

Pengaruh Parameter Pemesinan Terhadap Kualitas Permukaan Baja DF-3 (AISI 01) Yang Dikeraskan

Gandjar Kiswanto, Danardono AS. dan Slamet Wiyono

Program Studi Teknik Mesin Kekhususan Teknik Manufaktur

Universitas Indonesia, Depok 16424

gandjar_kiswanto@eng.ui.ac.id; danardon@eng.ui.ac.id; adi_wiyana03@yahoo.com

Abstrak

Kekasaran permukaan memegang peranan penting dalam kualitas produk. Dalam penelitian ini, dampak kecepatan pemotongan (*cutting speed*), laju pemakanan (*feed rate*), kedalaman pemotongan (*depth of cut*) dan kekerasan benda kerja (*workpiece hardness*) terhadap kekasaran permukaan baja DF 3 pada *finish hard turning* dikaji secara eksperimen menggunakan dua jenis material pahat yang berbeda, yaitu *cubic boron nitride* dan *ceramics insert*. Empat parameter tersebut diuji berdasarkan eksperimen faktorial berfraksi tingkat dua (*two level fractional factorial experiments*). Analisa data eksperimen dilakukan secara statistik menggunakan analisa varian. Hasil analisa varian menunjukkan bahwa kecepatan potong, laju pemakanan, kekerasan benda kerja dan kedalaman pemotongan secara statistik mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan. Interaksi kecepatan potong dan kekerasan benda kerja, kecepatan potong dan laju pemakanan serta kecepatan potong dan kedalaman pemotongan juga tampak berpengaruh. Secara khusus ditemukan bahwa pada range kekerasan 55.4 sampai dengan 59.6 HRC, CBN mampu menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih baik dibandingkan *ceramics*.

Kata kunci: Parameter pemotongan, Kekasaran permukaan dan *Hard turning*.

Abstract

Surface roughness plays an important role in product quality. In this study, effects of cutting speed, workpiece hardness, feed rate and depth of cut on surface roughness in the finish hard turning of DF-3 hardened steel were experimentally investigated. Cubic boron nitride inserts and ceramics with through-hardened DF-3 steel bars were used. Four factor-two level fractional experiments were conducted and statistical analysis of variance was performed. During hard turning experiments, roughness of the machined surface was measured. This study shows that the effects of workpiece hardness, depth of cut, feed rate and cutting speed on surface roughness are statistically significant. The effects of two-factor interactions of the cutting speed and the workpiece hardness, the cutting speed and the feed rate, and the cutting speed and depth of cut are also appeared to be important. Especially, CBN suitable for high or low cutting speed because on the 55.4 to 59.6 HRC hardness range resulted in better surface roughness.

Key words: Cutting parameters, Surface roughness and *Hard turning*.

1. Pendahuluan

Hard turning merupakan istilah teknologi pemesinan komponen logam yang telah dikeraskan, biasanya antara 45-70 HRC. Proses ini dapat dilakukan tanpa media pendinginan untuk jenis bahan *poly crystalline cubic boron nitride* [1, 2]. *Hard turning* telah dimanfaatkan secara praktis oleh industri manufaktur di benua Amerika dan Eropa untuk memproduksi suatu komponen dari logam dalam rangka meningkatkan kualitas dan daya saing

produk secara menyeluruh. Keuntungan yang dapat diraih dengan menerapkan teknologi *hard turning* antara lain pembubutan material lunak dan keras dilakukan pada mesin yang sama, pembuangan material 4 - 6 kali lebih besar dari proses gerinda dan penanganan limbah pemesinan lebih mudah [3]. Beberapa literatur menyebutkan bahwa penelitian yang telah dilakukan dikonsentrasikan pada mekanisme pembentukan geram dalam rangka mencari hubungan karakteristik proses dan stabilitas pemotongan pada

proses *hard turning* [2,4,5]. Penelitian lainnya difokuskan pada temperatur pemotongan, komposisi dan karakteristik keausan pahat CBN [5,6,7,8,9] dan efek properti material, geometri pahat dan kondisi pemotongan [2,10,11] terhadap integritas permukaan benda kerja.

Banyak faktor yang mempengaruhi hasil dari proses *hard turning*. Untuk menjadikannya sebagai proses yang efisien, diperlukan pemahaman terhadap proses secara komprehensif baik pengaruh tiap faktor maupun kombinasinya. Namun demikian dalam penelitian ini hanya ditinjau sejauh mana pengaruh parameter pemesinan yaitu kecepatan potong (*cutting speed*), kedalaman pemotongan (*depth of cut*), laju pemakanan (*feed rate*) dan kekerasan benda kerja (*workpiece hardness*) terhadap kekasaran permukaan produk.

2. Prosedur Eksperimen

2.1. Benda Kerja dan Pahat

Tabel 1 merupakan parameter dan tingkat pengujian material benda kerja yang digunakan yaitu baja DF-3 (AISI 01). Material ini secara luas digunakan untuk komponen mesin, misalnya *gear*, *piston*, *nozzle*, *dies* dan *cams* serta untuk aplikasi perkakas pada proses pengerjaan dingin seperti *roll*, *punch* dan *forging*. Dimensi benda kerja yang digunakan adalah round bar dengan diameter 35 mm dan panjang 100 mm. Benda kerja tersebut dikekeraskan pada dua level 55 dan 60 HRC. Namun demikian dari hasil pengukuran, nilai kekerasan rata-rata yang didapat adalah 55.4 dan 59.6 HRC.

Pahat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *cubic boron nitride (CBN)* dan *ceramics insert* dengan bentuk geometrinya *rhombic* menyudut sudut 80 derajat dan preparasi tepi merupakan gabungan antara *chamfer* dan *honed*. Radius mata pahat yang digunakan adalah 0.8 mm. Pahat tersebut diproduksi oleh Kyocera dengan *indexable CNGA-120408-A66N* untuk *ceramics* dan *CNGA-120408-KBN25B* untuk bahan CBN. Sedangkan *Tool holder* yang digunakan adalah jenis *PCLNR25K*.

2.2. Disain Eksperimen

Empat parameter diuji melalui pendekatan eksperimen faktorial berfraksi (*2^{k-1} fractional factorial experiment*) untuk menguji pengaruh kecepatan potong, kekerasan benda kerja, kedalaman pemotongan dan laju pemakanan terhadap kekasaran permukaan pada proses pembubutan akhir baja DF-3 (AISI01) yang telah dikeraskan.

Tabel 1.
Parameter dan level pengujian

Level	Parameter pengujian			
	HRC	F [mm/rev]	DOC [mm]	CS [m/min]
Low (-1)	55.4	0.081	0.15	80
High (+1)	59.6	0.144	0.25	120

Keterangan :

HRC : kekerasan benda kerja F : feed rate

DOC : kedalaman pemotongan CS : kecepatan potong

Proses pembubutan dilakukan pada mesin bubut konvensional merk Weiler tipe DA 180/1000 buatan Austria tahun 1999. Benda kerja dijepit menggunakan cekam rahang tiga dengan panjang pembubutan efektif 60 mm pada arah aksial dengan asumsi bahwa *tool overhang* dan mesin bubut cukup rigid sehingga mampu menyerap getaran yang terjadi selama pemesinan berlangsung.

Kekasaran permukaan benda kerja diukur menggunakan Mitutoyo SJ digital surface analyzer dengan *trace of length 5.6 mm*, *cut of length 0.8 mm*.

Tabel 2 merupakan desain eksperimen dan data yang dihasilkan dari pengukuran psik benda kerja.

3. Hasil dan Pembahasan

Analysis of variance (ANOVA) digunakan untuk mengidentifikasi parameter yang signifikan mempengaruhi variable respon dalam hal ini kekasaran permukaan. Teknik ini berfungsi untuk menguji apakah rata-rata dari suatu sumber variasi memiliki perbedaan secara berarti.

Tabel 2.
Desain Eksperimen dan Data Pengukuran

Order Test	Parameter Pengujian				Cutting Tool	Ra [μm]			- Ra [μm]
	HRC	F	DOC	CS		1	2	3	
1	+1	-1	-1	+1	Ceramics	0.419	0.521	0.432	0.457
2	-1	+1	+1	-1	Ceramics	0.430	0.489	0.513	0.477
3	+1	+1	-1	-1	Ceramics	0.546	0.976	0.653	0.725
4	-1	+1	-1	+1	Ceramics	0.774	0.920	0.769	0.821
5	-1	-1	-1	-1	Ceramics	0.518	0.555	0.542	0.538
6	+1	+1	+1	+1	Ceramics	0.485	0.576	0.556	0.539
7	+1	-1	+1	-1	Ceramics	0.545	0.646	0.523	0.571
8	-1	-1	+1	+1	Ceramics	0.997	0.562	0.446	0.668
1	+1	-1	-1	+1	CBN	0.375	0.327	0.369	0.357
2	-1	+1	+1	-1	CBN	0.426	0.516	0.443	0.462
3	+1	+1	-1	-1	CBN	0.530	0.546	0.486	0.521
4	-1	+1	-1	+1	CBN	0.575	0.568	0.584	0.576
5	-1	-1	-1	-1	CBN	0.496	0.402	0.527	0.475
6	+1	+1	+1	+1	CBN	0.484	0.561	0.493	0.513
7	+1	-1	+1	-1	CBN	0.615	0.488	0.583	0.562
8	-1	-1	+1	+1	CBN	0.626	0.592	0.626	0.615

Tabel 3.
Analisa Varian untuk R_a (CBN)

Source	DF	MS	F	P
HRC	1	0.03386	4.23	0.042
Feed Rate (F)	1	2.03597	41.49	0.003
Depth of Cut (DOC)	1	0.03425	5.28	0.048
Cutting Speed (CS)	1	3.02571	61.21	0.001
HRC*F	1	0.007	0.18	0.694
HRC*DOC	15	0.0278	0.53	0.890
HRC*CS	1	2.067	35.41	0.000
F*DOC	1	0.023	0.55	0.810
F*CS	1	0.581	11.24	0.001
DOC*CS	2	2.516	9.53	0.002
Error	27	916.2		
Total	57			

Tabel 3.
Analisa Varian untuk R_a (Ceramics)

Source	DF	MS	F	P
HRC	1	0.04638	5.14	0.034
Feed Rate (F)	1	2.04579	10.78	0.005
Depth of Cut (DOC)	1	0.03452	2.280	0.031
Cutting Speed (CS)	1	3.02138	15.91	0.001
HRC*F	1	0.0037	0.14	0.764
HRC*DOC	15	0.0328	0.62	0.713
HRC*CS	1	2.071	61.09	0.001
F*DOC	1	0.0301	0.78	0.498
F*CS	1	0.613	9.24	0.001
DOC*CS	2	3.216	7.24	0.002
Error	27	618.6		
Total	57			

Kesimpulan yang diambil dalam hal ini adalah indikasi tingkat keberartian yang ditunjukkan oleh nilai *P*. Tabel 3 dan Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan *ANOVA* untuk pemotongan dengan *cubic boron nitride (CBN)* dan *ceramics*.

Dalam perhitungan digunakan nilai ($\alpha=0.05$ yang berarti penolakan terhadap suatu hipotesis dimana hipotesis tandingan salah sebesar 5%. Kolom terakhir tabel tersebut menunjukkan indikasi pengaruhnya terhadap kekasaran permukaan benda kerja.

Analisa data kekasaran permukaan hasil pemotongan dengan kedua jenis material pahat menunjukkan bahwa secara statistik semua parameter pemesinan teridentifikasi memiliki dampak yang signifikan terhadap kekasaran permukaan benda kerja yaitu kecepatan potong, kedalaman pemotongan, laju pemakanan dan kekerasan benda kerja dengan tingkat konfidensial rata-rata mencapai >95%.

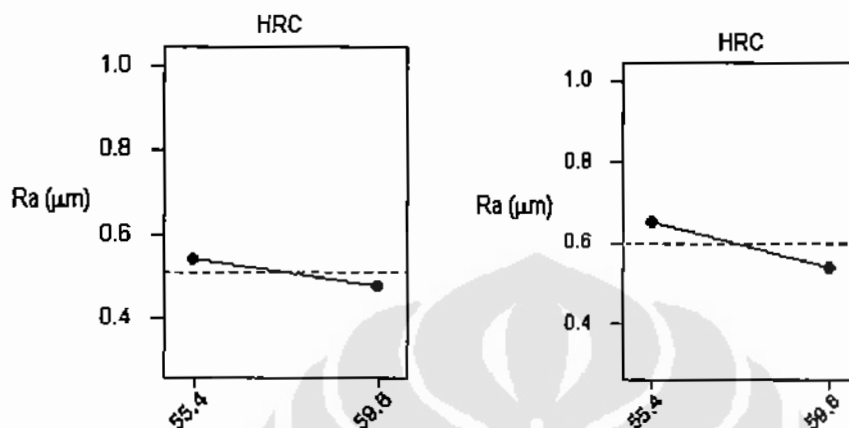
Sedangkan untuk pengaruh interaksi parameter didominasi oleh kekerasan benda kerja dan kecepatan potong, laju pemakanan dan kecepatan potong serta kedalaman pemotongan dan kecepatan potong dengan tingkat kepercayaan rata-rata mencapai >99%. Gambar 1 merupakan plot pengaruh kekerasan benda kerja (*workpiece hardness*) terhadap kekasaran permukaan (*Ra*). Pada range kekerasan 55.4 sampai dengan 59.6 HRC, kekasaran permukaan yang dihasilkan oleh kedua jenis pahat cenderung menurun. Hal ini disebabkan oleh deformasi material yang terlokalisasi pada daerah pemotongan. Mengingat tingkat kekerasan benda kerja yang di uji, sehingga tidak menyebabkan deposit material pada permukaan mata potong pahat yang dapat menurunkan performanya. Ditunjukkan pula bahwa *CBN* menunjukkan hasil yang lebih baik dibanding *ceramics*. Pada kondisi pemotongan yg sama, kekasaran permukaan rata-rata yang dihasilkan oleh *CBN* dan *ceramics* secara berurutan adalah 0.509 (m dan 0.599 (m. Sedangkan Gambar 2 adalah grafik pengaruh kedalaman pemotongan (*depth of cut*) terhadap *Ra*. Kekasaran permukaan cenderung meningkat seiring dengan kedalaman pemotongan. Hal

ini dapat terjadi disebabkan pemesinan dengan kedalaman pemotongan yang besar menyebabkan gaya pemotongan cenderung meningkat sehingga menghasilkan vibrasi (*chatter*) yang dapat memperburuk kualitas permukaan. Gambar 3 adalah plot pengaruh laju pemakanan (*feed rate*) terhadap *Ra*.

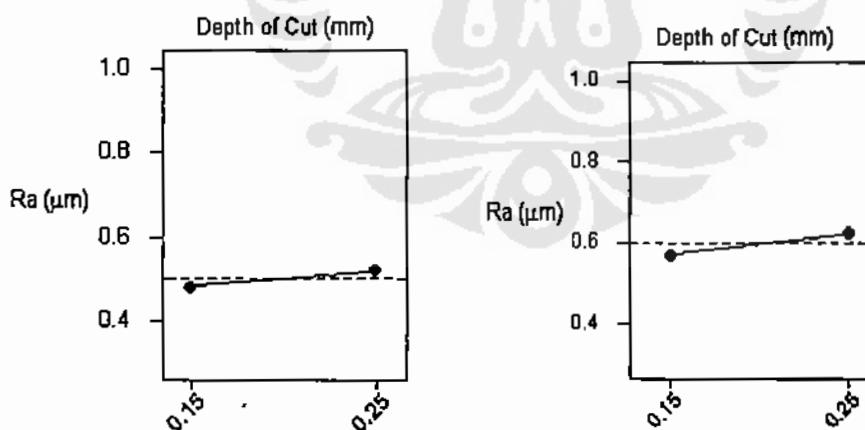
Secara teoritis kekasaran permukaan merupakan fungsi dari parameter ini dimana hubungan keduanya adalah berbanding lurus. Semakin tinggi laju pemakanan, kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan cenderung semakin kasar. Sedangkan Gambar 4 merupakan plot pengaruh kecepatan potong terhadap *Ra*. Kenaikan kecepatan potong menyebabkan *Ra* yang dihasilkan oleh *CBN* cenderung menurun. Sebaliknya dengan *Ra* yang dihasilkan *ceramics* cenderung semakin kasar. Ini berarti bahwa pemesinan dengan kecepatan potong yang tinggi akan meningkatkan laju kenaikan temperatur pemotongan sehingga mengakibatkan pelunakan pada pahat maupun benda kerja. Hal ini dapat diantisipasi oleh material pahat yang memiliki konduktivitas termal yang baik. Dibandingkan dengan *ceramics*, kemampuan *CBN* menghantarkan panas lebih baik. Hal ini menunjukkan bahwa *ceramics* lebih sesuai untuk pemesinan dengan kecepatan potong yang rendah. Efek interaksi didominasi oleh kombinasi kekerasan benda kerja dan kecepatan potong, kecepatan potong dan laju pemakanan serta kecepatan potong dan kedalaman pemakanan. Gambar 5 menunjukkan efek interaksi kekerasan benda kerja dan kecepatan potong terhadap *Ra*. Kekasaran permukaan yang baik dihasilkan oleh *ceramics* pada kombinasi kecepatan potong dan kekerasan benda kerja yang rendah sebaliknya *CBN* masih menunjukkan performa yang baik pada kombinasi yang tinggi. Gambar 6. menunjukkan pengaruh interaksi laju pemakanan dan kecepatan potong. Secara statistik interaksi kedua parameter tersebut mempunyai pengaruh yg signifikan dengan tingkat kepercayaan mencapai 99.9% baik untuk pemotongan dengan *CBN* maupun *Ceramics*. Kondisi pemotongan dengan kombinasi kecepatan potong tinggi dan laju pemakanan yang

rendah untuk CBN menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih baik. Sedangkan *ceramics*, menghasilkan kekasaran permukaan yang baik pada kombinasi laju pemakanan dan kecepatan potong rendah. Pengaruh interaksi kecepatan potong dan kedalaman pemotongan terhadap kekasaran permukaan pd tingkat kepercayaan 99.8%.

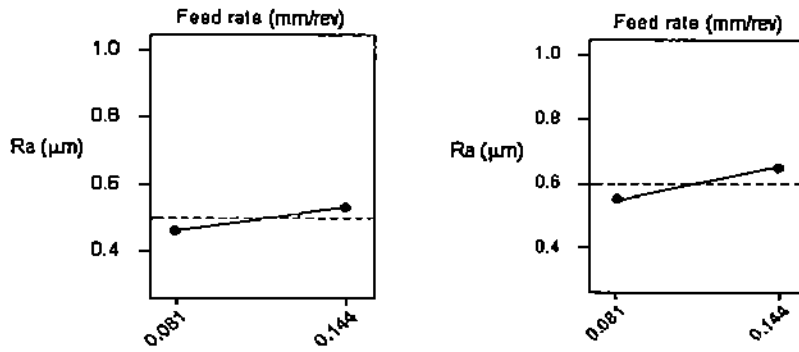
Sedangkan Gambar 4.7. merupakan plot pengaruh interaksi kecepatan potong dan kedalaman pemotongan. Pada kombinasi yang rendah dapat menggunakan *ceramics*, sedangkan CBN memperlihatkan kemampuannya pada kecepatan potong tinggi namun kedalaman potong yang rendah.



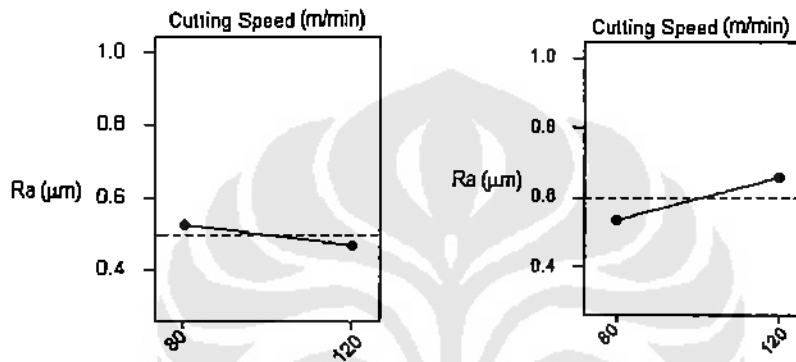
Gambar 1. Pengaruh Kekerasan Benda Kerja terhadap Ra



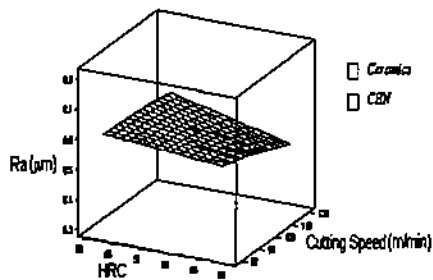
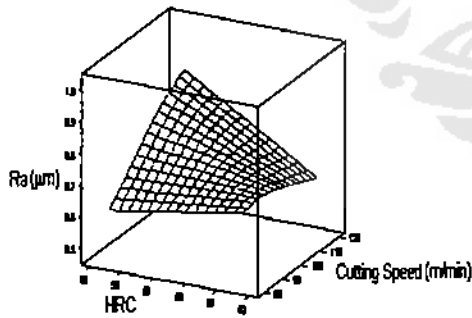
Gambar 2. Pengaruh Kedalaman Pemotongan terhadap Ra



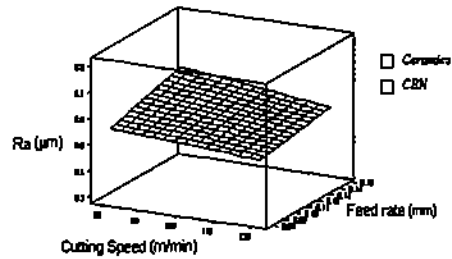
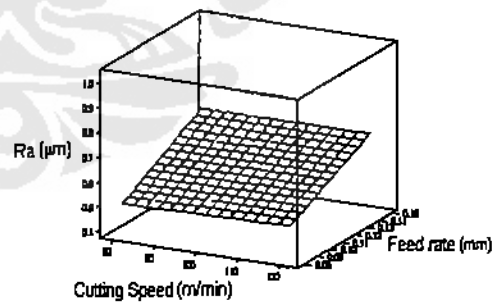
Gambar 3.
Pengaruh Laju Pemakanan terhadap Ra



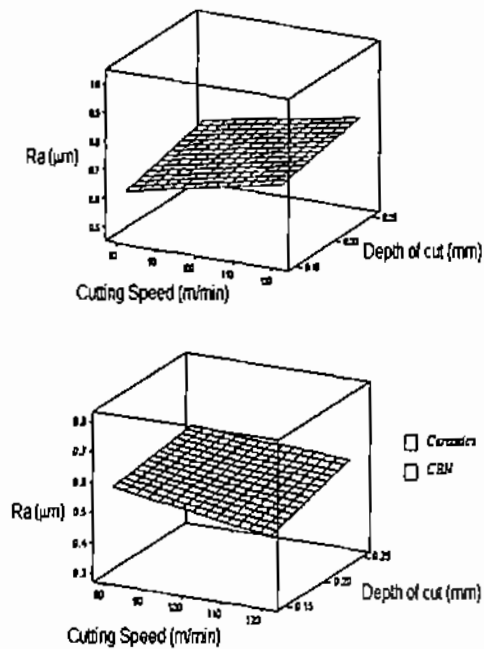
Gambar 4.
Pengaruh *Cutting Speed* terhadap Ra



Gambar 5.
Efek interaksi kecepatan potong dan kekerasan benda kerja terhadap ra



Gambar 6.
Efek interaksi laju pemakanan dan kecepatan potong pada ra



Gambar 7.
Efek interaksi kecepatan potong dan kedalaman potong terhadap Ra

4. Kesimpulan

1. Semua parameter pemessinan berpengaruh terhadap kekasaran permukaan dengan tingkat konfidensial rata-rata > 95%. Tingkat signifikansi dampak parameter secara berturut-turut adalah kecepatan potong (*cutting speed*), laju pemakanan (*feed Rate*), kekerasan benda kerja dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*)
2. Dampak interaksi antar parameter didominasi oleh interaksi kecepatan potong dan kekerasan benda kerja, laju pemakanan dan kecepatan potong serta kedalaman pemotongan dan kecepatan potong dengan tingkat konfidensial rata-rata > 99%.
3. Kualitas permukaan yang baik dihasilkan oleh CBN pada kombinasi laju pemakanan yang rendah dan kecepatan potong yang tinggi, kecepatan potong dan kekerasan benda kerja yang tinggi, serta pada kombinasi kecepatan tinggi dan kedalaman potong yang rendah. Sedangkan untuk *ceramics*, kualitas permukaan yang baik dihasilkan oleh kombinasi laju pemakanan dan kecepatan potong yang

rendah, kecepatan potong dan kekerasan benda kerja yang rendah, serta kecepatan potong dan kedalaman potong yang rendah.

4. Pada *range* kekerasan 55.4 sampai dengan 59.6 HRC, CBN menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan *Ceramics*. CBN sangat sesuai untuk pemessinan pada kecepatan potong tinggi (120 m/menit) maupun untuk pemessinan dengan kecepatan potong yang rendah (80 m/menit).
5. Pada *range* kekerasan 55.4 sampai dengan 59.6 HRC, interaksi antara kekerasan benda kerja dan laju pemakanan serta kekerasan benda kerja dan kedalaman pemotongan berada pada kondisi tunak (*steady state*). Hal ini ditunjukkan oleh lemahnya laju interaksi (tingkat konfidensial rendah).

Daftar Acuan

1. Daniel P., *Hard Turning and the Machine Tool*, Hardinge Inc., 2003.
2. V. Aaron and O. Tugrul, *Factor Affecting Surface Roughness in Finish Hard Turning*, Department of Industrial and System Engineering Rutgers, The State University of New Jersey, 2003.
3. Ty G. Dawson and Thomas R Kurfess, *Machining Hardened Steel with Ceramic Coated and Uncoated CBN Cutting Tools*, The George W Woodruff School of Mechanical Engineering Georgia Institute Technology, 2003.
4. Y. Kevin Chou, *Hard Turning of M50 Steel with Different Microstructures in Continuous an Intermittent Cutting*, Mechanical Engineering Department, the University Alabama USA, 2000.
5. P. Radu, S. Keith, C. Dana, D. Michael and Loan, *Surface Quality and Tool Wear in Interrupted Hard turning of 1137 Steel Shaft*, Advanced Technology Resource Group Ottawa Lake, 2002.
6. Ty G. Dawson and Thomas R Kurfess, *Tool Life, Wear Rates and Surface Quality in Hard Turning*, The George W Woodruff School of Mechanical Eng. Georgia Institute Tech. , 2002.

7. Tugrul Ozel, Modeling of Hard Part Machining: Effect of Insert Edge Preparation in CBN Cutting Tools, *Journal of Materials Processing Technology* 14, 2003.
8. Tugrul Özel and Yigit Karpaz, *Prediction of Surface Roughness and Tool Wear in Finish Dry Hard Turning Using Back Propagation Neural Networks*, Department of Industrial and Systems Engineering Rutgers, The State University of New Jersey Piscataway, New Jersey, USA., 2003.
9. Ty G. Dawson and Thomas R. Kurfess, *Wear Trends of PCBN Cutting Tools in Hard Turning*, The George W Woodruff School of Mechanical Engineering Georgia Institute Tech, 2002.
10. Guo, Y.B., and Liu, C.R., Mechanical Properties of Hardened AISI 52100 Steel in Hard Machining Processes, *ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 124 pp. (1-9), 2002.

