.P., Reis, P. & Conceição António, C. 2004. A study on milling of glass fibre reinforced plastics manufactured by hand-lay up using statistical analysis (ANOVA). *Compos. Struct.* 64(3-4): 493-500.
- Huda, M.S., Drzal, L., Mohanty, A. & Misra, M. 2006. Chopped glass and recycled newspaper as reinforcement fibres in injection molded poly(lactic acid) (PLA) composites: A comparative study. *Composite Science Technology* 66(11-12): 1813-1824.
- Kalpakjian, S. & Schmid, S.R. 2010. *Manufacturing Engineering and Technology*. 6th ed. In *SI Units*. New Jersey: Pearson (Prentice Hall).
- Myers, R.H., Montgomery, D.C. & Cook, C.M.A. 2009. *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. 3rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. pp. 1-11.
- Puw, H.Y. & Hocheng, H. 1995. Anisotropic chip formation models of cutting of FRP. *Proceedings of the ASME Symposium on Material Removal and Surface Modification Issues in Machining Processes*.
- Rouison, D., Sain, M. & Couturier, M. 2004. Resin transfer molding of natural fibre reinforced composites: cure simulation. *Compos. Sci. Technol.* 64(5): 629-644.
- Summerscales, J., Virk, A., Hall, W. & Dissanayake, N.P.J. 2010. A review of bast fibres and their composites. Part 1-Fibers as reinforcements. *Compos. Part A* 41(10): 1329-1335.
- Wambua, P., Ivens, J. & Verpoest, I. 2003. Natural fibres: Can they replace glass in fibre reinforced plastics?. *Compos. Sci. Technol.* 63(9): 1259-1264.
- Zampaloni, M., Pourboghra, F., Yankovich, S.A., Rodgers, B.N., Moore, J., Drzal, L.T., Mohanty, A.K. & Misra, M. 2007. Kenaf natural fibre reinforced polypropylene composites: A discussion on manufacturing problems and solutions. *Compos. Part A* 38: 1569-1580.

H. Azmi
 Pusat Pengajian Kejuruteraan Pembuatan
 Universiti Malaysia Perlis
 Kampus Tetap Pauh Putra
 Jalan Arau-Changlun
 02600 Arau, Perlis Indera Kayangan
 Malaysia

C.H. Che Haron* & J.A. Ghani
 Jabatan Kejuruteraan Mekanikal dan Bahan
 Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina
 Universiti Kebangsaan Malaysia
 43600 Bangi, Selangor Darul Ehsan
 Malaysia

M. Suhaily
 Department of Manufacturing and Materials Engineering
 Kulliyah of Engineering
 International Islamic University Malaysia
 53100 Gombak, Selangor Darul Ehsan
 Malaysia

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: chehase@gmail.com

Diserahkan: 19 Mei 2017
 Diterima: 2 November 2017