

OPTIMASI MULTI RESPON MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI - WEIGHTED PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (WPCA) PADA PROSES BUBUT MATERIAL ST 60 DENGAN PENDINGINAN *MINIMUM* *QUANTITY LUBRICATION* (MQL)

M. Abdul Wahid, Dian Ridlo P, Abdul Rohman, Galang Sandy P

Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi

Email: wahied_poliwangi@yahoo.co.id

Naskah diterima: 29 Nopember 2017 ; Naskah disetujui: 22 Desember 2017

ABSTRAK

Proses bubut merupakan proses pemesinan dengan menggunakan mesin bubut, yang menghasilkan komponen-komponen mesin yang berbentuk silindris. Pada Proses Bubut karakteristik kualitas yang kritis adalah kekasaran permukaan dan laju pengerjaan bahan. Karakteristik kualitas tersebut dipengaruhi oleh parameter proses pemesinan seperti kecepatan potong, gerak makan, kedalaman potong dan jenis cairan pendingin. Maka diperlukan suatu optimasi untuk mendapatkan kekasaran permukaan yang minimum dan laju pengerjaan bahan yang maksimum. Proses bubut material ST 60 menjadi objek pada penelitian ini. Kombinasi metode Taguchi dan Weighted Principal Component Analysis (WPCA) digunakan sebagai metode optimasi. Rancangan percobaan yang digunakan adalah matriks ortogonal L_{27} . Setting Parameter proses yang ditentukan adalah kecepatan potong, gerak makan, kedalaman potong dan jenis cairan pendingin. Parameter-parameter tersebut masing-masing memiliki 3 level. Kekasaran permukaan memiliki karakteristik respon yang optimal adalah semakin kecil semakin baik dan laju pengerjaan bahan memiliki karakteristik respon semakin besar semakin baik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini dapat menurunkan kekasaran permukaan serta meningkatkan laju pengerjaan bahan secara signifikan.

Kata Kunci: Kekasaran permukaan, Laju pengerjaan bahan, ST 60, MQL, Cairan pendingin

PENDAHULUAN

Proses pemesinan merupakan salah satu teknologi proses produksi yang sangat penting pada industri manufaktur. Proses produksi yang berlangsung pada industri manufaktur tidak bisa lepas dari proses pemesinan. Proses pemesinan yang paling banyak dijumpai pada industri manufaktur adalah proses bubut dan freis. Proses bubut dan freis merupakan proses pemotongan logam yang luas penggunaannya, dari industri manufaktur skala kecil atau home industri maupun industri manufaktur skala besar.

Proses bubut merupakan proses pemesinan dengan menggunakan mesin bubut, yang menghasilkan komponen-komponen mesin yang berbentuk silindris. Untuk melakukan pemotongan benda kerja, proses bubut memerlukan pahat bermata potong tunggal dengan benda kerja yang berputar pada pencekamnya [1]. Untuk mendapatkan komponen-komponen mesin hasil proses pemesinan yang sesuai dengan spesifikasi, maka pemilihan parameter-parameter pemotongan harus benar-benar diperhatikan. Gerak makan, putaran spindle dan kedalaman potong merupakan parameter-parameter utama pada proses pemesinan khususnya proses bubut dan freis yang bisa diatur langsung pada mesin. Sedangkan parameter lain seperti jenis pahat dan cairan

pendingin merupakan parameter yang tidak bisa diatur langsung pada mesin.

Pemilihan jenis pahat, penggunaan cairan pendingin dan pengaturan parameter-parameter proses pemotongan yang tepat, akan mempengaruhi sifat mampu mesin (*machinability*) dari suatu bahan atau benda kerja. Jika suatu produk hasil dari proses pemesinan memiliki kekasaran permukaan rendah, gaya potong yang digunakan selama proses pemesinan rendah, tingkat keausan pahat rendah, dan laju pengerjaan bahan tinggi maka bahan tersebut dapat dianggap memiliki sifat mampu mesin yang baik.

Cairan pendingin pada proses pemesinan berfungsi untuk menurunkan koefisien gesek antara pahat dengan benda kerja, menurunkan panas yang terjadi akibat adanya gesekan antara pahat dengan benda kerja dan membersihkan geram dari permukaan benda kerja. Cairan pendingin dapat menurunkan panas yang terjadi akibat gesekan antara pahat dengan benda kerja selama proses pemotongan berlangsung. Cairan pendingin konvensional diklasifikasikan menjadi dua, yaitu *oil-based fluid* dan *chemical fluid* [2]. *Oil-based fluid* terdiri dari minyak murni dan *soluble-oil* dengan bahan tambah, sedangkan *chemical fluid* terdiri dari minyak sintetik dan semi sintetik. Penggunaan cairan pendingin konvensional pada industri, menyebabkan terjadinya

banyak masalah kesehatan dan lingkungan [3]. Sejak komposisi cairan pendingin sangat kompleks, komponen tambahan tersebut lebih beracun dan dapat menyebabkan iritasi dari pada bahan dasarnya [4].

Salah satu alternatif metode pemberian cairan pendingin yang dapat digunakan untuk menggantikan metode *flooding* adalah dengan menggunakan *Minimum Quantity Lubrication* (MQL). MQL merupakan metode pemberian cairan pendingin pada proses pemesian dengan meminimalkan jumlah cairan pendingin selama proses pemesian berlangsung. *Flow rate* cairan pendingin pada metode *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) sebesar 50 – 500 ml/jam [5].

Gerak makan adalah parameter proses pemesian yang mempunyai pengaruh paling besar terhadap kekasaran permukaan pada proses bubut AISI H11 dengan kontribusi sebesar 31,8% [6]. Sedangkan kekasaran permukaan juga dipengaruhi oleh gerak makan dan kecepatan potong [7].

Metode *Weighted Principal Component Analysis* (WPCA) digunakan untuk menghilangkan korelasi antar respon dan untuk mengubah respon berkorelasi menjadi indeks respon *uncorrelated* yang disebut dengan komponen utama (*principal components*) [8]. Komponen utama yang berbeda masing-masing memiliki nilai variansi atau komponen utama adalah *independent* satu sama lain, oleh karena itu untuk menghasilkan nilai variansi total maka masing-masing variansi dari komponen utama dianggap atau digunakan sebagai bobot. Komponen-komponen utama diakumulasi lebih dahulu untuk menghitung indeks kinerja multi-respon (*Multi-Response Performance Index/ MPI*). Selanjutnya, suatu nilai dari kerugian kualitas gabungan (*Combined Quality Loss/CQL*) yang didefinisikan sebagai penyimpangan nilai MPI dari nilai ideal yang diinginkan. CQL ini berfungsi sebagai suatu fungsi respon tunggal dengan tujuan untuk mengurangi korelasi antar respon pada proses.

METODOLOGI

Bahan Eksperimen

1. Benda Kerja
Material benda kerja yang digunakan pada penelitian ini adalah material Baja ST60. Material ini memiliki dimensi $\Phi 50 \times 100$ mm.
2. Pahat
Pahat *insert* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Insert carbide. Pahat tersebut mempunyai dua sisi potong, nose radius 2mm.
3. Mesin bubut
Mesin bubut yang digunakan pada penelitian ini adalah bubut yang terdapat di Workshop Pemesian Program Studi Teknik Mesin Politeknik Negeri Banyuwangi. Adapun spesifikasinya adalah sebagai berikut:
 - a. Merk KRISBOW
 - b. Model KW 15/485
 - c. Kecepatan max putaran: 1810 rpm

- d. Max *feeding*: 242 mm/put
4. Peralatan Ukur
 - a. *Surface Roughness Tester*, untuk mengetahui angka kekasaran permukaan benda kerja.
 - b. Peralatan bantu lainnya, yaitu mistar ingsut, meja rata dan *U-block*.

Rancangan Eksperimen

Penentuan variabel proses pada mesin bubut dilakukan dengan merujuk kepada rekomendasi NACHI *cutting tools* untuk pengerjaan baja ST 60. Selain itu penentuan variabel proses juga didasarkan pada penelitian-penelitian sebelumnya.

Variabel-variabel yang digunakan untuk mendapatkan data eksperimen adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas
Variabel bebas dan level-levelnya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel Bebas dan Pengaturan Level-levelnya

Variabel bebas		level 1	level 2	level 3	
A.	Jenis Cairan Pendingin	Soluble oil	Udara + Vegetable Oil	Vegetable Oil	
B.	V_c	m/min	132,671	143,727	172,949
C.	F	mm/min	0,103	0,258	0,332
D.	a	mm	0,125	0,25	0,5

2. Variabel respon
Variabel respon pada penelitian ini adalah:
 - a. Kekasaran permukaan benda kerja (R_a , μm).
 - b. Laju Pengerjaan Bahan (LPM, mm^3/min)
3. Variabel konstan.
Variabel proses bubut yang nilainya konstan dalam penelitian ini adalah volume material yang terpotong. Berdasarkan banyaknya variabel bebas dan jumlah level yang ditunjukkan pada Tabel 1, didapatkan 8 derajat kebebasan untuk rancangan eksperimen ini, sehingga matriks ortogonal yang digunakan adalah $L_{27}(3^4)$. Matriks ortogonal jenis L_{27} memiliki 4 kolom dan 27 baris yang mampu digunakan untuk empat buah variabel bebas yang masing-masing memiliki 3 level. Rancangan eksperimen berdasarkan matriks orthogonal untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Optimasi Multi Respon Menggunakan Metode Taguchi dan WPCA

Pada penelitian ini metode optimasi multirespon yang digunakan adalah metode Taguchi yang dikombinasikan dengan metode WPCA. Langkah – langkah optimasi adalah sebagai berikut:

1. Penentuan S/N Rasio Dari Respon

Karakteristik respon dari MRR adalah larger-is-better dan SR adalah smaller-is-better, S/N rasio untuk masing karakteristik respon dihitung mengikuti persamaan sebagai berikut [9]

Larger is better:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} \right] \tag{1}$$

Smaller is better:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{\sum_{i=1}^n (1/y_i^2)}{n} \right] \tag{2}$$

Tabel 2. Matriks Ortogonal L₂₇

No	Variabel Proses				NO	Variabel Proses				NO	Variabel Proses			
	Vc	F	a	CP		Vc	F	a	CP		Vc	F	a	CP
1	1	1	1	1	10	2	1	1	1	19	3	1	1	1
2	1	1	2	2	11	2	1	2	2	20	3	1	2	2
3	1	1	3	3	12	2	1	3	3	21	3	1	3	3
4	1	2	1	2	13	2	2	1	2	22	3	2	1	2
5	1	2	2	3	14	2	2	2	3	23	3	2	2	3
6	1	2	3	1	15	2	2	3	1	24	3	2	3	1
7	1	3	1	3	16	2	3	1	3	25	3	3	1	3
8	1	3	2	1	17	2	3	2	1	26	3	3	2	1
9	1	3	3	2	18	2	3	3	2	27	3	3	3	2

2. Normalisasi S/N Rasio

Proses normalisasi data respon adalah proses mengubah nilai respon menjadi nilai yang besarnya antara 0 dan 1. Proses normalisasi juga dilakukan berdasarkan karakteristik kualitas respon. Normalisasi S/N rasio untuk masing karakteristik respon dihitung mengikuti persamaan sebagai berikut [10]:

Larger is better:

$$X_i^*(k) = \frac{X_i(k) - \min_{V_k} X_i(k)}{\max_{V_k} X_i(k) - \min_{V_k} X_i(k)} \tag{3}$$

Smaller is better:

$$X_i^*(k) = \frac{\max_{V_k} X_i(k) - X_i(k)}{\max_{V_k} X_i(k) - \min_{V_k} X_i(k)} \tag{4}$$

3. Menghitung Principal Components Analysis (PCA).

Untuk melakukan PCA, terlebih dahulu dihitung nilai principal component dengan menggunakan persamaan berikut [11]:

$$Z_j = \sum_{i=1}^p a_{ji} Y_i \tag{5}$$

$$\sum_{i=1}^p a_{ji}^2 = 1$$

Dengan : $j = 1, \dots, k$
 a adalah *eigen factor*.

4. Menghitung nilai *multi-response performance index (MPI)*

Menghitung nilai *multi-response performance index (MPI)* dengan menggunakan persamaan berikut [11]:

$$MPI = \sum_{j=1}^k W_j Z_j \tag{6}$$

Dengan: W adalah akuntabilitas proporsi yang digunakan sebagai bobot prioritas individual.

5. Menghitung nilai *Combined Quality Loss (CQL)*.

Menghitung nilai *Combined Quality Loss (CQL)* dengan menghitung selisih absolut antara nilai MPI pada kondisi ideal dengan nilai MPI dari data respon.

Tabel 3 Data Hasil Penelitian

NO	Variabel Respon		NO	Variabel Respon		NO	Variabel Respon	
	SR	MRR		SR	MRR		SR	MRR
1	0,911	2454,15	10	1,302	1862,35	19	1,66715	1271,19
2	0,735	4659,36	11	1,3845	36973,4	20	1,77005	23439,5
3	0,7595	9428,48	12	1,34325	5880,03	21	1,46685	3759,07
4	0,93	4742,05	13	1,467	3665,67	22	1,88425	2712,00
5	0,74425	10067,8	14	1,334	4096,37	23	1,484	4295,47
6	0,96275	19632,5	15	1,492	9589,29	24	1,827	8681,60
7	1,0435	6069,32	16	1,5081	30613,6	25	1,5835	3422,39
8	1,07925	12662,4	17	1,53675	60824,0	26	1,91025	6557,34
9	1,24075	27256,2	18	1,56125	12554,4	27	2,3423	13831,0

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil eksperimen ditunjukkan pada Tabel 3. Data respon dari eksperimen dihitung S/N rasionya sesuai dengan jenis karakteristik kualitas masing-masing respon.. S/N rasio dari masing- masing respon dinormalisasi terlebih dahulu sesuai dengan jenis karakteristik kualitas, yaitu semakin kecil semakin baik dengan menggunakan persamaan 4 dan 5. Dalam penelitian ini jumlah baris pada matriks orthogonal (i)

adalah sebanyak $m = 9$, dan banyaknya respon (k) adalah sebanyak $n = 2$ Hasil normalisasi dari dua respon ditunjukkan pada Tabel 4.

Setelah dilakukan normalisasi data respon pada kondisi ideal, selanjutnya dilakukan pemeriksaan adanya korelasi atau tidak antar respon Nilai korelasi antar respon sebesar 0.961. Tabel 5 menunjukkan koefisien korelasi *Pearson* antar respon. Pada semua kasus, nilai

koefisien korelasi non-nol menunjukkan bahwa ada korelasi diantara semua respon. Nilai korelasi sebesar 0.707 menunjukkan adanya korelasi diantara kekasaran permukaan benda kerja dan keausan pahat. Untuk

mengurangi bahkan menghilangkan korelasi antar respon tersebut diterapkan *principal component analysis (PCA)*. Tabel 6 menunjukkan hasil dari PCA.

Tabel 4 Normalisasi S/N Rasio

SN SR	SN LPB	NORMALISASI SN	
		Xi*1	Xi*2
0,809632	67,79805	0,185219	0,170067
2,674253	73,36653	0	0,335809
2,389444	79,48884	0,028291	0,518036
0,630341	73,51934	0,203029	0,340358
2,565623	80,05872	0,010791	0,534998
0,329729	85,85955	0,23289	0,707656
-0,36985	75,6628	0,302381	0,404156
-0,66244	82,05035	0,331445	0,594278
-1,87369	88,70933	0,451762	0,792478
-2,29222	65,40124	0,493337	0,098728
-2,82586	91,35779	0,546345	0,871308
-2,56314	75,3876	0,520248	0,395965
-3,3286	71,28309	0,596284	0,273797
-2,50312	72,248	0,514286	0,302517
-3,47538	79,63573	0,610864	0,522408
-3,5686	89,71829	0,620124	0,822509
-3,73206	95,6815	0,636362	1
-3,86945	81,97594	0,650008	0,592063
-4,43949	62,08426	0,706633	0
-4,95971	87,39898	0,758308	0,753476
-3,32771	71,50162	0,596196	0,280302
-5,50277	68,66582	0,812252	0,195896
-3,42868	72,66023	0,606225	0,314787
-5,23477	78,772	0,785631	0,4967
-3,99236	70,6866	0,662218	0,256043
-5,6218	76,33456	0,824076	0,424151
-7,39285	82,81708	1	0,617099

Tabel 5 Koeffisien Korelasi Pearson

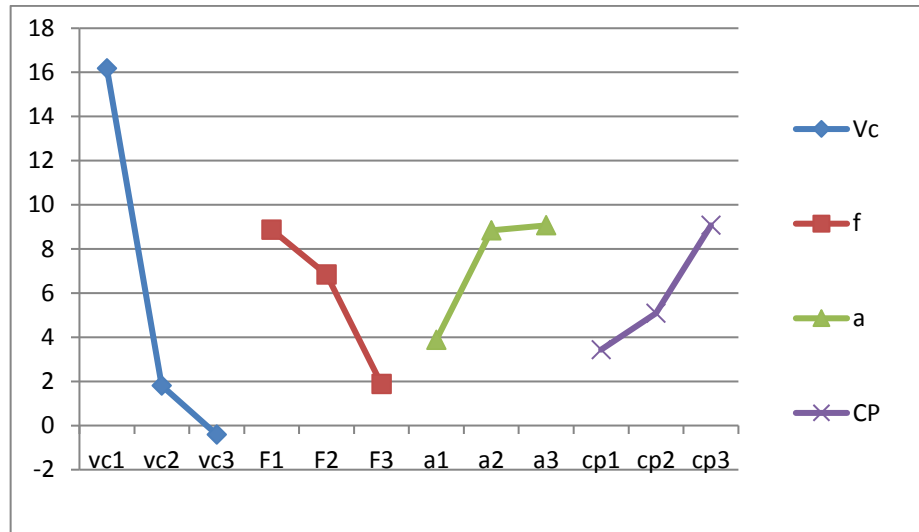
Variabel	Pearson's correlation	
	PC 1	PC 2
Xi*Ra	0.707	0.707
Xi*VB	0.707	-0.707

Tabel 6 Hasil dari PCA

	Y ₁	Y ₂
Eigen value	1,0489	0,951
Eigen vector	0,707	0,707
	0,707	-0,707
AP	0,567	0,433
CAP	0,567	1,000

Selanjutnya, nilai korelasi antar respon dikonversi menjadi indeks kualitas korelasi yang disebut sebagai komponen utama (*principal component*) sesuai dengan menggunakan persamaan 9. Nilai komponen utama ini digunakan untuk menghitung MPI. Dengan menggunakan persamaan 10. Hasil perhitungan untuk MPI ditunjukkan pada Tabel 7.

Sesuai dengan analisis menggunakan minitab, nilai rata-rata dari rasio S/N untuk setiap level faktor ditunjukkan oleh Tabel 8. Plot untuk nilai rasio S/N MPI untuk seting optimal pada masing-masing level dari faktor, yaitu kecepatan potong, kecepatan makan dan kedalaman potong radial ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Plot Rasio S/N MPI pada Masing-masing Level Variabel Proses

Tabel 7 Principal Component dan MPI

NO	PC1	PC2	MPI	NO	PC1	PC2	MPI	NO	PC1	PC2	MPI
1	0,251	0,0107	0,147	10	0,418	0,279	0,358	19	0,499	0,499	0,499
2	0,237	-0,237	0,031	11	1,002	-0,229	0,4689	20	1,069	0,003	0,607
3	0,386	-0,346	0,069	12	0,647	0,087	0,4053	21	0,619	0,223	0,448
4	0,384	-0,097	0,175	13	0,615	0,228	0,447	22	0,712	0,435	0,592
5	0,385	-0,370	0,058	14	0,577	0,149	0,392	23	0,651	0,206	0,458
6	0,665	-0,335	0,231	15	0,801	0,062	0,481	24	0,906	0,204	0,602
7	0,499	-0,071	0,252	16	1,02	-0,143	0,516	25	0,649	0,287	0,492
8	0,654	-0,185	0,290	17	1,157	-0,257	0,544	26	0,882	0,282	0,622
9	0,879	-0,240	0,394	18	0,878	0,040	0,515	27	1,143	0,270	0,765

Tabel 8 Rata-rata Rasio S/N MPI

Faktor	1	2	3
vc	16,17995	1,815029	-0,40805
f	8,875001	6,837862	1,874062
a	3,885647	8,844029	9,068129
Cp	3,437467	5,081329	9,068129
Rata rata			6,213215

Berdasarkan rata-rata nilai rasio S/N MPI dan *plotting* nilai tersebut pada masing-masing level faktor, dapat ditentukan nilai level untuk kombinasi faktor yang

menghasilkan respon yang optimum. Kombinasi faktor tersebut ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9 Kombinasi Faktor untuk Respon Optimum

Variabel proses	Level	Nilai
Vc	1	172,9464 m/menit
F	1	0,103 m/put
a	3	0,5 mm
Cp	3	Vegetable oil

Analisis variansi (ANOVA) digunakan untuk membantu mengidentifikasi kontribusi faktor sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan. Untuk hasil analisis variansi adalah seperti pada Tabel 10.

Tabel 10 Hasil Perhitungan ANOVA

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P	ρ
Vc	2	0,699	0,349	107,92	0,00	75,23%
f	2	0,108	0,054	16,69	0,00	11,63%
a	2	0,014	0,007	2,16	0,14	1,50%
CP	2	0,049	0,024	7,67	0,00	5,34%
e	18	0,058	0,003			6,27%
Total	26	0,930				

Pada Tabel 10, menunjukkan bahwa nilai P-value untuk variabel proses jenis cairan pendingin, kecepatan potong, gerak makan dan kedalaman potong mempunyai nilai lebih besar α ($\alpha=0,5$), sehingga variabel proses berpengaruh secara signifikan terhadap multi respon.

KESIMPULAN

- Kontribusi variabel-variabel proses bubut dalam mengurangi total variansi dari respon kekasaran permukaan adalah kecepatan potong 75,23%, gerak makan 11,63%, kedalaman potong 1,50%, dan jenis cairan pendingin 5,34%.
- Pengaturan kombinasi variabel-variabel proses bubut yang secara signifikan dapat meminimalkan kekasaran permukaan adalah kecepatan potong 172,95 m/menit, gerak makan 0,103 mm/put, kecepatan makan 0,5 mm, dan cairan pendingin vegetable oil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jendral Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah memberi dukungan financial terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rochim, T. 1993. *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*, Bandung, Institut Teknologi Bandung.
- [2] Yue, Y. Zheng, Y. Basu, S. dan Sutherland, W.J. 1998. "Cutting Fluids: Performance Measure and Health-Related Characteristics," Otsu Jepang.
- [3] Yildiz, Y. dan Nalbant, M. 2008. "A Review of Cryogenic Cooling in Machining Processes," *International Journal of Machine Tools & Tools Manufacture*, Vol. 48, Hal.947-964.
- [4] Bienkowski, K. 1993. "Coolant & Lubricant The Truth," *Manufacturing Engineering*, Pp. 90-96.
- [5] Shahrom, S.M., Yahya, M.N. dan Yusoff, R.A. 2012. "Taguchi Method Approach on Effect of Lubrication Condition on Surface Roughness in Milling Operation," *Malaysian Technical Universities Conference on Engineering & Technology, MUCET Part 2 Mechanical And Manufacturing Engineering* Vol. 594-599.
- [6] Aouici Hamdi, M. A. Yallese, K. C., T. Mabrouki, J. F. Rigal. 2012. "Analysis of surface roughness and cutting force components in hard turning with CBN tool: Prediction model and cutting conditions optimization" *Measurement* 45, pp 344-353, Elsevier.
- [7] Hessainia Z. , A. Belbah , M. A. Yallese , T. Mabrouki, J. F. Rigal (2013)"On the prediction of surface roughness in the hard turning based on cutting parameters and tool vibrations" *Measurement* 46, pp 1671-1681, Elsevier.
- [8] Datta, S., Mahapatra, S.S. 2011. Bead Geometry Optimization of Submerged Arc Weld : Exploration of Weighted Principal Component Analysis (WPCA). 2nd International Conference on Mechanical, Industrial and Manufacturing Technologies (MIMT), Singapore.
- [9] Yilmaz. O., Eyercioglu. O., and Nabil. N.Z. 2006. A user-friendly fuzzy-based system for the selection of electro discharge machining process parameters. *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 172. pp. 363-371.
- [10] Lin, J. L. dan Lin, C. L. 2002. The Use of Orthogonal Array with Grey Relational Analysis to Optimize the Electrical Discharge Machining Process Performance with Multiple Characteristics, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 42, hal. 237-244.
- [11] Choudhury, B.S., Datta, S., Sen, R.S. 2010. Parametric Optimization of Electroless Ni-P Coating Using Weighted Principal Component Analysis (WPCA) and Taguchi Method. *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 5, No. 4.