

Optimasi Parameter Pemesinan dengan Proses Bubut pada Respon Kekasaran dan Kekerasan Permukaan Material S45-C Menggunakan Metode Taguchi - Grey - Fuzzy

Firman Yasa Utama, S.Pd.,M.T.^{1*}, Tri Hartutuk Ningsih S.T.,M.T.^{2*}

¹Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya Indonesia

²Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya Indonesia

ABSTRAK

Turning is a widely used machining process in which a single-point cutting tool removes material from the surface of a rotating cylindrical work piece..Process efficiency increase significantly can be obtained by optimizing the process parameters, namely spindle rotation (n), feed rate (f) and depth of cut (a). In this research will optimize the surface roughness and hardness simultaneously using a combination of turning process parameters. The research was conducted on the material S45-C.

Taguchi method is used, which is a combination of fuzzy logic and Taguchi method. Matlab software that has Matlab fuzzy toolbox aided fuzzy logic process. Design experiment using orthogonal array L₉ (3³) varying the three parameters which each parameters has three levels. Experiment design of L₉ orthogonal array varied factor or cutting parameters such as spindle rotation (n), feed rate (f) and depth of cut (a). Since noise factors are excluded from the experimental design, the experiments were conducted with replication. Optimization was done by using grey-fuzzy Taguchi method. The results of the optimization process is a combination of parameters that result in an optimal response. Based on a combination of these parameters will be carried out confirmation test. Confirmation test was done to match the prediction results with the actual response.The results showed a combination of turning process parameters of S45-C that can generate the optimal response is spindle rotation (n)605 Rpm, feed rate (f) of 0,031 mm/minand depth of cut (a) of0,125 mm.

Keyword: *turning*, Taguchi, Taguchi-grey-fuzzy, optimization



Firman Yasa Utama, S.Pd, MT, telah mengabdikan di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya sejak 2006. Penulis lulus S1 tahun 2005 sebagai Sarjana Pendidikan Teknik Mesin Produksi. Lalu mendapat rekomendasi untuk melanjutkan Pendidikan S2 Program Studi Sistem Manufaktur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember tahun 2009 dan lulus pada 2012. Penulis sekarang aktif sebagai dosen dan peneliti, riset yang dilakukan antara lain tentang material, *fiberhybrid*, pemesinan CNC, dan lain-lain.



Tri Hartutuk Ningsih, S.T.,M.T. lulus S-1 pada tahun 2007 dari jurusan Teknik Material &Metalurgi Fakultas Teknologi Industri-Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya. Pada tahun 2008 mulai mengajar di jurusan Teknik MesinFakultas Teknik di Universitas Sunan Giri Surabaya. Tahun 2010 penulis mendapatkan rekomendasi untuk melanjutkan S2. Dengan kerja keras dan doa penulis menyelesaikan program Magister Teknik Jurusan Teknik Mesin bidang studi Sistem Manufaktur pada tahun 2012. Sampai sekarang aktif mengajar di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.

*Corresponding author.

E-mail address: tri_me10its@yahoo.com

Peer reviewed under reponsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2017 Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, All right reserved, This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Pendahuluan

Pada saat ini, telah terjadi tuntutan yang semakin tinggi terhadap kualitas hasil proses pemotongan logam di Indonesia. Hal ini terkait dengan meningkatnya daya saing dan permintaan akan produk yang berkualitas di pasar. Untuk menghasilkan produk yang berkualitas, industri manufaktur harus mengendalikan proses manufakturnya. Oleh karena itu, industri manufaktur melakukan proses perbaikan yang berkesinambungan terhadap pengendalian kualitas dari proses-proses pemotongan logam. Peningkatan efisiensi proses yang signifikan dapat diperoleh dengan mengoptimalkan parameter proses yang teridentifikasi. Secara umum parameter-parameter pada proses pemotongan logam adalah putaran spindle (n), gerak makan (f) dan kedalaman potong (a).

Penentuan kombinasi parameter yang tepat 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.



Gambar 1. Mesin bubut KNUTH TURNADO 230/1000

Karakteristik Respon Optimal

Masing-masing variabel respon yang meliputi kekasaran permukaan (μm) dan kekerasan permukaan (μm) memiliki karakteristik respon optimal. Karakteristik respon optimal yang digunakan untuk respon kekasaran permukaan adalah semakin kecil semakin baik (*smaller is better*) dan untuk respon kekerasan permukaan adalah semakin kecil semakin baik (*smaller is better*). Ini berarti bahwa nilai kekasaran permukaan dan kekerasan permukaan yang minimum adalah yang paling diinginkan.

Rancangan Percobaan

Pemilihan Matriks Ortogonal

Matriks ortogonal yang akan digunakan harus memiliki derajat kebebasan yang sama atau lebih besar daripada total derajat kebebasan faktor dan level yang telah ditetapkan. Tabel 1 menunjukkan jenis variabel bebas, jumlah level dan nilai dari variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 1. Variabel Bebas Penelitian

Variabel Bebas	Level 1	Level 2	Level 3
Putaran spindle (n , m/Rpm)	910	605	400
Feeding (f , mm/min)	0,049	0,038	0,031
Kedalaman potong (a , mm)	0,5	0,25	0,125

Metode yang akan digunakan adalah metode Taguchi, diawali dengan pemilihan matriks ortogonal yang tergantung dari banyaknya variabel kontrol dan level dari masing-masing variabel tersebut. Matriks ortogonal pada Tabel 2 ditentukan dengan menggunakan perhitungan derajat kebebasannya.

Tabel 2. Total Derajat Kebebasan Variabel Bebas dan Levelnya

No	Variabel Bebas	Jumlah Level (k)	$v_n (k-1)$
1	Putaran spindle (n , m/Rpm)	3	2
2	Feeding (f , mm/min)	3	2
3	Kedalaman potong (a , mm)	3	2
Total derajat kebebasan			6

Pada penelitian ini menggunakan matriks ortogonal jenis L_9 memiliki 3 kolom dan 9 baris dimana mampu digunakan untuk tiga buah 3 level variabel kontrol. Jadi masing-masing parameter pemesinan menempati 3 kolom tersebut. Rancangan percobaan matriks ortogonal L_9 ditunjukkan oleh Tabel 3. sebagai berikut:

Tabel 3. Rancangan percobaan Taguchi untuk L_9

No. Eksperimen	Parameter Pemesinan		
	n	f	a
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Metode Penelitian

Percobaan yang akan dilakukan untuk mendapatkan kekasaran permukaan dan kekerasan permukaan mengikutit langkah-langkah percobaan sebagai berikut:
Pengukuran dan Pengambilan Data

1. Kekasaran permukaan diukur menggunakan *surfaceroughness tester*.
2. Kekerasan permukaan diukur dengan menggunakan Rockwell *Hardness Tester B* (HRB).

Hasil dan Pembahasan

Kombinasi dari faktor-faktor yang merupakan parameter pemesinan pada proses bubut digunakan untuk melaksanakan eksperimen. Faktor-faktor tersebut adalah putaran spindel (n), feeding (f) dan kedalaman potong (a). Respon yang didapatkan sebagai data eksperimen pada penelitian ini adalah kekasaran permukaan (Ra) dan kekerasan (HRB).

Tabel4.Data HasilPengujian

n	f	a	Kekasaran permukaan (µm)			Kekerasan (HRB)		
			Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 1	Rep 2	Rep 3
1	1	1	2,300	2,410	2,430	108,9	108,8	108
2	1	2	1,630	1,710	1,580	108,4	108,5	108,2
3	1	3	1,380	1,350	1,320	107,0	107,1	107,1
4	2	1	2,410	2,460	2,220	104,9	104,5	105,6
5	2	2	1,620	1,640	1,800	105,6	106,3	103,5
6	2	3	1,200	1,110	1,180	107,8	107,3	107,0
7	3	1	3,610	3,570	3,550	103,5	106,3	104,1
8	3	2	1,410	1,250	1,400	107,2	107,4	107,0
9	3	3	1,200	1,110	1,180	107,8	107,3	107,0

Perhitunganrasio S/N

Rasio S/N (*Signal to Noise*) digunakan untuk memilih faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variasi suatu respon. Rasio S/N merupakan suatu rancangan untuk melakukan transformasi pengulangan data ke dalam suatu nilai yang merupakan ukuran variasi yang timbul.

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

Normalisasi Rasio S/N

$$X_i^* = \frac{X_i(k) - \min_k X_i(k)}{\max_k X_i(k) - \min_k X_i(k)}$$

Grey Relational Coefficient

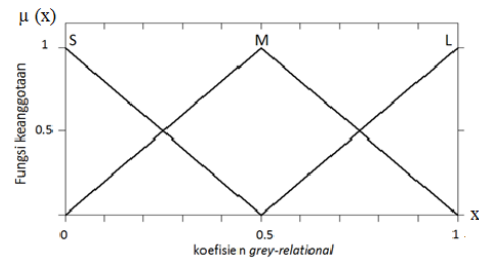
$$\Delta_{0,i}(k) = |X_i(k) - X_i^*(k)|$$

Tabel5.Data HasilPerhitungan

n	f	a	SN Ra	SN HRB	Xi*	Δ0,i	ξi	GFRG			
1	1	1	-2,61	-40,60	0,87	0,08	0,13	0,92	0,79	0,35	0,41
1	2	2	-7,47	-40,43	0,37	1,00	0,63	0,00	0,44	1,00	0,49
1	3	3	-2,61	-40,60	0,87	0,08	0,13	0,92	0,79	0,35	0,60
2	1	2	-7,47	-40,43	0,37	1,00	0,63	0,00	0,44	1,00	0,71
2	2	3	-4,54	-40,44	0,67	0,92	0,33	0,08	0,60	0,87	0,76
2	3	1	-7,41	-40,51	0,38	0,58	0,62	0,42	0,44	0,54	0,54
3	1	3	-11,07	-40,47	0,00	0,81	1,00	0,19	0,33	0,72	0,56
3	2	1	-2,63	-40,62	0,87	0,00	0,13	1,00	0,79	0,33	0,59
3	3	2	-1,31	-40,61	1,00	0,04	0,00	0,96	1,00	0,34	0,70

Fuzzification (Software MATLAB)

Fuzzification merupakan proses pengubahan input menjadi bilangan *fuzzy* dengan menggunakan fungsi keanggotaan. Variabel-variabel *input* pada penelitian ini adalah nilai *grey relation coefficient* untuk kekasaran permukaan dan kekerasan permukaan.



Gambar2.IllustrasiFungsiKeanggotaanuntukKekasaran Permukaan dan Kekerasan

Fuzzy Rules

Pembuatan *fuzzy rules* yang berupa aturan *if-then* (jika-maka) menggunakan *grey relational coefficient* dari respon-respon sebagai variabel *input* dan GFRG sebagai variabel *output*-nya.

Tabel6.Fuzzy Rule

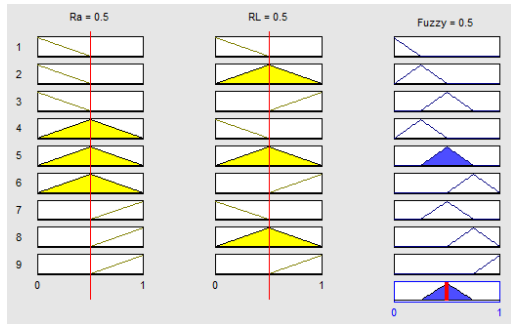
Kekasaran Permukaan	Kekerasan		
	S	M	L
S	VS	S	M
M	S	M	L
L	M	L	VL

Penegasan (defuzzification)

Defuzzification adalah proses pemetaan himpunan *fuzzy* ke himpunan tegas (*crisp*). Koefisien *grey-fuzzy relational* yang digunakan sebagai input dari proses *defuzzification* adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan GFRG (Grey Fuzzy Reasoning Grade) sebagai output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Proses *defuzzification* dilakukan dengan menggunakan metode *Centroid* (titik tengah), yaitu dengan cara mengambil titik tengah dari daerah *fuzzy*. Gambar3 menunjukkan ilustrasi dari 9 aturan *fuzzy* yang digunakan untuk proses

pengubahannilai fuzzy menjadi GFRG dengan caramelakukan pemetaan himpunan fuzzy ke himpunan tegas.

Hasil proses defuzzification yang berupanilai GFRG untuk tiap-tiap kombinasi faktor ditunjukkan pada Tabel 7 GFRG akan digunakan sebagai variabel respon yang mewakili variabel kekasaran permukaan dan kekerasan secara serentak.



Gambar 3. Ilustrasi Aturan Fuzzy untuk Proses Defuzzification (a). Respon Kekasaran Permukaan (b). Kekerasan (HRB) (c). GFRG

Tabel 7. Hasil GFRG pada Masing-Masing Level Parameter Proses

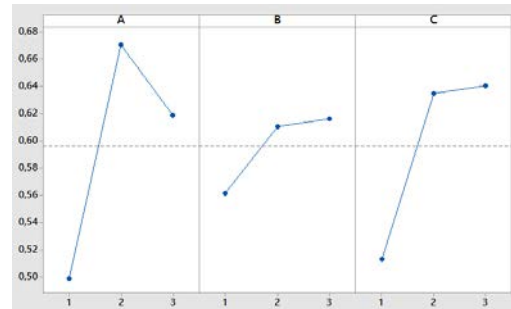
Setting faktor kombinasi ke-	A	B	C	GFRG
1	1	1	1	0,408
2	1	2	2	0,488
3	1	3	3	0,601
4	2	1	2	0,712
5	2	2	3	0,756
6	2	3	1	0,544
7	3	1	3	0,565
8	3	2	1	0,588
9	3	3	2	0,704

Perhitungan rata-rata nilai GFRG pada masing-masing level dari parameter proses ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Rata-Rata GFRG pada Masing-Masing Level Parameter Proses

Faktor	level 1	level 2	level 3	Selisih
Putaran spindle (n, m/Rpm)	0,4989	0,5615	0,5132	0,1718
Feeding (f, mm/min)	0,6706	0,6106	0,6347	0,0549
Kedalaman potong (a, mm)	0,1718	0,0549	0,1274	0,1274
Rata-rata	0,34981			

Grafik untuk nilai GFRG pada masing-masing level dari parameter proses, yaitu putaran spindle (n), Feeding (f) dan kedalaman potong (a) ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Grafik 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. Kombinasi faktor tersebut ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Kombinasi Faktor untuk Respon Optimum

Faktor	Tingkatan level	Nilai level
Putaran spindle (n, m/Rpm)	Level 2	605
Feeding (f, mm/min)	Level 3	0,031
Kedalaman potong (a, mm)	Level 3	0,125

Nilai prediksi GFRG tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\hat{Y} = Y_m + \sum_{i=1}^p (O_i - Y_m)$$

Tabel 10. GFRG Kombinasi Faktor untuk Respon Optimum

Faktor	level 1	level 2	level 3	Selisih
Putaran spindle (n, m/Rpm)	0,4989	0,5615	0,5132	0,1718
Feeding (f, mm/min)	0,6706	0,6106	0,6347	0,0549
Kedalaman potong (a, mm)	0,1718	0,0549	0,1274	0,1274
Rata-rata	0,34981			

Dengan demikian nilai GFRG prediksi untuk kombinasi faktor yang menghasilkan respon optimum adalah 0,73535 dan dinyatakan dengan Software Minitab 17 dengan nilai Prediksi Respon (GFRG) untuk kondisi A₂ B₃ C₃ adalah 0,7353.

Tabel 11 Kombinasi Faktor dan Level pada Optimasi Pemesinan

Parameter Pemesinan	Sebelum Optimasi	Prediksi	Percobaan Konfirmasi
Setting Level	A ₁ B ₁ C ₃	A ₂ B ₃ C ₃	A ₂ B ₃ C ₃
Kekasaran Permukaan (Ra)	2,32		2,24
S/N RA	-2,607		-7,470
ξi (grey relational coefficient)	0,791		0,442
Kekerasan (HRB)	105,2		104,6
S/N HRB	-40,604		-40,428
ξi (grey relational coefficient)	0,442		1,000
Grey Fuzzy Reasoning Grade (GFRG)	0,557	0,735	0,745

Setelah mengetahui nilai prediksi, dilakukan percobaan atau test untuk mengkonfirmasi kondisi optimum tersebut. Hasil GFRG untuk respon pada percobaan konfirmasi adalah 0,745 (dapat dilihat pada Tabel 11). Selain itu dilakukan perhitungan pula nilai Respon untuk kondisi awal, sebelum dilakukan optimasi. Nilai Responnya dapat dilihat pada Tabel 11 adalah 0,557.

Peningkatan nilai respon GFRG yang terjadi dari kondisi awal menjadi kondisi optimum adalah sebesar 0,188 atau mengalami peningkatan sebesar 33,75%.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil Penelitian dan analisis serta hasil percobaan konfirmasi yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Seting variabel kombinasi dari variabel proses yang dapat meminimumkan kekasaran permukaan dan kekerasan secara serentak adalah sebagai berikut:

Putaran spindle pada level 2 yaitu 605 Rpm

Feeding pada level 3 yaitu 0,031 mm/min

Kedalaman potong pada level 3 yaitu 0,125 mm

Nilai (GFRG) *Grey Fuzzy Reasoning Grade* pada prediksi optimum 0,7353 sedangkan hasil (GFRG) untuk respon pada percobaan konfirmasi pada kondisi A₂ B₃ C₃ dengan adalah 0,745. Selain itu dilakukan perhitungan pula nilai Respon untuk kondisi awal, sebelum dilakukan optimasi. Nilai Responnya adalah 0,557. Jadi peningkatan nilai respon GFRG yang terjadi dari kondisi awal menjadi kondisi optimum adalah sebesar 0,188 atau mengalami peningkatan sebesar 33,75%.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini terlaksana atas dukungan Laboratorium pemesinan & Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan LPPM Universitas Negeri Surabaya

Referensi

- [1] Arsecularatne, J. A., Zhang, L. C., Montross, C. dan Mathew, P. (2006), "On Machining of Hardened

AISI D2 Steel with PCBN Tools," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 171, hal. 244–252.

- [2] Asiltürk, I. dan Akkus, H. (2011), "Determining the Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness in Hard Turning using the Taguchi Method," *Journal of Measurement*, Vol. 44, hal. 1697–1704.
- [3] Aslan, E., Camuşcu, N. dan Birgören, B. (2007), "Design Optimization of Cutting Parameters when Turning Hardened AISI 4140 Steel (63 HRC) with Al₂O₃ + TiCN Mixed Ceramic Tool," *Journal of Materials and Design*, Vol. 28, hal. 1618–1622.
- [4] Dhavamani, C. dan Alwarsamy, T. (2011), "Review on Optimization of Machining Operation," *International Journal of Academic Research*, Vol. 3, hal. 476–485.
- [5] Gunay, M., Aslan, E., Korkut, I. dan Şeker, U. (2004), "Investigation of the Effect of Rake Angle on Main Cutting Force," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 44, hal. 953–959.
- [6] Gupta, A., Singh, H. dan Aggrawal, A. (2011), "Taguchi-Fuzzy Multi Output Optimization (MOO) in High Speed CNC Turning of AISI P-20 Tool Steel," *Journal of Systems with Applications*, Vol. 38, hal. 6822–6828.
- [7] Hascalik, A. dan Caydas, U. (2007), "Optimization of Turning Parameters for Surface Roughness and Tool Life Based on the Taguchi Method," *International Journal of Manufacturing Technology*, Vol. 38, hal. 896–903.
- [8] Hsiang, S. H. dan Lin, Y. W. (2009), "Optimization of The Extrusion Process for Magnesium Alloy Sheets using The Fuzzy based Taguchi Method," *The Arabian Journal for Science and Engineering*, Vol. 34, hal. 175–185.
- [9] Kalpakjian, S. dan Schmid, S. R. (2008), *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, Prentice Hall, New Jersey.
- [10] Kusumadewi, S. (2006), *Analisis & Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [11] Lalwani, D. I., Mehta, N. K. dan Jain, P. K. (2008), "Experimental Investigations of Cutting Parameters Influence on Cutting Forces and Surface Roughness in Finish Hard Turning of MDN250 Steel," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 206, hal. 167–179.
- [12] Lin, J. L. dan Lin, C. L. (2005), "The use of Grey-Fuzzy Logic for the Optimization of the Manufacturing Process," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 160, hal. 9–14.
- [13] Lin, J. L., Wang, K. S., Yan, B. H. dan Tarnag, Y. S. (2000), "Optimization of the Electrical Discharge Machining Process Based on the Taguchi Method with Fuzzy Logics," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 102, hal. 48–55.
- [14] Manna, A. dan Salodkar, S. (2008), "Optimization of Machining Conditions for Effective Turning of E0300 Alloy Steel," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 203, hal. 147–153.
- [15] Montgomery, D. C. (1991), *Design and Analysis of Experiment*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [16] Neseli, S., Yaldiz, S. dan Turkes, E. (2011), "Optimization of Tool Geometry Parameters for Turning Operations Based on the Response Surface Methodology," *Journal of Measurement*, Vol. 44, hal. 580–587.
- [17] Nian, C. Y., Yang, W. H. dan Tarnag, Y. S. (1999), "Optimization of Turning Operations with Multiple Performance Characteristics," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 95, hal. 90–96.
- [18] Park, S. H. (1996), *Robust Design and Analysis for Quality Engineering*, 1st edition, Chapman & Hall, London.
- [19] Puri, Y. M., Deshpande, N. V. (2004), "Simultaneous Optimization of Multiple Quality Characteristics of

- Wedm Based on Fuzzy Logic and Taguchi Technique," *Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference*, hal. 14.18.1-14.18.12.
- [20] Rochim, T. (1993), *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [21] Rochim, T. (2001), *Spesifikasi, Metrologi, dan Kontrol Kualitas Geometrik*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [22] Saglam, H., Yaldiz, S., Unsacar, F. (2007), "The Effect of Tool Geometry and Cutting Speed on Main Cutting Force and Tool Tip Temperature," *Journal of Materials and Design*, Vol. 28, hal. 101–111.
- [23] Soejanto, I. (2009), *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [24] Zadeh, L. (1965), "Fuzzy Sets," *Journal Information and Control*, Vol. 8, hal. 338–353.