

PENGARUH VARIASI KECEPATAN DAN VARIABEL PUTARAN SPINDEL MESIN FRAIS TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN PADA PROSES FRAIS MMC MATRIKS KUNINGAN PENGUAT *FLY ASH*

Oleh:

Djonni Bangun

Dosen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang;

e-mail: djonni_bangun@yahoo.com

Abstrak: Metal matrix composite (MMC) is composite material which based bronze as matrix material and fly ash as strenghtener material. Fly ash is one of product of sugar industry burning retention. MMC consist of 15% wight of Cu, 83% wight of Zn, and 5% wight of flay ash. This researche will explore machinabilities of this material. Milling machine metode is choised for cutting of this material. Problem of this research are:” What are feeding (s) and revolution of spindle (n) influence to surface roughness as cutting product of milling machine?” Research design is used is inferential quantitative. Datas collecting performed with laboratories test. Otherwise, surface roughness datas is collected with dial indicator instrument. Results of this research are (1) spindle revolution and feeding variables in not free or have inter-influence to surface roughness quality of MMC material, (2) Relation strength of spindle revolution and feeding variables in not free or have inter-influence to surface roughness quality of MMC material is weak. This research conclunions are (1) spindle revolution and feeding variables is not free or have inter-influence to surface roughness quality of MMC material, (2) Relation strength of spindle revolution and feeding variables in not free or have inter-influence to surface roughness quality of MMC material is weak. The weakness of both parameters can be caused by cutter tool, material properties, and measurement instrument are used.

Kata Kunci: kecepatan, putaran spindel, dan kekasaran permukaan

Proses permesinan merupakan proses untuk mengubah bentuk bahan baku menjadi benda kerja dengan menghasilkan geram (*chip*). Salah satu proses pemesinan yang banyak dilakukan adalah proses pengefraisan (*miling*). Pada proses *miling* pahat memiliki lebih dari satu mata potong, pahat bergerak memutar sedangkan benda kerja bergerak lurus.

Kekasaran permukaan benda kerja merupakan salah satu parameter dalam penentuan kualitas produk, permukaan benda kerja yang terlalu kasar akan menyebabkan fungsi komponen tersebut kurang sempurna sehingga dianggap produk rusak (*reject*). Benda kerja terlalu kasar

menyebabkan gesekan pada benda kerja tersebut menjadi terlalu tinggi ataupun menjadi masalah dalam hal estetika.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan pada benda kerja adalah jenis material benda kerja dan parameter proses pemesinan. Material yang keras cenderung menghasilkan permukaannya halus, sedangkan logam yang ulet cenderung mempunyai permukaan yang kasar. Komposit merupakan perpaduan antara dua bahan atau lebih yang memiliki sifat yang berbeda (ASM 2001, Callister 1993) sehingga memerlukan parameter proses yang berbeda dengan parameter yang telah ada.

Komposit dengan matriks logam dikenal dengan nama *metal matrix composite* (MMC). MMC dengan matriks perunggu dan penguat grafit. Bahan ini memiliki sifat mekanik yang cenderung turun, tetapi ketahanan ausnya tinggi (Heru, 2006), sedangkan MMC dengan matriks kuningan dengan penguat *fly ash* memiliki kekuatan tarik, kekerasan, dan keuletan yang meningkat (Aminudin, 2009).

Sifat MMC dengan matriks kuningan dengan penguat *fly ash* yang keras, tetapi keuletannya tinggi dimungkinkan memerlukan parameter berbeda dengan standar parameter pemotongan frais yang sudah ada. MMC, dengan komposisi 15% berat Cu, 83% berat Zn, dan 5% berat *fly ash* merupakan material yang difabrikasi sendiri menggunakan dapur pencairan dengan perapian terbuka serta menggunakan bahan bakar minyak tanah. Dari sisi komposisi, material ini mungkin belum banyak digunakan di pasaran atau bahkan mungkin belum pernah digunakan. Sehingga, diperlukan kajian laboratories untuk mengidentifikasi sifat-sifatnya, Sifat dimaksud antara lain sifat mekanik (*mechanical properties*), sifat untuk dikerjakan (*technological properties*), sifat fisik (*physical properties*), sifat kimiawi (*chemical properties*).

Sebagai langkah awal, *technological properties* menarik untuk dikaji, misalnya *machineability*, *formingability*, *castingability*, *weldingability*, dan *hardenability*. Dalam kajian ini akan dilakukan identifikasi parameter pemotongan proses *milling* yang paling sesuai untuk material MMC dengan komposisi 15% berat Cu, 83% berat Zn, dan 5% berat *fly ash*. Parameter pemotongan proses *milling* dimaksud adalah kecepatan

putar *spindel* dan kecepatan potong. Kesesuaian kedua parameter pemotongan tersebut diukur berdasarkan indikator kualitas permukaan, yakni tingkat kekasaran permukaan benda kerja setelah dipotong dengan mesin frais. Tingkat kekasaran permukaan adalah perbedaan penyimpangan rata-rata kontur permukaan dengan bidang referensi di permukaan benda uji, yang sering disebut kekasaran rata-rata aritmatik (R_a) dan diukur dengan satuan μm (EDV, 1976 dan DeGarmo, 1998).

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah eksperimental laboratoris dengan rancangan korelasional non parametrik studi kasus benak tunggal (*one shot case study*). Dipilih jenis penelitian non parametrik, karena jumlah datanya sedikit. Rancangan penelitian ini dapat digambarkan seagai berikut:



Dimana: X = Objek,
Y = Perlakuan
O = Observasi

Objek penelitian ini adalah *metal matrix composite* (MMC). MMC dimaksud adalah jenis komposit menggunakan matriks kuningan dengan serat abu terbang (*fly ash*). Kuningan merupakan paduan antara aluminium (Zn) dan tembaga (Cu), sedangkan abu terbang merupakan produk limbah buangan yang dihasilkan oleh pabrik penggilingan tebu. Kedua material ini dicairkan kemudian dicor dengan dimensi segi empat berukuran penampang 2 Cm x 2 Cm dan panjang 30 cm.

Data penelitian ini diperoleh dengan melakukan observasi terhadap objek penelitian yang diterapi *treatment*. Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah korelasional non parametrik menggunakan statistik kesalingbebasan untuk menguji kesalingbebasan antar faktor. Kesalingbebasan antar faktor diuji dengan statistik khi-kuadrat (χ^2). Derajat pengaruh antar faktor, yang terdiri dari sejumlah klasifikasi, dianalisis dengan ukuran koefisien kontingensi dari Karl Pearson.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Deskriptif Hasil Penelitian

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah kesalingimbangan. Prosedur analisis data ini mengikuti tahapan (1) menyajikan data hasil pengukuran kekasaran permukaan, (2) menghitung frekuensi teoritik untuk setiap sel yang bersesuaian dengan frekuensi amatan, (3) menghitung statistik uji khi-kuadrat (χ^2) untuk menguji hipotesis, (4) menghitung koefisiensi kontingensi (C) dengan rumus Pearson, (5) mencari C maks dalam tabel,

dan (6) membandingkan hasil perhitungan koefisiensi kontingensi dengan koefisiensi maksimal tabel ($C_{maks.}$).

Berdasarkan hasil analisis data, maka tujuan penelitian, yakni (1) kualitas permukaan rata-rata aritmatik (Ra) untuk setiap ubahan parameter kecepatan potong dan kecepatan putaran spindel, (2) tingkat kesalingbebasan parameter kecepatan potong dan kecepatan putaran spindel terhadap tingkat kekasaran permukaan, dan (3) tingkat pengaruh parameter kecepatan potong dan kecepatan putaran spindel terhadap tingkat kekasaran permukaan dapat dipaparkan.

Tingkat Kekasaran Permukaan Rata-rata Aritmatik (Ra)

Hasil pengukuran tingkat kekasaran permukaan rata-rata aritmatik (Ra) untuk ubahan putaran spindel (n) dan kecepatan pemakanan (s) disajikan dalam tabel 1.

Hasil analisis data menunjukkan nilai numerik. Dalam manufaktur, tingkat kekasaran permukaan hasil pemesinan lazim dinotasika dengan simbol N. dengan demikian, hasil pengamatan kekasaran permukaan dalam penelitian ini dikonversikan dari numerik menjadi symbol seperti pada table 2.

Tabel 1 Data Hasil Pengukuran Tingkat Kekasaran Permukaan Hasil Pengefraisan dengan Ubahan Putaran Spindel (n) dan Kecepatan Pemakanan (s)

	Putaran Spindel (put./mnt.)					
	31	55	102	178	310	570
7,3	14	250	92	24	140	58
11,9	14	58	88	38	16	44
13	40	34	20	14	152	80
24,5	16	40	8	58	8	28
33,5	0	36	6	6	22	72
59,4	14	11	16	3	34	0

Tabel 2 Simbol kualitas Tingkat Kekasaran Permukaan Hasil Pengefraisan dengan Ubahan Putaran Spindel (n) dan Kecepatan Pemakanan (s)

		Putaran Spindel (put./mnt.)					
		31	55	102	178	310	570
Kecepatan pemakanan (mm/mnt.)	7,3	N10	N12	N12	N10	N12	N12
	11,9	N10	N12	N12	N11	N10	N11
	13	N11	N11	N10	N10	152	N12
	24,5	N10	N11	N9	N12	N9	N11
	33,5	N1	N11	N9	N9	N10	N12
	59,4	N10	N10	N10	N8	N12	N1

Tingkat Kesalingbebasan Kecepatan Potong dan Kecepatan Putaran Spindel terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan

Menurut Furqon (2002), analisis data terhadap tingkat kesalingbebasan parameter kecepatan potong dan kecepatan putaran spindel terhadap tingkat kekasaran permukaan mengikuti tahapan sebagai berikut:

1. Menghitung Frekuensi Teoritik

Hasil perhitungan frekuensi teoritik (cetak tebal) untuk setiap sel yang bersesuaian dengan frekuensi amatan disajikan dalam tabel 3.

2. Menghitung Statistik Uji Khi-Kuadrat (χ^2)

Berdasarkan hasil analisis data diperoleh harga χ^2 hitung = 569,873, sedangkan $\chi^2_{0,95(25)} \text{ tabel} = 37,652$. Berarti χ^2 hitung $> \chi^2_{0,95(25)} \text{ tabel}$ ($569,873 > 37,652$). Dengan demikian H_1 diterima atau kedua faktor, yakni parameter putaran spindel (n) dan kecepatan pemakanan (s) saling tidak bebas atau saling berpengaruh terhadap tingkat kekasaran permukaan material MMC dengan matriks kuningan dan penguat *flay ash* hasil pengefraisan.

Tabel 3 Kontingensi Hasil Amatan dengan Dua Faktor

Ubahan Kecepatan pemakanan (mm/mnt.)	Ubahan putaran spindel (put/mnt.)						Jml.
	31	55	102	178	310	570	
7,3	14	250	92	24	140	58	578
	36.450	159.563	85.546	23.741	138.362	104.888	
11,9	14	58	88	38	16	44	258
	16.270	71.223	38.185	23.741	61.76062	46.8183	
13	40	34	20	14	152	80	340
	21.441	93.861	50.321	31.287	81.38996	61.698	
24,5	16	40	8	58	8	28	158
	9.963	43.617	23.384	31.287	37.82239	28.671	
33,5	0	36	6	6	22	72	142
	8.954	39.200	21.016	13.066	33.99228	25.7683	
59,4	14	11	16	3	34	0	78
	4.918	21.532	11.544	7.177	18.67181	14.154	
Jml.	98	429	230	143	372	282	1554

Tingkat Pengaruh Parameter Kecepatan Potong dan Kecepatan Putaran Spindel terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan

Untuk menghitung tingkat pengaruh parameter kecepatan potong dan kecepatan putaran spindel terhadap tingkat kekasaran permukaan mengikuti tahapan sebagai berikut:

1. Menghitung Koefisien Kontingensi Teoritis

Hasil perhitungan Koefisien kontingensi teoritis tersebut disajikan dalam tabel 4.

Tabel 4 Koefisien Kontingensi Teoritis

Koefisien Kontingensi	χ^2	Total frekuensi teoritik (n)	$\chi^2 + n$	$\chi^2 / (\chi^2 + n)$	C hitung
Koefisien kontingensi hitung	569.871	1554	2123.871	0.268317	0.51799

2. Menghitung Koefisiensi Kontingensi Maksimum (C maks.)

Koefisiensi kontingensi maksimum diperoleh dari tabel dan hasilnya disajikan dalam tabel 5.

Tabel 5 Nilai C maks Berdasarkan Derajat Kebebasan (b-1)(k-1)

Koefisien Kontingensi	Baris (b)	Kolom (k)	dk = (b-1)(k-1)	C maks.
Koefisien kontingensi maks.	6	6	25	0.91287

Hasil analisis data koefisien kontingensi dengan Karl Pearson menunjukkan bahwa koefisien kontingensi teoritis (C) = 0.51799, sedangkan koefisien kontingensi maksimum yang diperoleh dari tabel (C maks.) = 0.91287 atau $C < C \text{ maks.}$ (0.51799 < 0.91287). Hasil analisis data ini mengindikasikan, bahwa tingkat hubungan parameter putaran spindel dan kecepatan pemakanan terhadap tingkat kekasaran permukaan material MMC dengan matriks kuning dan penguat *fly ash* hasil pengefraisan lemah.

Pembahasan

Berdasarkan hasil uji statistik χ^2 diperoleh indikasi, bahwa putaran spindel (n) dan kecepatan pemakanan (s) terhadap tingkat kekasaran permukaan MMC hasil pengefraisan saling tidak bebas secara statistik. Kualitas hasil pemesinan dapat diukur berdasarkan empat indikator, yakni kualitas permukaan, ketepatan ukuran dimensi, efisiensi (waktu, biaya, tenaga, alat), dan umur alat potong. Secara empirik, kualitas hasil proses pemesinan tersebut, termasuk pengefraisan, dipengaruhi oleh tiga faktor, yakni pemilihan parameter pemotongan, meliputi kecepatan potong/putar (U/n), kedalaman pemotongan (b), kecepatan pemakanan (s), dan jenis media pendingin yang digunakan (Gerling, 2002; Serope, 2001; Rochim, 1993; EDV, 1976). Faktor pemilihan parameter pemotongan tersebut merupakan variable terikat, sedangkan variable bebasnya adalah jenis material yang dipotong (*cutting*) dan jenis alat potong yang digunakan. Dengan demikian, hasil uji statistik tersebut memenuhi kaidah empiric yang sudah dianggap mapan. Artinya, kecepatan putar spindel dan kecepatan pemakanan alat potong saling tidak bebas atau saling berpengaruh terhadap tingkat kekasaran permukaan hasil pemotongan dengan mesin frais.

Di pihak lain, hasil uji tingkat pengaruh putaran spindel (n) dan kecepatan pemakanan (s) terhadap tingkat kekasaran permukaan material MMC matriks kuning dengan penguat *fly ash* hasil pengefraisan lemah. Dua hasil uji signifikansi, yakni putaran spindel (n) dan kecepatan pemakanan (s) terhadap tingkat kekasaran permukaan material MMC matriks kuning dengan penguat *fly ash* tidak bebas secara

signifikan. Hal ini didukung oleh data empirik yang selama ini dianggap mapan. Namun di lain pihak, berdasarkan hasil uji kuatnya pengaruh pengaruh kedua parameter tersebut terhadap kekasaran permukaan material MMC matriks kuningan dengan penguat *fly ash* lemah. Kondisi ini tampaknya tidak saling memenuhi logika dalam konteks proses pemesinan. Hasil penelitian ini dapat dibahas berdasarkan, minimal, tiga hal, yakni alat potongnya, material yang dipotong, dan alat ukur yang digunakan.

Ditinjau dari alat potong, parameter alat potong yang digunakan memiliki *clearance angle* (α) terukur = 10^0 , *rake angle* (γ) terukur = 25^0 , *helix angle* (χ) terukur = 25^0 . Di pasaran, jenis parameter alat potong (*end mill*) tersebut yang tersedia. Parameter ini lazim digunakan untuk baja dengan indikator kekerasan rendah. Dalam buku-buku teks, alat potong jenis *end mill* untuk pemotongan kuningan memiliki parameter $\alpha = 8^0$, $\gamma = 20^0$, dan $\chi = 25^0$ (Gerling, 2002). Mungkin perbedaan parameter alat potong dapat mempengaruhi kedua parameter tersebut terhadap tingkat kekasaran permukaan benda kerja hasil pemotongan.

Ditinjau dari material yang dipotong, yakni MMC matriks kuningan dengan penguat *fly ash*. Material ini relative belum populer dikalangan praktisi pemesinan atau dianggap jenis material komposit yang relative baru. Ditinjau dari fabrikasinya, material objek dibuat dengan cara dicor. Meskipun tingkat kekerasannya memenuhi angka seperti yang dipersyaratkan dalam tabel penggunaan *end mill*, tetapi material yang dicor memiliki karakteristik berbeda dengan hasil pengerolan atau canai. Material logam yang dicor cenderung

memiliki tingkat cacat yang lebih kompleks disbanding hasil pengerolan atau canai. Cacat yang paling dominan adalah rongga mikro yang diakibatkan oleh hidrogen (H) yang terjebak dalam hasil coran (*hydrogen defect*) dan struktur mikri yang *columnar*. Cacat tersebut akan mengakibatkan turunnya keuletan (*meliability*), penurunan kekuatan tarik (*ultimate strength*), ketangguhan (*thughness*) rendah, dan kemampuan untuk dimesin (*machineability*) rendah. Secara umum, material yang difabrikasi dengan cara dicor memiliki sifat mekanik yang tidak seragam.

Cacat hydrogen mungkin merupakan salah satu penyebab lemahnya pengaruh kedua parameter pemotongan terhadap tingkat kekasaran permukaan material MMC dengan matrik kuningan penguat *fly ash*. Cacat hydrogen dapat menyebabkan benturan dengan matapotong alat potong pada saat eksekusi material, sehingga dapat berpengaruh terhadap kekasaran permukaan yang dihasilkan.

Ditinjau dari alat ukur yang digunakan. Pengukuran kekerasan permukaan material MMC dengan matrik kuningan penguat *fly ash* hasil pengefraisan menggunakan *dial indikator* manual. Jarum *dial indikator* manual berujung tumpul, sehingga pda saat pengukuran ujung tersebut tidak dapat menjangkau permukaan yang berfluktuasi minimum. Akibatnya dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Meskipun demikian, alat ini cukup praktis digunakan di lapangan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Parameter putaran spindel (n) dan kecepatan pemakanan (s) saling tidak bebas atau saling berpengaruh terhadap tingkat kekasaran permukaan material MMC dengan matriks kuningan dan penguat *flay ash* hasil pengefraisan.
2. Pengaruh putaran spindel (n) dan kecepatan pemakanan (s) terhadap tingkat kekasaran permukaan material MMC dengan matriks kuningan dan penguat *flay ash* sejalan dengan data empirik yang telah dianggap mapan dalam praktik pengefraisan.
3. Tingkat hubungan parameter putaran spindel dan kecepatan pemakanan terhadap tingkat kekasaran permukaan material MMC dengan matriks kuningan dan penguat *fly ash* hasil pengefraisan lemah.
4. Lemahnya pengaruh parameter putaran spindel dan kecepatan pemakanan terhadap tingkat kekasaran permukaan material MMC dengan matriks kuningan dan penguat *fly ash* mungkin disebabkan oleh factor alat potong, material yang dipotong, dan alat ukur yang digunakan.

Saran

Saran-saran yang dapat diajukan dalam penelitian ini adaah sebagai berikut:

1. Agar diperoleh penelitian yang lebih bermakna, penelitian ini hendaknya melibatkan empat parameter, yakni kedalaman pemotongan, kecepatan pemotongan, kecepatan putar, dan jenis media pendingin yang digunakan.
2. Alat ukur yang digunakan untuk mengobservasi tingkat kekasaran permukaan benda kerja hendaknya menggunakan *surface roughness tester* digital yang telah dikalibrasi, sehingga kesalahan pengukuran dapat diminimalkan.
3. Sebagai material yang relative belum populer, maka akan menjadi lebih bermakna jika penelitian terhadap material ini dimulai dari komposisi kimia, struktur mikro, dan sifat mekaniknya.
4. Bagi peneliti berikutnya terhadap material ini, penelitian hendaknya diperluas untuk *machineability* dengan metode bubut, karena lebih representatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminnudin, 2010, Pengembangan Metal Matriks Composite (MMC) Matriks Kuningan dan Partikel Penguat Abu Terbang (Fly Ash). Dalam: *Proceding Seminar Pascasarjan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya*, FT-UB
- ASM International Committee. 2001. Dalam: *ASM Handbook*. Volume 21. Composite. ASM International
- DeGarmo, Paul E. 1998. *Material and Prosesing in Manufacturing*. London: Collier MacMillan Limited
- Callister Jr, W.D. 1997. *Material Science and Engineering*. An Introduction 4th Edition. John Willey and Sons. New York
- Cahn, Robert W & Haase, P. (--). *Physical Metallurgy*. Elsever Scince B.V. Amsterdam
- Campbell, John. 2003. *The New Metallurgy of Cast Metal: Casting*. Butterworth Heinemann. Oxford
- Furqon. 2002. *Statistika Terapan untuk Penelitian*. ed. keempat. Bandung: Erlangga
- Gerling. 2002. *All about Machine Tools*. 9th ed. New Delhi: Welley Estern Limited.
- Heru Suryanto, Aminudin. 2006. *Karakteristik Keausan Adhesif*

- Komposit Matriks Perunggu Dengan Penguatan Grafit.* Penelitian Dosen Muda. DP2M.
- Jones, Robert M. --. *Mechanics of Composite Materials.* Taylor & Francis
- Serope, Kalpakjian. 2001. *Manufacturing Process for Engineering Materials.* California: Eddison Wesley Publishing Co.
- Education Departement Victoria. 1976. *Fitting and Machining.* Vol3. Victoria: Wilke and Co. Limited.
- Mukherjee. The 42th National Metallurgists Day. November 2004. dalam: *Processing Of Secondary Resources For Sustainable Development In The Metallurgical Industries.* New Delhi: Thiruvananthapuram
- Rochim, T. 1993. *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan.* Jakarta: HEDSP.