

Optimasi Parameter Pemesinan untuk Kekasaran Permukaan dan Umur Pahat pada Proses Bubut dengan Menggunakan Metode Grey-Fuzzy pada Material SKD 11

ARUM SOESANTI^{1,a}, BOBBY O.P. SOEPANGKAT^{2,b}, BAMBANG PRAMUJATI^{3,b}

^a *Teknik Manufaktur, Universitas Surabaya*

Jl. Raya Kalirungkut, Surabaya 60293, Jawa Timur, Indonesia.

^b *Laboratorium Proses Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin,*

Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Kampus ITS Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111, Jawa Timur, Indonesia

¹ *arum_soesanti@ubaya.ac.id,* ² *bops_1994@me.its.ac.id,* ³ *pramujati@me.its.ac.id*

Abstrak

Pada proses pemesinan, penentuan *setting* parameter proses yang tepat untuk mencapai respon yang optimum sangat penting dilakukan secara efektif. Hal ini bertujuan untuk mengurangi proses coba-coba sehingga waktu dan biaya proses pemesinan dapat diminimalkan. Material baja SKD 11 merupakan salah satu jenis baja perkakas, yaitu material baja yang biasa digunakan sebagai pahat atau alat potong dalam proses permesinan (*cutting tools*), *punch* dan *dies*. Karena fungsinya tersebut maka komponen pemesinan yang dihasilkan dari SKD 11 diharapkan memiliki kepresisian dan tingkat kekasaran permukaan yang baik. Selain umur pahat, kekasaran permukaan merupakan salah satu karakteristik kinerja pemesinan pada proses bubut yang umumnya dijadikan respon karena berkaitan dengan sifat mampu mesin dari material. Teori dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menyatakan bahwa pada proses bubut material SKD 11 kecepatan potong, gerak makan dan kedalaman potong mempunyai korelasi yang kuat dengan parameter-parameter proses pemesinan. Selain itu, geometri pahat seperti radius pojok pahat juga mempengaruhi hasil proses pemotongan, terutama pada kekasaran permukaan. Penelitian ini akan mengoptimasi dari kekasaran permukaan dan umur pahat secara serentak dengan menggunakan kombinasi parameter pemesinan kecepatan potong, gerak makan, kedalaman potong dan radius pojok. Metode yang digunakan adalah metode Taguchi dan metode *grey-fuzzy* yang merupakan perpaduan metode *Grey Relational Analysis* (GRA) dan logika *fuzzy*. Penggunaan logika *fuzzy* untuk mengatasi ketidakjelasan dalam memberikan pembobotan sesuai karakteristik respon dalam GRA. Rancangan percobaan menggunakan matriks ortogonal L₉ untuk memvariasikan 4 buah parameter yang masing-masing memiliki tiga level. Faktor gangguan yang tidak dimasukkan ke dalam rancangan percobaan mengakibatkan eksperimen harus dilakukan dengan replikasi sebanyak tiga kali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi faktor atau parameter proses pada proses bubut SKD 11 yang dapat menghasilkan nilai respon paling optimal adalah kecepatan potong pada level 144 m/menit, kedalaman potong pada level 0,50 mm, gerak makan pada level 0,15 mm/putaran dan radius pojok pahat pada level 0,4 mm.

Kata Kunci : *bubut, optimasi, Taguchi-fuzzy.*

1. PENDAHULUAN

Penentuan kombinasi parameter-parameter untuk produk-produk pemesinan yang memiliki beberapa performansi karakteristik cukup sulit dilakukan karena kompleksitas yang dimiliki dan harus mengandalkan sejumlah besar rangkaian percobaan. Pada proses pemesinan, penentuan *setting* parameter proses yang tepat untuk mencapai respon yang optimum sangat penting dilakukan secara efektif. Hal ini bertujuan untuk mengurangi proses coba-coba sehingga waktu dan biaya proses pemesinan dapat diminimalkan.

Salah satu proses pemesinan yang paling sering digunakan di industri manufaktur adalah proses bubut (*turning*). Salah satu kualitas produk yang sangat diperhatikan dalam proses bubut adalah

kekasaran permukaan. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya penelitian tentang kekasaran permukaan pada proses pemotongan logam dengan berbagai eksperimen. Nilai kekasaran permukaan pada proses bubut material AISI D2, atau yang juga dikenal sebagai SKD 11, akan mengalami peningkatan seiring dengan kenaikan gerak makan dan penurunan kecepatan potong[1].

Kualitas kekasaran permukaan memang harus diperhatikan dalam pembuatan produk, namun tidak kalah pentingnya adalah biaya pembuatan produk. Dalam proses pemesinan, biaya pembuatan produk banyak dipengaruhi oleh penggunaan pahat dalam proses produksi. Semakin pendek umur pahat, menyebabkan semakin cepat pula pahat harus diganti, sehingga biaya yang dikeluarkan menjadi semakin besar.

Dalam penelitian, umur pahat didefinisikan sebagai periode waktu dimana rata-rata keausan tepinya mencapai 0,3 mm atau maksimum keausan tepi yang terjadi adalah 0,6 mm. Untuk mencapai periode waktu tersebut dibutuhkan waktu pemotongan yang cukup lama dan jumlah material yang cukup banyak. Oleh karena itu, panjang keausan tepi pahat digunakan sebagai respon tujuan untuk pemodelan proses maupun mengetahui sifat mampu mesin dari material yang diteliti (*machinability*) [2-3].

Penggunaan proses pemesinan cukup besar di bidang industri teknik. Oleh karena itu, perkembangan penelitian proses pemesinan bukan hanya mengenai pengaruh parameter proses terhadap respon, melainkan juga bertujuan mendapatkan peningkatan secara signifikan dalam efisiensi proses. Hal ini dilakukan dengan melakukan optimasi pada proses pemesinan, yaitu mendapatkan kombinasi parameter pemotongan untuk menghasilkan respon yang optimal. Salah satu metode yang digunakan untuk optimasi tersebut adalah metode Taguchi, namun metode ini hanya digunakan untuk optimasi kinerja satu respon. Beberapa penelitian telah mengembangkan metode optimasi untuk beberapa respon secara serentak [4-6].

Sistem teori Grey yang dikembangkan oleh Deng [7] tahun 1982 telah terbukti dapat berguna untuk hubungan yang tidak jelas, tidak pasti dan tidak lengkap informasi. *Grey relational analysis* yang didapat berdasarkan teori grey digunakan untuk menyelesaikan rumitnya hubungan beberapa respon secara efektif.

Teori logika fuzzy diperkenalkan oleh Zadech pada tahun 1965 [8] telah terbukti berguna untuk mengatasi informasi yang tidak menentu ataupun tidak jelas. Pada dasarnya karakteristik kualitas seperti semakin kecil semakin baik, semakin besar semakin baik, dan tertuju nilai tertentu memiliki ketidakpastian dan ketidakjelasan.

Berdasarkan hal-hal yang telah dipaparkan, perlu dilakukan penelitian tentang penentuan *setting* parameter-parameter pemesinan pada proses bubut untuk menghasilkan kekasaran permukaan dan umur pahat yang optimal. Metode optimasi yang digunakan adalah metode Taguchi – grey - fuzzy dengan mempertimbangkan bahwa metode ini memberikan hasil yang baik dalam penelitian-penelitian sebelumnya.

2. METODE PENELITIAN

Material yang diteliti adalah baja SKD 11 dimana kekerasan yang dimiliki antara 54 – 62 HRC. Material yang digunakan berdiameter 50 mm dengan

panjang pemotongan sepanjang 100 mm. Proses pemotongan yang digunakan adalah proses pemotongan ortogonal dengan menggunakan 3 jenis pahat, yaitu CNMG120404, CNMG 120408, and CNMG 120412. Pahat-pahat tersebut dicekam dengan menggunakan holder jenis PCLNR 2020 K12 yang memiliki panjang 100 mm.

Proses bubut dilakukan tanpa menggunakan cairan pendingin (*dry cutting*) dengan menggunakan mesin bubut Ann Yang model DY-410X000G, dimana kecepatan maksimumnya dapat mencapai 3000 rpm dan daya maksimumnya 15 kW. Kecepatan potong, kedalaman potong dan gerak makan dipilih sebagai parameter proses pemotongan yang diteliti. Selain itu, radius pojok pahat yang merupakan geometri pahat juga digunakan sebagai parameter proses dalam penelitian ini.

Metode yang digunakan dalam penelitian pada proses pembubutan ini menggunakan metode Taguchi, dimana rancangan eksperimen dilakukan dengan pemilihan matriks ortogonal yang tergantung dari banyaknya parameter pemesinan dan level dari masing-masing parameter tersebut. Tabel 1 menunjukkan parameter pemesinan dan besarnya nilai pada level-level yang digunakan.

Tabel 1. Parameter Pemesinan

Parameter Pemesinan	<i>Level</i>	<i>Level</i>	<i>Level</i>
	1	2	3
Kec. potong (V, m/menit)	144	196	314
Kedalaman pot. (a, mm)	0,5	0,75	1,0
Gerak makan (f, mm/put)	0,05	0,10	0,15
Rad. pojok pahat (R, mm)	0,4	0,8	1,2

Matriks ortogonal yang akan digunakan harus memiliki derajat kebebasan yang sama atau lebih besar daripada total derajat kebebasan faktor dan level yang telah ditetapkan. Berdasarkan hal tersebut, didapatkan bahwa matriks ortogonal yang digunakan dalam penelitian ini adalah L₉. Tabel 2 menunjukkan rancangan eksperimen yang dibuat berdasarkan matriks ortogonal L₉.

Tabel 2. Rancangan Eksperimen

No	Parameter Pemesinan			
	V	a	f	R
1	144	0,5	0,05	0,4
2	144	0,75	0,10	0,8
3	144	1,0	0,15	1,2
4	196	0,5	0,10	1,2
5	196	0,75	0,15	0,4
6	196	1,0	0,05	0,8
7	314	0,5	0,15	0,8

8	314	0,75	0,05	1,2
9	314	1,0	0,10	0,4

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 3 menunjukkan hasil eksperimen dan rasio S/N untuk kekasaran permukaan dan umur pahat. Rasio S/N (*Signal to Noise Ratio*) digunakan untuk memilih nilai level faktor untuk mendapatkan respon yang optimal. Selain itu, rasio S/N juga digunakan untuk meminimalkan pengaruh faktor-faktor gangguan terhadap respon. Perhitungan nilai rasio S/N tergantung dari jenis karakteristik kualitas dari respon. Respon kekasaran permukaan memiliki karakteristik kualitas semakin kecil semakin baik, sedangkan umur pahat memiliki karakteristik kualitas semakin besar semakin baik. Rasio S/N berdasarkan karakter kualitas semakin kecil semakin baik dihitung dengan persamaan 1 sedangkan untuk semakin besar semakin baik menggunakan persamaan 2.

Rasio S/N semakin kecil semakin baik :

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

Rasio S/N semakin besar semakin baik :

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

Tabel 3. Hasil Eksperimen dan Rasion S/N

No	Kekasaran Permukaan		Umur pahat	
	[μm]	S/N	[min]	S/N
1	2,477	-7,897	32,27	65,738
2	2,436	-7,735	25,73	63,773
3	2,328	-7,341	29,98	65,101
4	2,638	-8,466	25,22	63,597
5	1,355	-2,647	25,53	63,705
6	2,522	-8,059	27,57	64,371
7	0,924	0,566	8,88	54,535
8	4,319	-12,708	8,5	54,151
9	1,004	-0,049	4,58	48,787

Semakin besar rasio S/N yang didapatkan menunjukkan bahwa semakin baik respon yang dihasilkan. Hasil rasio S/N yang didapatkan dari tabel 3 dinormalisasi dengan persamaan-persamaan sebagai berikut[9]:

$$X_i^*(k) = \frac{\max X_i(k) - X_i(k)}{\max X_i(k) - \min X_i(k)}, \quad (3)$$

untuk kekasaran permukaan dimana memiliki karakteristik kualitas semakin kecil semakin baik. Untuk umur pahat yang memiliki karakteristik kualitas semakin besar semakin baik, normalisasi dihasilkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$X_i^*(k) = \frac{X_i(k) - \min X_i(k)}{\max X_i(k) - \min X_i(k)}, \quad (4)$$

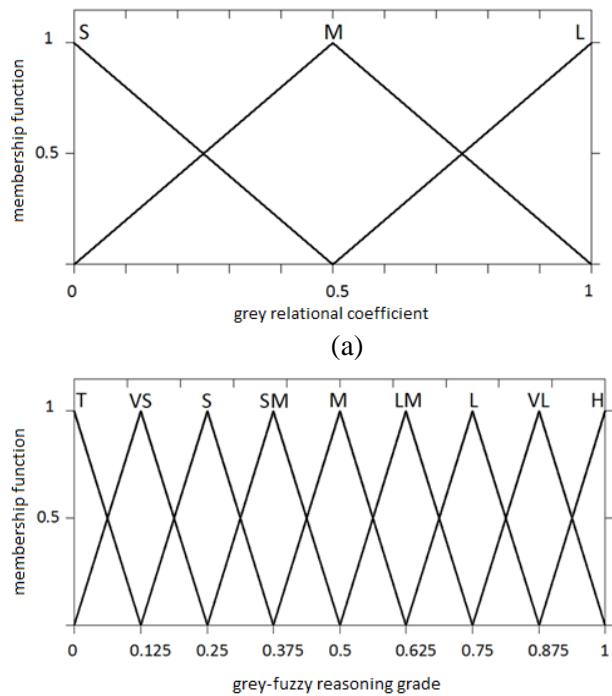
dimana $X_i^*(k)$ is the nilai setelah normalisasi, $\min X_i(k)$ adalah nilai terkecil dari $X_i(k)$ untuk respon sejumlah k , dan $\max X_i(k)$ adalah nilai terbesar dari $X_i(k)$ untuk respon sejumlah k . Semua $X_i^*(k)$ akan diubah menjadi $\xi_i(k)$ atau yang lebih dikenal dengan *grey relational coefficient* (GRC). Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \zeta \Delta_{\max}}, \quad (5)$$

dimana $\Delta_{0i} = \|x_0(k) - x_i(k)\|$ adalah selisih secara absolut antara $x_0(k)$ and $x_i(k)$; ζ adalah koefisien *distinguishing*;

$\Delta_{\min} = \forall j^{\min} \in i \forall k^{\min} \|x_0(k) - x_j(k)\|$ adalah nilai terkecil dari Δ_{0i} ; dan

$\Delta_{\max} = \forall j^{\max} \in i \forall k^{\max} \|x_0(k) - x_j(k)\|$ adalah nilai terbesar dari Δ_{0i} .



Gambar 1. Fungsi keanggotaan (a) untuk kekasaran permukaan dan umur pahar, dan (b) untuk

GFRG.

Nilai GRC dari masing-masing respon diubah menjadi sebuah nilai output yang mewakili keseluruhan respon secara serentak. Nilai tersebut disebut sebagai *grey fuzzy reasoning grade* (GFRG). Proses pengubahan tersebut menggunakan logika fuzzy, dimana terdapat fungsi keanggotaan, aturan fuzzy (fuzzy rule) dan proses defuzifikasi.

Pada penelitian ini, secara uniform fungsi keanggotaan untuk kekasaran permukaan dan umur pahat (Gambar 1a) didefinisikan menjadi 3 *fuzzy subsets*, yaitu *small* (S), *middle* (M) dan *large* (L). Sedangkan untuk GFRG (Gambar 1b), fungsi keanggotaan didefinisikan menjadi 5 *fuzzy subsets*, yaitu *very small* (VS), *small* (S), *middle* (M), *large* (L), *very large* (VL).

Pembuatan *fuzzy rule* dilakukan dengan cara mengelompokkan fungsi tertentu dari *input* dengan output menggunakan bentuk batasan aturan *if-then* (jika-maka). Tabel 4 menunjukkan aturan fuzzy untuk penelitian ini.

Tabel 4. Aturan Fuzzy

		Kekasaran Permukaan		
		S	M	L
Umur Pahat	S	VS	S	M
	M	S	M	L
	L	M	L	VL

Pengelompokan tersebut yang mengungkapkan hubungan GRC sebagai variabel input dan GFRG sebagai variabel output. Tabel 5 menunjukkan nilai GRC dan GFRG sedangkan Tabel 6 menunjukkan rata-rata nilai GFRG untuk masing-masing level dari parameter proses pemotongan.

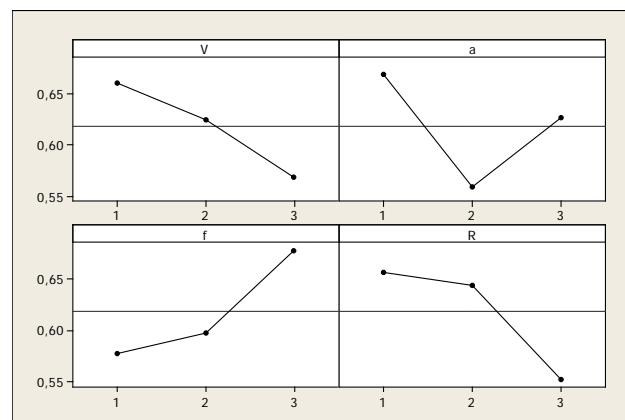
Tabel 5. Nilai GRC and GFRG

No	GRC		GFRG
	Surface Roughness	Tool Life	
1	0,44	1	0,7109
2	0,444	0,812	0,6076
3	0,456	0,93	0,6639
4	0,424	0,798	0,5898
5	0,674	0,807	0,665
6	0,435	0,861	0,6195
7	1	0,431	0,7059
8	0,333	0,422	0,404
9	0,915	0,333	0,5964

Tabel 6. Rata-rata Nilai GFRG

	level 1	level 2	level 3
Kec. potong (V)	0,6608	0,6248	0,5688
Kedalaman pot. (a)	0,6689	0,5589	0,6266
Gerak makan (f)	0,5781	0,5979	0,6783
Rad.pojok pahat (R)	0,6574	0,6443	0,5526
Rata-rata			0,6181

Plot untuk nilai *GFRG* pada masing-masing level dari parameter proses, yaitu kecepatan potong, gerak makan, kedalaman potong dan radius pojok ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Plotting Rata-Rata Nilai *GFRG* pada Masing-Masing Level Parameter Proses

Berdasarkan rata-rata nilai GFRG dan *plotting* nilai tersebut pada masing-masing level parameter proses, dapat ditentukan nilai level untuk kombinasi faktor yang menghasilkan respon yang optimum, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Kombinasi Faktor untuk Respon Optimum

Parameter	Tingkatan Level	Nilai Level
Kecepatan Potong	Level 1	144 m/min
Kedalaman Potong	Level 1	0,5 mm
Gerak makan	Level 3	0,15 mm/put
Radius Pojok	Level 1	0,4 mm

Analisis variansi (ANOVA) digunakan untuk mengetahui faktor proses yang memiliki pengaruh secara signifikan terhadap respon dan besarnya kontribusi faktor terhadap respon. Pada penelitian ini, analisis variansi dilakukan pada GFRG yang merupakan respon yang mewakili keseluruhan respon.

Hasil ANAVA yang ditunjukkan pada Tabel 8 memperlihatkan bahwa terjadi perbedaan yang sangat kecil antara variansi dari kecepatan potong, kedalaman potong, gerak makan, dan radius pojok. Oleh karena itu, dapat dinyatakan bahwa tidak ada sebuah faktor yang dapat digabungkan sebagai faktor yang tidak berpengaruh[10]. Sehingga ANAVA dapat digunakan secara langsung untuk mengetahui kontribusi masing-masing parameter proses pada respon tunggal GFRG . Untuk menentukan besarnya kontribusi dilakukan dengan membagi secara langsung SS masing-masing faktor dengan SS secara keseluruhan.

Tabel 8. ANAVA dan Kontribusi Faktor pada GFRG

	DF	SS	MS	F	Kontribusi
V	2	0,013	0,006	*	19,02 %
a	2	0,018	0,009	*	27,23 %
f	2	0,017	0,008	*	24,87 %
R	2	0,019	0,009	*	28,87 %
Error	0	*	*		
Total	8	0,067			

Dari ANAVA pada Tabel 4.10 dapat dinyatakan bahwa parameter proses yang memiliki kontribusi terbesar pada nilai GFRG adalah radius pojok (R), yaitu sebesar 28,87%. Kontribusi terbesar kedua pada nilai GFRG diberikan oleh kedalaman potong sebesar 27,23%, diikuti oleh gerak makan dengan kontribusi sebesar 24,87% dan kecepatan potong dengan kontribusi sebesar 19,02 %.

Prediksi dari nilai GFRG optimal dapat dilakukan berdasarkan nilai rata-rata GFRG masing-masing level faktor dari kombinasi faktor yang telah dioptimalisasi. Perhitungan rata-rata nilai GFRG prediksi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\hat{y} = \bar{y}_m + \sum_{i=1}^o (\bar{y}_i - \bar{y}_m), \quad (6)$$

dimana \bar{y}_m adalah rata-rata dari nilai GFRG, \bar{y}_i adalah rata-rata GFRG pada masing-masing level yang optimal, and i adalah urutan parameter proses yang memiliki pengaruh signifikan pada GFRG. Berdasarkan persamaan 6, nilai prediksi GFRG pada proses bubut SKD 11 pada kondisi optimal dapat ditentukan. Tabel 7 menunjukkan hasil pengujian konfirmasi menggunakan parameter proses pada kondisi optimal.

Sesuai dengan hasil yang ditunjukkan pada tabel 7 didapatkan bahwa kekasaran permukaan mengalami penurunan dari $1,597 \mu\text{m}$ menjadi $1,028 \mu\text{m}$ dan umur pahat mengalami kenaikan dari 4,62 menit

menjadi 14,8 menit. Peningkatan hasil proses juga ditunjukkan dengan meningkatnya nilai GFRG pada saat pengujian konfirmasi dibandingkan dengan kondisi awal.

Tabel 7. Hasil dan Pengujian Konfirmasi

	Kondisi awal	Kondisi Optimal	
		Prediksi	Pengujian Konfirmasi
Level parameter proses	$V_2 a_2 f_2 R_2$	$V_1 a_1 f_3 R_1$	
Kekasaran Permukaan	1,597		1,028
Umur Pahat	4,62		14,8
GFRG	0,5520	0,8011	0,8241

4. KESIMPULAN

Metode Taguchi biasa digunakan untuk optimasi pada satu respon saja. Untuk mendapatkan optimasi proses dapat menggunakan metode Taguchi namun harus digabungkan dengan metode lain. Pada penelitian ini digunakan *grey relational analysis* yang didasarkan pada matriks ortogonal dari metode Taguchi. Selain itu digunakan logika fuzzy untuk mengatasi ketidakjelasan hubungan antar respon, sehingga didapatkan satu buah respon yang dapat dioptimalkan dengan menggunakan metode taguchi. Kelebihan lain dari metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dapat diakomodasinya karakteristik kualitas respon yang berbeda.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi faktor atau parameter proses pada proses bubut SKD 11 yang dapat menghasilkan nilai respon paling optimal adalah kecepatan potong pada level 144 m/menit, kedalaman potong pada level 0,50 mm, gerak makan pada level 0,15 mm/putaran dan radius pojok pahat pada level 0,4 mm.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lima, J.G. R.F. A' vila, A.M. Abra~o,M. Faustino, J.P. Davim, 2005,"Hard turning: AISI 4340 High Strength Low Alloy Steel and AISI D2 Cold Work Tool Steel," *Journal Material Processing Technology*, Vol 169, pp 388–395
- [2] Gaitonde. V.N., Karnik S.R., Figueira Luis, Davim J. Paulo, 2009, "Machinability Investigations in Hard Turning of AISI D2 Cold Work Tool Steel with Conventional and Wiper Ceramic Inserts," *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, Vol 27, Pp 754–763.
- [3] Aslan Ersan, Necip C., Burak B., 2007, "Design of Optimization of Cutting Parameters when Turning Hardened AISI 4140 Steel (63 HRC) with Al₂O₃ + TiCN Mixed Ceramic Tool," *Journal Materials and*

Design, Vol 28, Pp 1618–1622.

- [4] E.A. Elsayed, A. Chen, Optimal levels of process parameters for products with multiple characteristics, *Int. J. Prod. Res.* 31 (1993) 1117–1132.
- [5] J.L. Lin, K.S. Wang, B.H. Yan, Y.S. Tarn, Optimization of the electrical discharge machining process based on the Taguchi method with fuzzy logics, *J. Mater. Process. Technol.* 102 (2000) 48–55.
- [6] J. Antony, Simultaneous optimisation of the multiple quality characteristics in manufacturing processes using Taguchi's quality loss function, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 17 (2001) 134–138.
- [7] J. Deng, Introduction to grey system, *J. Grey Syst.* 1 (1989) 1–24.
- [8] L. Zadeh, Fuzzy sets, *Inform. Control* 8 (1965) 338–353.
- [9] J.L. Lin, C.L. Lin, The use of grey-fuzzy logic for the optimization of the manufacturing process, *J. Mater. Process. Technol.* 160 (2005) 9 -14.
- [10] S.H. Hsiang, Y.W. Lin, Optimization of the extrusion process for magnesium alloy sheets using the fuzzy-based Taguchi method, *The Arabian J. for Sci. and Eng.* 34 (2009) 175-184.