

Pengaruh parameter pemesinan dan komposisi campuran polyester - vinylester terhadap keutuhan permukaan silindris

Adam Malik¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas
Limau Manis, Pauh, Kota Padang, Sumatra Barat 25175
Email korespondensi: adammalik@eng.unand.ac.id

Abstrak

Integritas permukaan pemesinan silinder merupakan persyaratan mutlak untuk komponen yang siap dirakit. Kekurangan ini menyebabkan komponen gagal dirakit. Hal ini disebabkan kontribusi berbagai faktor yang terlibat dalam menghasilkan permukaan silinder. Terutama pada permukaan silinder komponen yang terbuat dari bahan komposit. Kajian ini melaporkan pengaruh parameter lathe dan drill, komposisi campuran polyester-vinylester terhadap kebulatan, kekasaran, dan perubahan kekerasan permukaan, serta kontribusi utama dari faktor-faktor tersebut. Kajian ini bertujuan untuk menguji pengaruh dan kontribusi komposisi campuran polyester-vinylester, feedrate, kecepatan dan kedalaman potong terhadap kebulatan, kekasaran, dan perubahan kekerasan permukaan produk bubut dan bor. Untuk mencapai tujuan ini, serangkaian percobaan pemesinan silinder dilakukan pada benda kerja campuran polyester-vinylester dari komposisi yang berbeda. Dalam set eksperimental, metode Taguchi L9 (4) 3-OAs digunakan. Hasil percobaan menunjukkan bahwa yang paling berpengaruh terhadap kebulatan dan kekasaran permukaan adalah ukuran komposisi campuran polyester-vinylester diikuti dengan ukuran feedrate yang dilakukan. Kecepatan potong dan kedalaman potong tidak terlalu penting. Sedangkan perubahan kekerasan yang sangat berpengaruh adalah pakan yang diikuti dengan kedalaman potong, komposisi campuran sebenarnya menunjukkan kebalikan antara bubut dan pengeboran. Kebaruan yang diperoleh dari percobaan ini adalah untuk mendapatkan integritas permukaan yang diinginkan dari komponen yang terbuat dari komposit dengan mencampur bahan matriks komposit.

Kata kunci: parameter pemesinan, poliester, vinilester, integritas.

Abstract

The surface integrity of the cylindrical machining is an absolute requirement for ready-to-assemble components. This deficiency causes the components to fail to be assembled. This is due to the contribution of various factors involved in producing a cylindrical surface. Especially on the cylindrical surface of components made of composite materials. This study reports the effect of lathe & drill parameters, polyester-vinylester blend composition on roundness, roughness, and changes in surface hardness, as well as the main contribution of these factors. This study aims to examine the influence and contribution of polyester-vinylester blend composition, feedrate, speed and depth of cut on roundness, roughness, and changes in surface hardness of lathe & drill products. To achieve this goal, a series of cylindrical surface machining experiments were carried out on workpieces of the polyester-vinylester blend of different compositions. In the experimental set, the Taguchi L9(4)3-OAs method was used. The experimental results show that the most influential on the roundness and surface roughness is the size of the composition of the polyester-vinylester blend followed by the size of the feedrate carried out. Cutting speed and depth of cut don't really matter. While the change in hardness that is very influential is the feed followed by the depth of cut, the composition of the mixture actually shows the opposite between lathe and drilling. The novelty obtained from this experiment is to obtain the desired surface integrity of the components made of composites by mixing composite matrix materials.

Keywords: machining parameter, polyester, vinylester, integrity.

1. Pendahuluan

Menurut Rajmohan *et al* (2019) [1], salah satu parameter kualitas dari produk yang mendapat perlakuan *machining* adalah keutuhan permukaan (*surface integrity*). Keutuhan permukaan merupakan gambaran dari kondisi, sifat dan karakteristik permukaan produk setelah diproses mesin. Selama proses manufaktur, benda kerja berlangsung dan sesudahnya terjadi perubahan-perubahan karakteristik permukaan yang signifikan yang cukup mempengaruhi kinerja, umur, dan keandalan produk.

Perubahan ini meliputi perubahan mekanis, metalurgi, kimia, dan lainnya, meskipun terjadi pada lapisan yang dangkal sudah dapat membatasi kualitas komponen atau, dalam beberapa kasus, membuat permukaan tidak dapat diterima [2].

Sebagai contoh keutuhan permukaan pemesinan berbentuk silindris seperti kebulatan, kehalusan permukaan, perubahan kekerasan permukaan dan lain-lain dari lubang (hasil gurdi) dan poros (hasil bubut) merupakan syarat mutlak untuk komponen yang siap dirakit. Kekurangan atau tidak tercapainya

keutuhan permukaan ini, komponen gagal untuk dirakit. Hal ini disebabkan oleh sumbangan besar-kecilnya dari berbagai variabel-variabel pemesinan yang terlibat diantaranya kecepatan potong, gerak makan, kedalaman pemotongan dalam menghasilkan permukaan silindris tersebut. Terutama pada permukaan silindris komponen-komponen yang terbuat dari bahan benda kerja komposit [3].

Sebenarnya banyak variabel proses (faktor) pemesinan yang mempengaruhi keutuhan permukaan komponen yang terbuat dari bahan komposit. Selain jenis dan komposisi bahan komposit itu sendiri, juga dipengaruhi oleh matriks, serat, pengisi, parameter/kondisi, dan jenis proses manufaktur yang digunakan. Kajian ini melaporkan pengaruh kecepatan potong (v_c), gerak makan (f), kedalaman pemotongan (a) dan komposisi campuran *polyester* dengan *vinylester* (%P-%V) sebagai bahan matriks komposit terhadap kebulatan, kehalusan dan perubahan kekerasan permukaan hasil pemesinan silindris (bubut & gurdi) dan beberapa besar kontribusi masing-masing faktor tersebut. Alasan pengkajian matriks komposit dan pengaruh parameter pemesinan, karena ingin menyediakan atau mendapatkan data untuk perencanaan pemesinan bahan komposit menjadi komponen dari matriks campuran *polyester* dan *vinylester* sesuai dengan keutuhan permukaan yang diinginkan.

Tujuan kajian yakni melihat pengaruh dan kontribusi v_c , f , a dan %P-%V, terhadap kebulatan, kehalusan dan perubahan kekerasan permukaan hasil bubut dan gurdi.

Hasil kajian ini bermanfaat sebagai panduan atau acuan dan rekomendasi dalam perencanaan proses pemesinan bahan benda kerja yang terbuat dari komposit umumnya, khususnya bahan dari komposit dengan matriks campuran *Polyester-Vinylester* dengan proses bubut dan gurdi untuk keutuhan permukaan silindris.

2. Metode

Dalam kajian ini, digunakan pendekatan atau metoda Taguchi [4] untuk mencapai tujuan. Kaedah ini sangat efektif untuk melihat faktor-faktor yang berpengaruh serta kontribusinya terhadap keutuhan permukaan yang diamati, dalam hal ini adalah kebulatan, kekasaran dan perubahan kekerasan permukaan silindris hasil bubut dan gurdi bahan matriks komposit. Kaedah ini dilaksanakan dalam 4 fasa yaitu perencanaan, desain, pelaksanaan dan analisis hasil pengujian.

Fasa Perencanaan Pengujian

Dalam fasa perencanaan pengujian ditentukan tujuan kajian, ciri-ciri keutuhan permukaan yang diuji dan nilainya, kaedah pengukuran dari kualitas tersebut, dan faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas tersebut serta levelnya. Pengujian direncanakan dalam 2 jenis proses pemesinan yang menghasilkan

permukaan silindris, yaitu bubut dan gurdi dengan menggunakan mesin bubut.

Ciri-ciri keutuhan permukaan yang diuji adalah kebulatan, dan kekasaran permukaan dengan nilai yang terkecil terbaik (*smaller is better*). Dan perubahan kekerasan permukaan dengan nilai nominal yang baik (*nominal is best*). Kaedah pengukurannya untuk kebulatan diukur langsung penyimpangannya dengan pupitas (*test indicator*) setelah benda kerja dibubut serta digurdi, dan masih dipegang oleh *chuck* mesin bubut.

Hasil pengukuran diplot ke dalam grafik polar kebulatan, parameter yang digunakan lingkaran luar minimum (*Minimum Circumscribed Circle, MCC*). Kekasaran permukaan diukur dengan alat ukur kekasaran permukaan (*surface roughness tester*). Perubahan kekerasan permukaan diukur dengan alat ukur kekerasan Vickers. Pengukuran dilakukan di 3 titik di atas sepanjang benda kerja yang telah dibubut serta digurdi yakni dekat kedua ujung dan tengah-tengah, hasilnya dirata-ratakan. Parameter yang digunakan adalah Parameter Kekasaran Rata-rata, (*Average Roughness, R_a*). Perubahan kekerasan permukaan diukur dengan alat ukur kekerasan Vickers (*VHN*) [5].

Faktor-faktor yang mempengaruhi keutuhan permukaan yang diuji adalah v_c dengan level 10 m/min, 30 m/min dan 40 m/min. Nilai f dengan level 0,05 mm/r, 0,10 mm/r, dan 0,15 mm/r, a dengan level 0,4 mm, 0,8 mm dan 1,2 mm (untuk Gurdi tergantung diameter pahat yaitu 5, 6, 7 mm. Komposisi matriks campuran *Polyester* dan *Vinylester* yang dibagi dalam 2 bentuk matriks yaitu Matriks I campuran *Polyester* dan *Vinylester* dominan *Polyester* dengan level 100% *Polyester* (P100V), 80% *Polyester* (P80V), 60% *Polyester* (P60V) dan Matriks II campuran *Polyester* dan *Vinylester* dominan *Vinylester* dengan level 60% *Vinylester* (P-V60), 80% *Vinylester* (P-V80), 100% *Vinylester* (P-V100). Berikut faktor-faktor dan levelnya ditunjukkan dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Faktor-faktor dan levelnya untuk Matriks I dengan benda kerja campuran P-V dominan P.

Faktor-faktor	Level		
	1	2	3
v_c (m/min)	10	30	40
f (mm/r)	0,05	0,10	0,15
a (mm)	0,4	0,8	1,2
Matriks I	P100V	P80V	P60V

Tabel 2. Faktor-faktor dan levelnya untuk Matriks II dengan benda kerja campuran P-V dominan V.

Faktor-faktor	Level		
	1	2	3
v_c (m/min)	10	30	40
f (mm/r)	0,05	0,10	0,15
a (mm)	0,4	0,8	1,2
Matriks II	P100V	P80V	P60V

Fasa Desain Pengujian

Fasa desain pengujian memilih set pengujian yang telah dirancang oleh Taguchi yaitu susunan ortogonal (Orthogonal Arrays, OAs) berdasarkan berapa jumlah faktor dan levelnya yang ditinjau dalam pengujian. Diantaranya OAs-L4(23), L8(27), L9(34), L16(45), dst.

Dalam kajian yang akan dilakukan ada 4 faktor utama yang akan diteliti yaitu v_c , f , a , dan komposisi matriks komposit campuran P-V dengan 3 level (kecuali campuran P-V ada 6 level). Untuk desain pengujian 4 faktor dengan 3 level menurut Taguchi set pengujian yang sesuai adalah OAs-L9(34) seperti Tabel 3 di bawah ini yang terdiri dari 9 pengujian per set.

Tabel 3. Susunan ortogonal OAs-L9(34).

Pengujian	Faktor-faktor				Hasil pengujian		
	v_c (m/min)	f (mm/r)	a (mm)	Matriks	MCC (μ m)	Ra (mm)	VHN
1	1	1	1	1			
2	1	2	2	2			
3	1	3	3	3			
4	2	1	2	3			
5	2	2	3	1			
6	2	3	1	2			
7	3	1	3	2			
8	3	2	1	3			
9	3	3	2	1			

Angka 1, 2 dan 3 dalam tabel di atas menunjukkan level 1, level 2 dan level 3 dari masing-masing faktor.

Langkah berikut dari fasa ini adalah meletakkan faktor-faktor dan levelnya ke dalam baris dan kolom susunan ortogonal OAs-L9(34) yang sesuai, lihat Tabel 5, 6 dan 7 untuk pengujian kebulatan, kekasaran dan perubahan kekerasan permukaan silindris matriks campuran Polyester dan Vinylester yang dibubut dan digurdi.

Fasa Pelaksanaan Pengujian

Dalam fasa ini dipersiapkan bahan uji dan peralatan pengujian yakni bahan benda kerja, pahat potong,

mesin bubut dan alat ukur untuk mengecek keutuhan permukaan pemesian silindris, serta prosedur pengujian. Setelah itu melaksanakan pengujian.



Gambar 1. (a) Benda kerja dan (b) pahat yang digunakan.

Pahat potong yang dipersiapkan terdiri dari pahat bubut dan gurdi HSS, lihat Gambar 1.



(a) (b)



(c) (d)

Gambar 2. Alat ukur dan mesin perkakas yang digunakan.

Bahan benda kerja pengujian adalah matriks komposit campuran P-V yang dicetak dalam bentuk spesimen pengujian batang silindris ukuran 38 x 200 mm. Benda kerja dibuat dengan mempersiapkan bahan yang diperlukan untuk menghasilkan material matrik komposit Seluruh bahan diaduk dan dicetak dalam cetakan dari paralon PVC dan hasilnya seperti Gambar 1.

Alat ukur yang dipersiapkan adalah pupitas dan stand magnetic untuk pengujian kebulatan. Pupitas mempunyai kapasitas ukur dari 0 – 0,8 mm dengan kecermatan (resolution) 0,002 mm atau 2 mikron, merek Mitutoyo. Dan alat ukur pengujian kekasaran yang dipersiapkan adalah alat ukur kekasaran permukaan Mitutoyo SJ-304 mempunyai kapasitas ukur maksimal 350 mikron dengan kecermatan 0,01 mikron.

Mesin bubut yang dipersiapkan adalah mesin bubut konvensional dengan spesifikasi berikut:

- Merek : Krisbow
- Tipe : KW 15-907

Sumber Daya : 380 V, 3 fasa 50 Hz

Putaran Spindel max. : 1800 rpm.

Fasa Analisis Hasil Pengujian.

Fasa ini adalah fasa terakhir dalam kajian dengan menggunakan kaedah Taguchi. Analisis meliputi perhitungan pengaruh utama setiap faktor, perhitungan analisis varian (ANOVA), penyisihan (*pooling*) faktor-faktor yang mempunyai pengaruh sangat kecil, perhitungan interval kepercayaan (CI) faktor-faktor yang berpengaruh, dan perkiraan hasil pada kondisi optimum.

Analisis hasil pengujian dengan menggunakan set pengujian OAs-L9(34) mempunyai 9 data pengujian yaitu $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8$ dan y_9 . Empat faktor yang dianalisis Faktor A (vc), B (f), C (a) dan D (%PE%VE). Tiga level setiap faktor L1, L2 dan L3.

Untuk perhitungan pengaruh utama, dihitung rata-rata setiap level faktor dengan rumus berikut:

$$A_1 = (y_1 + y_2 + y_3)/3 \tag{1}$$

$$A_2 = (y_4 + y_5 + y_6)/3 \tag{2}$$

$$A_3 = (y_7 + y_8 + y_9)/3 \tag{3}$$

$$B_1 = (y_1 + y_4 + y_7)/3 \tag{4}$$

$$B_2 = (y_2 + y_5 + y_8)/3 \tag{5}$$

$$B_3 = (y_3 + y_6 + y_9)/3 \tag{6}$$

$$C_1 = (y_1 + y_6 + y_8)/3 \tag{7}$$

$$C_2 = (y_2 + y_4 + y_9)/3 \tag{8}$$

$$C_3 = (y_3 + y_5 + y_7)/3 \tag{9}$$

$$D_1 = (y_1 + y_5 + y_9)/3 \tag{10}$$

$$D_2 = (y_2 + y_6 + y_7)/3 \tag{11}$$

$$D_3 = (y_3 + y_4 + y_8)/3 \tag{12}$$

Hasil perhitungan ini diplot ke dalam grafik respon pengaruh utama masing-masing faktor seperti Gambar 3. Grafik menunjukkan seberapa besar pengaruh masing-masing faktor terhadap kualitas geometri produk. Perhitungan ANOVA dihitung dengan beberapa persamaan berikut. Jumlah keseluruhan hasil (T) didapatkan dengan Persamaan 13. Faktor koreksi (CF) didapatkan dengan Persamaan 14. Jumlah total kuadrat (S_T) didapatkan dengan Persamaan 15. Jumlah faktor kuadrat (S) didapatkan dengan Persamaan 16.

$$T = y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9 \tag{13}$$

$$CF = T^2/n \tag{14}$$

$$S_T = \sum_{i=1}^n y_i^2 - CF \tag{15}$$

$$S_A = \frac{A_1^2}{N_{A1}} + \frac{A_2^2}{N_{A2}} + \frac{A_3^2}{N_{A3}} - CF, \text{ untuk Faktor A} \tag{16}$$

Persamaan 16 digunakan untuk Faktor A, di mana, A_1, A_2, A_3 merupakan jumlah nilai hasil pengujian Faktor A pada masing-masing level. N_{A1}, N_{A2}, N_{A3} jumlah data hasil pengujian Faktor A pada masing-masing level. Untuk faktor lainnya Faktor B, C dan Faktor D berlaku rumus yang sama.

Jumlah *error* dihitung dengan Persamaan 17. Total derajat kebebasan faktor (f_T) didapatkan dengan Persamaan 18.

$$S_e = S_T - (S_A + S_B + S_C + S_D) \tag{17}$$

$$f_T = n - 1 \tag{18}$$

Di mana, n merupakan jumlah data pengujian.

Persamaan 19 menunjukkan *DoF error*.

$$f_e = f_T - (f_A + f_B + f_C + f_D); \tag{19}$$

Persamaan 20 digunakan untuk menghitung *Mean square (variance, V)* untuk Faktor A.

$$V_A = \frac{S_A}{f_A}; \text{ untuk Faktor A} \tag{20}$$

Di mana, f_A = derajat kebebasan Faktor A, sedangkan untuk Faktor B, C dan Faktor D berlaku rumus yang sama. Varian *error* didapatkan dengan Persamaan 21.

$$V_e = \frac{S_e}{f_e}; \text{ varian error} \tag{21}$$

Persamaan 22 digunakan untuk menghitung persentase kontribusi faktor (P), sedangkan untuk Faktor B, C dan Faktor D berlaku rumus yang sama.

$$P_A = \frac{S_A}{S_T}; \text{ untuk Faktor A} \tag{22}$$

Kontribusi *error* (Pe) tidak dapat dihitung jika $Ve = 0$.

Penyisihan (*pooling*) faktor-faktor punya pengaruh kecil. Faktor-faktor yang mempunyai pengaruh dan kontribusi yang kecil harus disisihkan (*pooling*) dalam analisis untuk mencapai analisis yang baru. Untuk itu dihitung kembali Se dan fe tidak bernilai nol untuk faktor-faktor yang tinggal, sehingga Ve juga tidak bernilai nol. Kemudian diperiksa signifikansi rasio faktor (F -Ratio) yang tinggal dengan Persamaan 23 berikut.

$$F_A = \frac{V_C}{V_e}; \text{ untuk Faktor A} \tag{23}$$

Untuk Faktor signifikan yang lainnya berlaku rumus yang sama.

Setelah dihitung F -ratio, bandingkan nilai tersebut dengan F -Ratio dari tabel dengan tingkat kepercayaan 99%. Apabila nilainya lebih kecil dari nilai yang terdapat di tabel F -Ratio, lakukan penyisihan lagi terhadap faktor tersebut.

Perhitungan interval kepercayaan (CI) faktor-faktor yang berpengaruh. CI dari faktor-faktor yang diperkirakan berpengaruh dapat dihitung dengan Persamaan 24 berikut.

$$CI = \pm \sqrt{\frac{F(1,n) \times V_e}{N_e}} \quad (24)$$

Perkiraan hasil pada kondisi optimum. Perkiraan hasil pada kondisi optimum (*Estimated Result at Optimum Condition, ROC*) dapat dihitung dari faktor-faktor yang signifikan berpengaruh, faktor-faktor yang telah disisihkan tidak termasuk. Misalnya faktor yang signifikan B2 dan C1, maka nilai pada kondisi optimum dapat diperkirakan sebesar nilai yang dihitung dengan Persamaan 25 berikut.

$$ROC = \underline{T} + (B_2 - \underline{T}) + (C_1 - \underline{T}) \quad (25)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran MCC, Ra dan perubahan kekerasan permukaan ditampilkan dalam Tabel 3 dan 4 untuk proses bubut dan Tabel 5 dan 6 untuk proses gurdi. Untuk melihat pengaruh masing-masing faktor, dihitung nilai rata-rata dengan rumus pada Persamaan 1 di atas dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3, 4 dan 5 untuk proses bubut, dan Gambar 6, 7 dan 8 untuk proses gurdi.

Tabel 3. Hasil pengukuran keutuhan permukaan hasil proses bubut benda kerja Matriks I (dominan P).

Peng-ujian	Faktor-faktor Par. Bubut				Hasil Pengukuran		
	vc (m/min)	f (mm/r)	a (mm)	Matriks I	MCC (f)	Ra (f)	VHN
1	10	0,05	0,4	P100V	10,19	13,21	2,60
2	10	0,10	0,8	P80V	8,48	8,64	19,90
3	10	0,15	1,2	P60V	9,66	17,09	17,40
4	30	0,05	0,8	P60V	9,07	6,23	9,75
5	30	0,10	1,2	P100V	10,91	9,39	19,80
6	30	0,15	0,4	P80V	7,30	11,30	21,96
7	40	0,05	1,2	P80V	9,31	14,29	19,70
8	40	0,10	0,4	P60V	6,04	13,29	5,80
9	40	0,15	0,8	P100V	18,97	12,57	28,45

Tabel 34 Hasil pengukuran keutuhan permukaan hasil proses bubut benda kerja Matriks II (dominan V).

Peng-ujian	Faktor-faktor Par. Bubut				Hasil Pengukuran		
	vc (m/min)	f (mm/r)	a (mm)	Matriks II	MCC (f)	Ra (f)	VHN
1	10	0,05	0,4	P-V60	9,10	6,54	35,96
2	10	0,10	0,8	P-V80	9,60	6,97	40,00
3	10	0,15	1,2	P-V100	17,41	6,21	17,95
4	30	0,05	0,8	P-V100	8,28	11,12	62,20

5	30	0,10	1,2	P-V60	12,65	11,58	9,29
6	30	0,15	0,4	P-V80	10,31	8,68	34,70
7	40	0,05	1,2	P-V80	8,28	8,81	22,45
8	40	0,10	0,4	P-V100	9,09	3,54	22,06
9	40	0,15	0,8	P-V60	9,42	10,52	12,21

Dan untuk melihat besar kontribusinya masing-masing faktor terhadap keutuhan permukaan yang dikaji, dilakukan ANOVA dengan menggunakan Persamaan 13 sampai 23, dan grafik pengaruhnya dapat dilihat pada Gambar 3, 4 dan 5 untuk proses bubut, dan Gambar 6, 7 dan 8 untuk proses gurdi.

Tabel 5. Hasil pengukuran keutuhan permukaan hasil proses gurdi benda kerja Matriks I (dominan P).

Peng-ujian	Faktor-faktor Par. Gurdi				Hasil Pengukuran		
	vc (m/min)	f (mm/r)	a (mm)	Matriks I	MCC (f)	Ra (f)	VHN
1	10	0,05	5	P100V	13,21	14,55	56,15
2	10	0,10	6	P80V	8,64	8,38	39,80
3	10	0,15	7	P60V	17,09	8,50	65,95
4	30	0,05	6	P60V	6,23	5,16	64,85
5	30	0,10	7	P100V	9,39	12,58	58,35
6	30	0,15	5	P80V	11,30	9,77	27,90
7	40	0,05	7	P80V	14,29	8,92	12,00
8	40	0,10	5	P60V	13,29	8,08	42,85
9	40	0,15	6	P100V	12,57	9,53	64,25

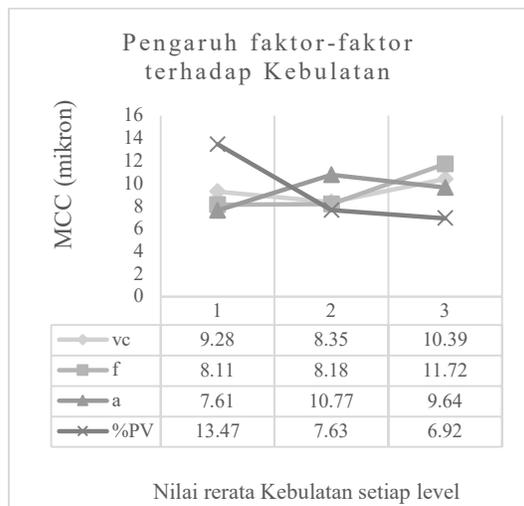
Tabel 6. Hasil pengukuran keutuhan permukaan hasil proses gurdi benda kerja Matriks II (dominan V).

Peng-ujian	Faktor-faktor Par. Gurdi				Hasil Pengukuran		
	vc (m/min)	f (mm/r)	a (mm)	Matriks II	MCC (f)	Ra (f)	VHN
1	10	0,05	5	P-V60	6,54	5,31	31,21
2	10	0,10	6	P-V80	6,97	6,23	46,85
3	10	0,15	7	P-V100	6,21	8,25	44,33
4	30	0,05	6	P-V100	11,12	9,83	56,90
5	30	0,10	7	P-V60	11,58	8,45	23,31
6	30	0,15	5	P-V80	8,68	8,24	41,80
7	40	0,05	7	P-V80	8,81	5,90	7,80
8	40	0,10	5	P-V100	3,54	17,63	51,10
9	40	0,15	6	P-V60	10,52	8,90	25,21

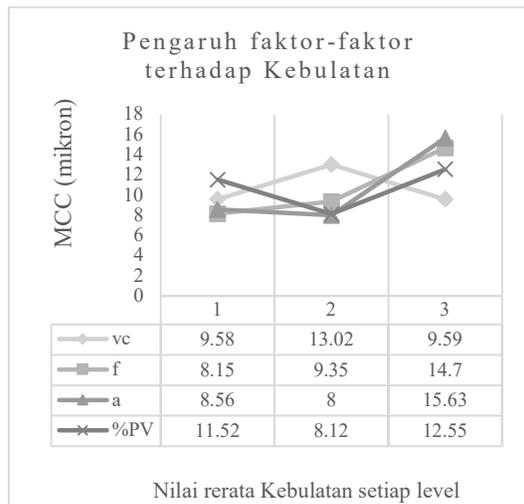
Dari grafik Gambar 3, 4, 5, 6, 7, 8 dan ANOVA yang telah dilakukan dapat dilihat variasi/level faktor yang mempengaruhi dan kontribusinya (lihat Tabel 7) terhadap keutuhan permukaan silindris hasil proses bubut dan gurdi dari benda kerja matriks komposit campuran Polyester dan Vinylester. Semakin tajam kemiringan garis grafik semakin besar pengaruhnya. Dalam kajian ini dapat dilihat variasi/level faktor

mempengaruhi keutuhan permukaan silindris. Sebenarnya terdapat 6 faktor yang diamati selain 4 faktor *vc*, *f*, *a*, dan komposisi campuran PE terdapat 2 yaitu jenis proses (bubut dan gurdi) dan jenis bahan benda kerja yakni *Polyester*, *Vinylester* dan Campuran P-V.

Faktor jenis proses untuk kebulatan tidak begitu berpengaruh, demikian juga dengan kehalusan permukaan yang dihasilkan. Pengaruh signifikan yakni pada jenis proses adalah perubahan kekerasan yang berbeda antara bubut dan gurdi. Pada gurdi, sangat besar perubahan kekerasan yang terjadi setelah diproses.



(a)

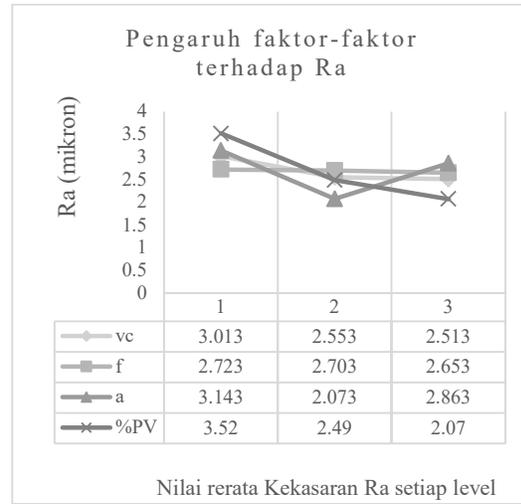


(b)

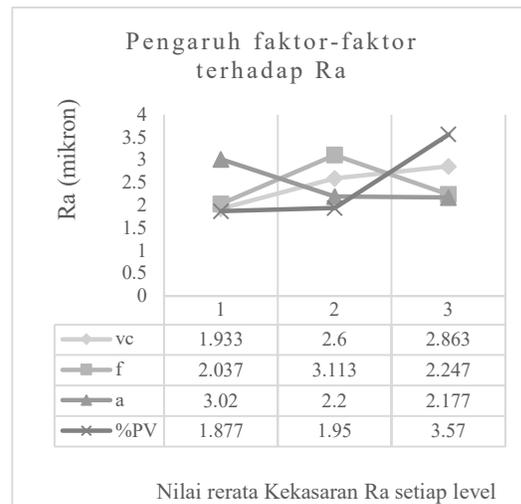
Gambar 3. Pengaruh faktor-faktor terhadap kebulatan dalam proses bubut (a) untuk benda kerja dominan polyester dan (b) untuk benda kerja dominan vinylester.

Jenis bahan benda kerja yg dibubut maupun digurdi mempengaruhi keutuhan permukaan kebulatan, kehalusan dan perubahan kekerasan setelah diproses mesin. Untuk kebulatan bahan campuran *Polyester*

dan *Vinylester* yang terbaik dengan komposisi P60V dan P80V. Kehalusan permukaan yang terbaik dihasilkan dari campuran *Polyester* dan *Vinylester* dengan komposisi P-V60 dan P-V80. Sedangkan perubahan kekerasan terbaik adalah dari bahan *Polyester* (2,6 VHN, sangat kecil perubahannya) dan campuran *Polyester* dan *Vinylester* dengan komposisi P60V dan P-V60. Berarti bahan yang kekerasannya tinggi juga sulit berubah kekerasannya setelah diproses. Tapi umumnya setelah diproses, kekerasan bahan menjadi meningkat, dari suatu sisi ini menguntungkan, terutama untuk komponen yang tahan aus.



(a)

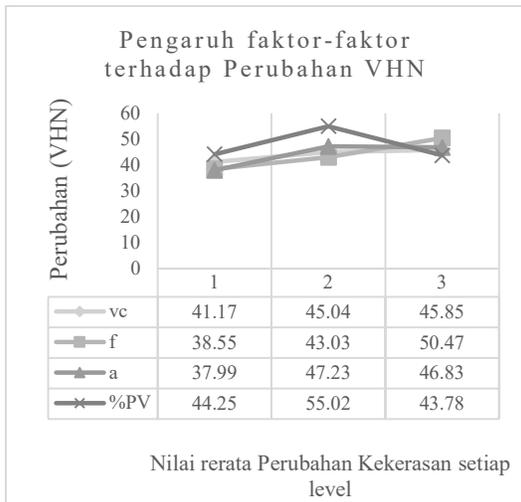


(b)

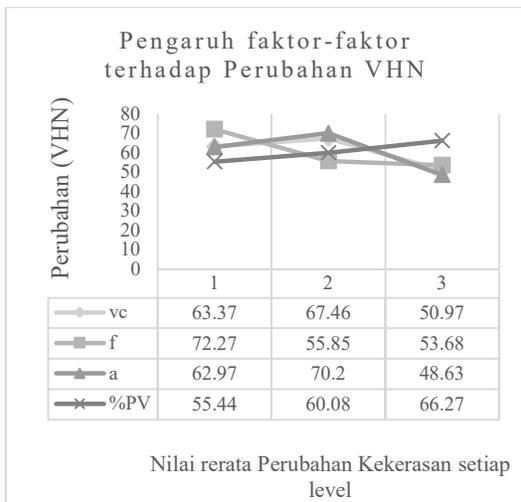
Gambar 4. Pengaruh faktor-faktor terhadap Ra dalam proses bubut (a) untuk benda kerja dominan polyester dan (b) untuk benda kerja dominan vinylester.

Kontribusi terbesar pengaruh campuran *Polyester* dan *Vinylester* terhadap keutuhan permukaan silindris adalah pada perubahan kekerasan permukaan (80%), kebulatan (62%) dan kehalusan permukaan (59%), lihat Tabel 7.

Berikut pembahasan dan diskusi mengenai pengaruh dan kontribusinya variasi/level parameter (faktor) pemesian permukaan silindris terhadap keutuhan permukaan yaitu kecepatan potong, gerak makan dan kedalaman potong.



(a)



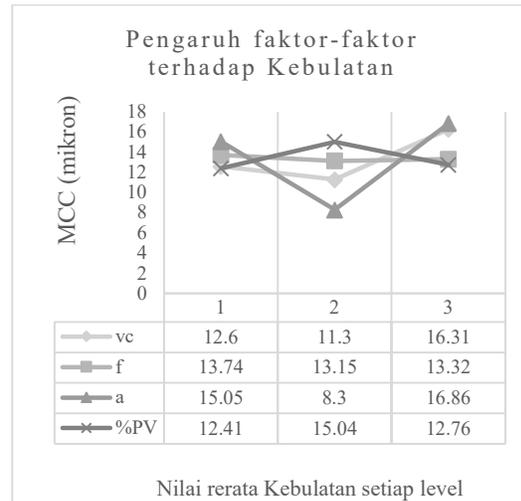
(b)

Gambar 5. Pengaruh faktor-faktor terhadap perubahan kekerasan permukaan dalam proses bubut (a) untuk benda kerja dominan polyester dan (b) untuk benda kerja dominan vinylester.

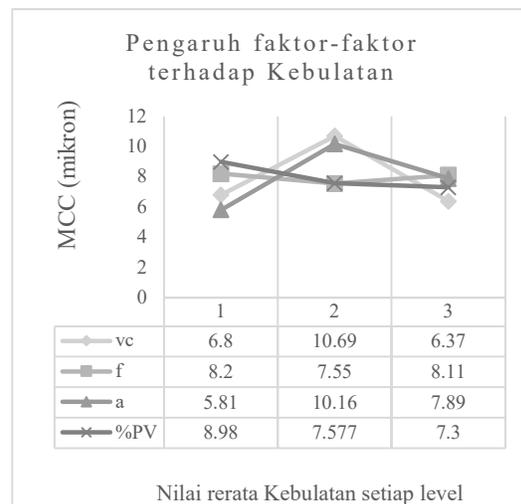
Pengaruh terhadap Kebulatan

Dari 4 set pengujian dan ANOVA yang dilakukan, pengukuran kualitas kebulatan terbaik (lihat grafik pada Gambar 3 dan 6) pada pengaruh kedalaman potong proses gurdi dengan kontribusi 70% dengan kedalaman potong 6 mm diikuti dengan faktor benda kerja campuran P-V dominan P, proses bubut dengan kontribusi 62% dengan komposisi P60V. Faktor kecepatan potong (40 m/min) memiliki pengaruh juga pada proses gurdi. Faktor yang kurang berpengaruh yakni gerak makan. Proses gurdi menghasilkan kebulatan yang baik karena proses

pembuatan permukaan silindris dimulai dari diameter terkecil sampai sama dengan diameter pahat karna ujung pahat gurdi yang runcing.



(a)

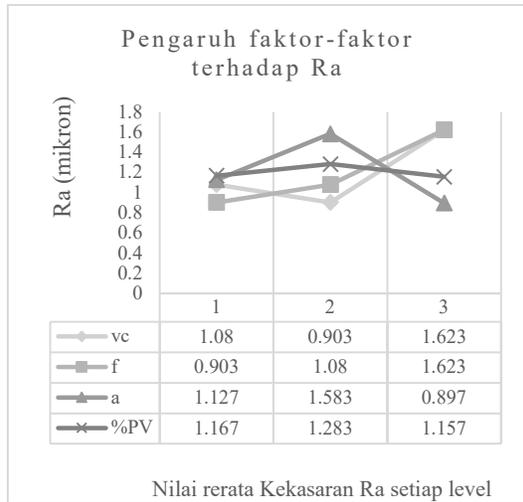


(b)

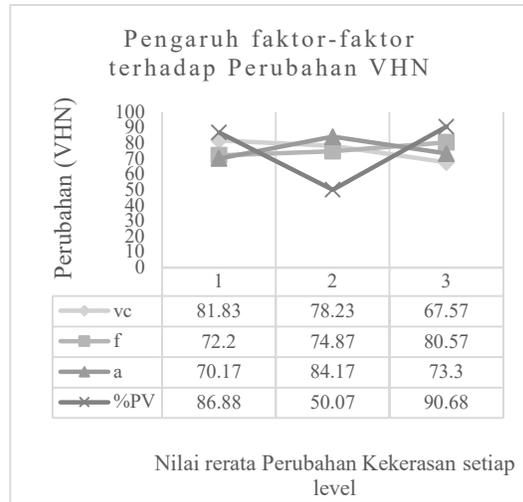
Gambar 6. Pengaruh faktor-faktor terhadap kebulatan dalam proses gurdi (a) untuk benda kerja dominan polyester dan (b) untuk benda kerja dominan vinylester.

Pengaruh terhadap Kekasaran/Kehalusan Permukaan

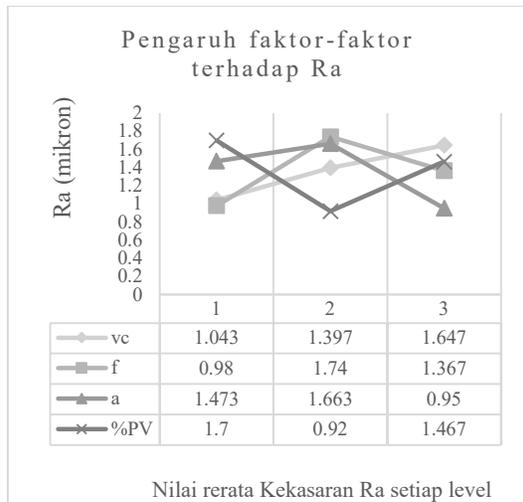
Dari grafik pada Gambar 4 dan 7 juga terlihat dari 4 set pengujian dan ANOVA yang dilakukan, faktor yang berkontribusi pada keutuhan permukaan silindris yang dihasilkan adalah komposisi campuran P-V pada proses bubut dengan kontribusinya sebesar 59% pada benda kerja P-V60 nilai kehalusan/kekasarannya 1,88 (m, diikuti dengan kontribusi faktor gerak makan dan kecepatan potong sebesar 35%, sedangkan kedalaman pemotongan tidak begitu pengaruh.



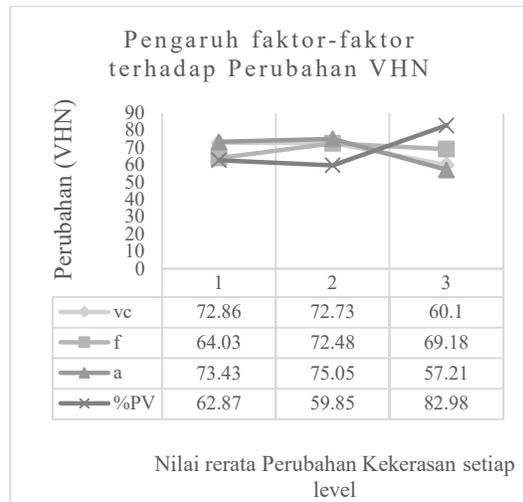
(a)



(a)



(b)



(b)

Gambar 7. Pengaruh faktor-faktor terhadap Ra dalam proses gurdi (a) untuk benda kerja dominan polyester dan (b) untuk benda kerja dominan vinylester.

Gambar 8. Pengaruh faktor-faktor terhadap perubahan kekerasan permukaan dalam proses gurdi (a) untuk benda kerja dominan polyester dan (b) untuk benda kerja dominan vinylester.

Pengaruh terhadap Perubahan Kekerasan pada Permukaan Silindris

Dari grafik Gambar 5 dan 8 juga dari 4 set pengujian dan ANOVA yang dilakukan, faktor yang berkontribusi pada perubahan kekerasan pada permukaan silindris adalah komposisi campuran P-V pada proses gurdi dan bubut besar kontribusinya yakni 80% diikuti dengan faktor gerak makan pada proses bubut. Perubahan kekerasan terkecil pada proses bubut bahan komposisi campuran P100V dengan gerak makan 0,04 mm/r.

Tabel 7. Kontribusi masing-masing faktor terhadap keutuhan permukaan.

Faktor	Kontribusi faktor-faktor (%)					
	Benda kerja dominan P			Benda kerja dominan V		
	MCC	R _a	VHN	MCC	R _a	VHN
Permukaan silindris hasil bubut						
vc	5	8	9	10	14	23
f	20	0	52	31	19	32
a	13	33	39	46	14	36
%P-V	62	59	0	13	53	9
Permukaan silindris hasil gurdi						
vc	23	35	9	49	17	16
f	0	35	3	41	27	6

<i>a</i>	70	29	8	42	26	30
%P-V	7	1	80	8	30	48

4. Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian pembubutan dan pengguridan untuk menghasilkan permukaan silindris dari material matrik komposit komposisi campuran *Polyester* dengan *Vinylester* dengan memvariasikan parameter pemesinan vc , f dan a serta berbagai komposisi campuran P-V. Kemudian mengukur 3 karakter keutuhan permukaan silindris yaitu kebulatan, kekasaran dan perubahan kekerasan permukaan silindris maka dapat disimpulkan bahwa faktor yang signifikan mempengaruhi keutuhan permukaan kebulatan adalah faktor campuran P-V (45-60%) dan a (33-47%). Sedangkan faktor yang lain tidak terlalu berpengaruh adalah faktor vc dan a . Untuk kebulatan optimum bisa dicapai dengan $vc = 30$ m/min ($L2$), $f = 0,05$ mm/rev ($L1$), $a = 0,4$ mm ($L1$) pada bubut dan $a = 6$ mm ($L1$) pada gurdi, serta campuran P60V di mana hasilnya diperkirakan +/- 2,96 mikron. Faktor yang signifikan mempengaruhi keutuhan permukaan kekasaran permukaan adalah faktor campuran P-V (30-59%) dan a (20-31%). Sedangkan faktor vc dan a kontribusinya kecil. Untuk kekasaran permukaan optimum bisa dicapai dengan $vc = 30$ m/min ($L2$), $f = 0,05$ mm/rev ($L1$), $a = 0,8$ mm ($L2$) pada proses bubut dan $a = 7$ mm ($L3$) pada proses gurdi, serta campuran P60V, di mana hasilnya diperkirakan pada kondisi optimum adalah +/- 0,25 mikron. Faktor yang signifikan mempengaruhi keutuhan permukaan perubahan kekerasan saat dilakukan proses gurdi adalah faktor campuran P-V (48-79%) dan a (8-29%). Sedangkan faktor vc dan f memiliki kontribusi kecil terhadap perubahan kekerasan. Dari pengujian kekerasan yang dilakukan, perubahan kekerasan yang terbaik dicapai pada proses bubut dominan *polyester* faktor $vc = 10$ m/min ($L1$), $f = 0,05$ mm/r ($L1$), $a = 0,4$ mm ($L1$), campuran P100V ($L1$). Untuk percobaan kedua pada komposisi matriks dominan *Vinylester* pada proses bubut perubahan kekerasan terbaik didapatkan pada putaran $vc = 30$ m/min ($L2$), $f = 0,10$ mm/r ($L3$), $a = 1,2$ mm ($L3$), campuran P-V60 ($L1$). Terbaik berikut pada percobaan proses gurdi dominan *Polyester* faktor $vc = 40$ m/min ($L3$), $f = 0,05$ mm/r ($L1$), $a = 7$ mm ($L3$), campuran P80V ($L2$). Untuk percobaan kedua pada komposisi matriks dominan *Vinylester* pada proses bubut perubahan kekerasan terbaik didapatkan pada faktor $vc = 40$ m/min ($L3$), $f = 0,05$ mm/r ($L1$), $a = 7$ mm ($L3$), campuran P80V ($L2$). Terjadi rata-rata peningkatan kekerasan pada material saat dilakukan pemesinan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Jurusan Teknik Mesin FT-Universitas Andalas karena telah

membiayai kegiatan kajian ini dalam skim "Penelitian Mandiri Dosen Unand".

Daftar Pustaka

- [1] Astakhov VP., (2010). Surface Integrity in Machining – Chapter I; Definition and Importance in Functional Performance. London: Springer.
- [2] Roy, K.R. (2010). A Primer on Taguchi Method. Michigan. Copyright © 2010 Society of Manufacturing Engineers.
- [3] Rajmohan T. (2019). Review on effect machining parameters on performance of natural fibre– reinforced composites (NFRCS). Journal of Thermoplastic Composite Materials. 32(9), 1282-1302.
- [4] M. Engineering, H. Education, I. To, and T. Taguchi (2012). Application of Taguchi Method for Surface Roughness and Roundness Error in Drilling of AISI 316 Stainless Steel. vol. 58, pp. 165–174.
- [5] M. Darsin, Y. Hermawan, H. A. Basuki, and A. K. Effendi, (2010). Pembubutan Marmer Dengan Variasi Parameter Kedalaman Potong Kecepatan Potong Dan Gerak Makan. Response, pp. 13–15.