

OPTIMALISASI HASIL PROSES WIRE-CUT EDM DENGAN METODE PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (PCA)

(STUDI KASUS DI CV.CATUR PRASETYA PACKINDO)

Mulyadi¹, Agus Puji Suryanto²

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sidoarjo Jl. Gelam 250 Candi Sidoarjo 61271 (031) 8921938, Indonesia

² Alumni Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Email: ¹mymulyadi640@gmail.com, ²Aguspuji56@gmail.com

ABSTRACT

Some of the desired performance of the machining process Wire-Cut Electric Discharge Machining CV. Catur Prasetya Packindo is rate workmanship short and surface roughness of lower cutting. The problem is how to manage the performance of process variables that can be optimized simultaneously. To perform the optimization process must first be determined the relationship between the performance of the machining process wire cut to variable Interpulse process, Electric current, Wire Speed and Variable Frequency with PCA method. The relationship model is obtained from experiments carried out by the draft Central Composite Design (CCD). Optimasi response is made with the help of Minitab software 16. The data used in this study are primary data obtained from experimental results. Variable response to be observed include material processing rate (MRR), cutting time, cutting width, surface roughness (Ra), then a constant variable is a variable process that is not examined. These variables are maintained during the experimental process so it does not affect the results. In order to estimate the contribution of the influence of each factor on the response so that the accuracy of the model used can be determined, then used analysis of variance (ANOVA) which is a quantitative calculation techniques. To determine the extent to which the accuracy of the values that are statistically stationary generate value optimal response, then validated against the values stationary. To prove the presence or absence of a deviation between the results of the validation test will be conducted on the calculation of the sample one for setting optimum parameters for a confirmation test. Optimization of the cutting material samples SKD-11 is around 15 mm to produce the shortest time 5 minutes 21 seconds, cutting the narrowest width of 0.481 mm, the minimum surface roughness in Ra of 6.0 μm and maximum MRR was 13,93 (mm^3/mnt). The fourth value is the best setting parameters obtained from the optimization by setting a value Pulse interval of 9, electric current of 10 Wire speed by 5 and variable frequency by 80.

Keywords: Wire-Cut EDM, PCA, CCD, SKD-11, Optimization

PENDAHULUAN

Wire - Cut EDM (Electrical Discharge Machining) adalah sebuah proses termo-elektrik yang menyebabkan benda kerja terkikis karena pelepasan muatan listrik (*electric discharge*). Sebagai elektrode digunakan kawat yang berbentuk silinder dengan diameter tertentu untuk memotong benda kerja. Proses pemesinan *Wire-Cut EDM* tidak dipengaruhi oleh sifat mekanik benda kerja, tetapi dipengaruhi oleh titik leburnya [1].

Principal Component Analysis (PCA) adalah cara untuk mengidentifikasi pola-pola dalam data berkorelasi, dan mengekspresikan data sedemikian rupa sehingga menyoroti persamaan dan perbedaan, Johnson dan Wichern (2002). Keuntungan utama dari PCA adalah bahwa sekali pola dalam data telah diidentifikasi, data dapat dikompresi, yaitu dengan

mengurangi jumlah dimensi, tanpa banyak kehilangan informasi[2].

Optimasi merupakan usaha didalam penelitian untuk mendapatkan level-level variabel bebas agar mendapatkan respon yang optimal. Yang dan El-Haik (2003) menyatakan bahwa pendekatan fungsi *desirability* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk optimasi multi-respon[3].

Baja SKD11 adalah jenis baja perkakas yang memiliki ketahanan yang tinggi terhadap keausan dan memiliki stabilitas yang tinggi dalam pengerasan. Baja SKD11 adalah jenis baja berkualitas tinggi yang dibuat untuk aplikasi sebagai alat pemotong (*cutting*), alat pembentuk (*forming*), dan sebagai cetakan (*dies*). Baja SKD11 sering kali digunakan sebagai bahan material *spareparts* industri karena sifatnya yang keras dan tahan terhadap panas, diantaranya adalah pisau potong. Dalam hal ini pemotong(*cutting*)

digunakan untuk memotong sebuah produk, sehingga pisau tersebut dituntut untuk memiliki permukaan yang halus dan kepresisian yang tinggi[4].

Penelitian mengenai pengaturan parameter pemotongan pada *Wire-Cut EDM* telah dilakukan. Tarng et al (1995) menggunakan system jaringan saraf tiruan untuk menentukan seting dari durasi pulsa, selang waktu antar pulsa, arus, *open circuit voltage*, kapasitansi listrik, dan kecepatan meja dalam memperkirakan kecepatan pemotongan serta kehalusan permukaan hasil pemotongan[5].

Dengan menggunakan bahan *machinery Steel S45C*, Fitriawan (2003) melakukan penelitian mengenai *MRR (Material Removal Rate)* dan kekasaran permukaan hasil proses pemotongan miring *CNC EDM Wirecut*. Variasi kekasaran hasil pengerjaan dengan *setting parameter* proses pada penelitian ini dimodelkan dengan persamaan *power fungsi* yang kemudian ditransformasikan menjadi persamaan linear. Penelitian ini memberikan kesimpulan bahwa kekasaran hasil pemotongan miring serta *MRR* pada proses *EDM Wirecut* dipengaruhi oleh *variabel power setting, off time* dan sudut *tapper cutting*[6].

Tosun et al. (2003) melakukan penelitian mengenai efek dari parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan pada *Wire EDM* dengan bahan benda kerja baja SAE 4140. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa *pulse duration, open circuit voltage dan wire speed* sangat berpengaruh terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan, dan dengan menaikkan tekanan cairan dielektrik dapat diperoleh permukaan hasil pemotongan yang lebih halus [7].

Mahapatra dan Patnaik (2007) juga telah melakukan penelitian mengenai optimasi parameter proses pada *Wire-EDM* dengan menggunakan *Metode Taguchi*. Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa besarnya arus, frekuensi, dan kecepatan aliran cairan dielektrik serta interaksinya memberikan pengaruh yang signifikan pada pemotongan dalam meningkatkan *MRR*, meminimalkan kekasaran hasil pemotongan, dan dalam mempersempit lebar pemotongan (*cutting width*). Penelitian ini juga menghasilkan *setting parameter* proses pemotongan *Wire-EDM*[8].

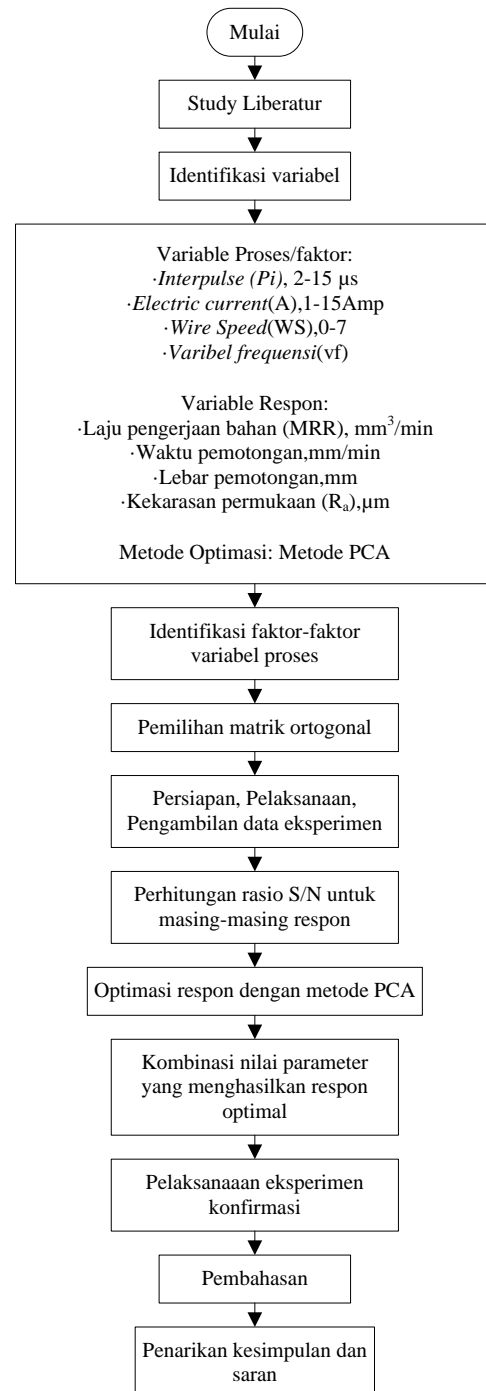
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan setting parameter variabel yang optimal dari, *Interpulse (Pi)*, *Electric current (A)*, *Wire Speed (WS)* dan *Variable Frequency (vf)*. Sehingga bisa meningkatkan laju pengerjaan bahan, meminimalkan waktu pemotongan, lebar pemotongan dan kekasaran permukaan secara serentak, pada proses pemotongan bahan SKD11 (dengan kekerasan HRC 60).

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini meliputi dua kegiatan utama yaitu proses pemotongan dan pengukuran. Untuk proses pemotongan dengan menggunakan mesin *wire-cut edm* dilakukan di CV. Catur Prasetya Packindo dan pengukuran lebar pemotongan serta kekasaran

permukaan keduanya dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini disajikan dalam diagram alir pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Prosedur Penelitian

- a) Persiapan benda kerja SKD11, meliputi penyesuaian ukuran benda kerja, pengerasan benda kerja (*through hardening*), serta perataan dan penghalusan permukaan spesimen uji. Setelah permukaan spesimen uji rata dan halus, spesimen dibersihkan dari debu, oli, dan kotoran lain yang bisa mengganggu proses *Wire-Cut EDM* dengan kertas tisu.

- b) Pemasangan benda kerja pada jig yang tersedia pada mesin *Wire-Cut EDM* dan diklem pada bagian yang bebas/tidak terkena proses pemesian.
- c) Penentuan sumbu referensi pemesinan pada benda kerja.
- d) Pemeriksaan kawat diameter 0,25mm pada mesin *Wire-Cut EDM* pada jalur roll-roll yang telah tersedia pada mesin.
- e) Menghidupkan mesin *Wire-Cut EDM* serta pengisian cairan dielektrum.
- f) Setting parameter pemesinan sesuai dengan rancangan percobaan.
- g) Melaksanakan proses pemotongan serta mencatat waktu pengerjaan pada masing-masing pemotongan
- h) Setelah seluruh proses pemotongan selesai, benda kerja dikeluarkan dari mesin kemudian dibersihkan dan dikeringkan.
- i) Mencatat waktu pemotongan, pengukuran lebar hasil pemotongan dengan *Measurescope* dan pengukuran kekasaran permukaan dengan alat ukur *surface roughness tester*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengambilan Data Eksperimen

Tabel 1 berikut menunjukkan hasil pengambilan data pemotongan menggunakan mesin *Wire-Cut EDM GOLD SAN* [9], pengukuran kekasaran permukaan menggunakan mesin *MITUTOYO surface tester* dan lebar pemotongan menggunakan *Measurescope*[10] dengan pengaturan variasi level factor menggunakan metode taguchi [11].

Tabel1. Data hasil pengambilan data eksperimen

NO	Faktor				Respon			
	A	B	C	D	MRR (mm ³ /mm ²)	Waktu (menit)	Lebar (mm)	R _a (µm)
1	6	5	3	70	10,09	7,25	0,488	8,9
2	6	10	5	75	14,13	5,35	0,504	12,5
3	6	15	7	80	20	3,87	0,516	8,7
4	9	5	5	80	13,03	5,57	0,484	11,7
5	9	10	7	70	9,34	8,15	0,508	6,0
6	9	15	3	75	14,64	5,45	0,532	7,2
7	13	5	7	75	8,17	8,81	0,480	11,1
8	13	10	3	80	13,93	5,21	0,484	9,4
9	13	15	5	70	8,81	8,98	0,528	7,7

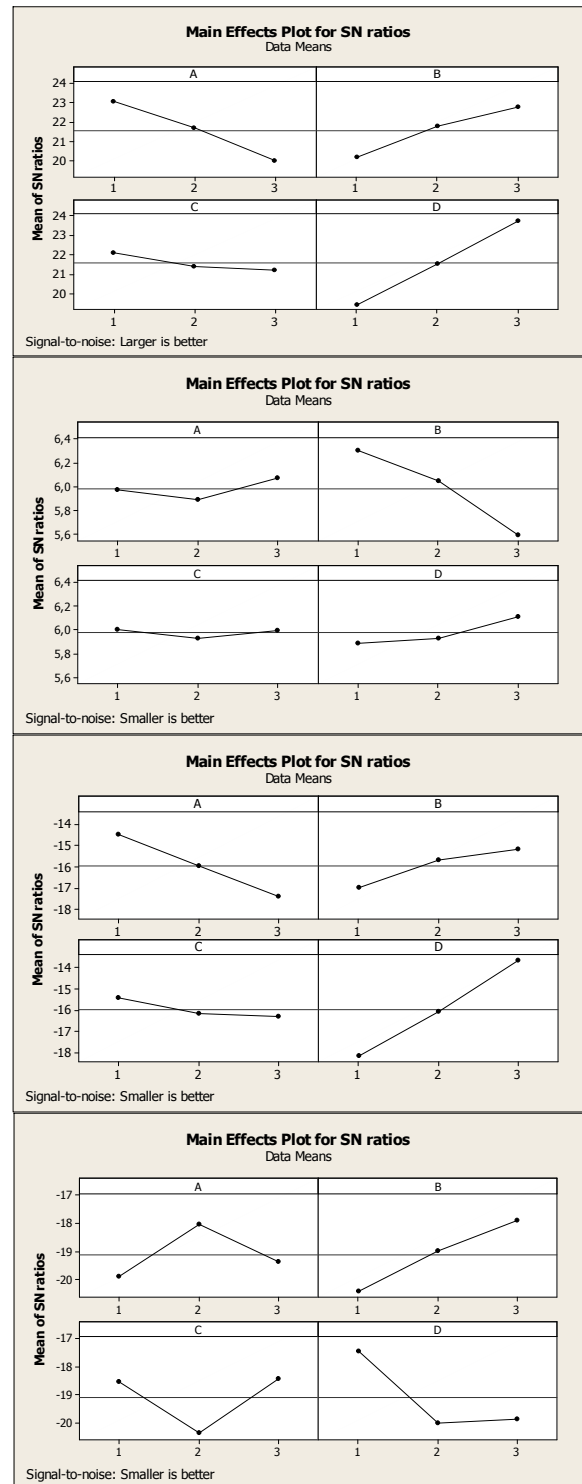
Dari Table 1 diatas menunjukkan bahwa factor A,B,C dan D masing-masing mempunyai level factor yang ditunjukkan pada Table 2 berikut :

Tabel2. Level masing-masng faktor

No	Faktor	Level	Keterangan
1	A	6	<i>Pulse Interval</i>
		9	
		13	
2	B	5	<i>Electric current</i>
		10	
		15	
3	C	3	<i>Wire Speed</i>
		5	
		7	
4	D	70	<i>Variabel Frequency</i>
		75	
		80	

Hasil Perhitungan S/N Rasio

Hasil perhitungan S/N Rasio untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel proses terhadap Laju Pengerjaan Bahan karakteristik *Larger TheBetter*, Waktu Pemotongan karakteristik *smaller TheBetter*, Lebar pemotongan karakteristik *smaller TheBetter* dan Kekasaran hasil pemotongan karakteristik *smaller TheBetter* dalam proses pemotongan pada *Wire-Cut EDM*. Perhitungan tersebut menggunakan bantuan *software minitab 16* hasilnya ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Grafik plot Rasio S/N untuk 4 respon

Hasil Perhitungan Normalisasi Data

Normalisasi data pada masing-masing respon, menggunakan excel. Karakteristik kualitas adalah Large the Better, sehingga didapatkan dapa pada Table 3 berikut.

Tabel 3. Hasil normalisasi data

MRR	Waktu	Lebar	Ra	$Xi^*(1)$	$Xi^*(2)$	$Xi^*(3)$	$Xi^*(4)$
10,09	7,25	0,488	8,9	0,5045	0,8073	0,9173	0,7120
14,13	5,35	0,504	12,5	0,7065	0,5958	0,9474	1,0000
20	3,87	0,516	8,7	1,0000	0,4310	0,9699	0,6960
13,03	5,57	0,484	11,7	0,6515	0,6203	0,9098	0,9360
9,34	8,15	0,508	6	0,4670	0,9076	0,9549	0,4800
14,64	5,45	0,532	7,2	0,7320	0,6069	1,0000	0,5760
8,17	8,81	0,48	11,1	0,4085	0,9811	0,9023	0,8880
13,93	5,21	0,484	9,4	0,6965	0,5802	0,9098	0,7520
8,81	8,98	0,528	7,7	0,4405	1,0000	0,9925	0,6160
20	8,98	0,532	12,5				

Hasil Perhitungan PCA

Untuk mencari kombinasi level –level variabel proses yang optimal, maka digunakan metode permukaan respon dengan pendekatan *multivarian*, dimana pendekatan tersebut digunakan untuk mengetahui hubungan dan pengaruh antara masing-masing respon pada Table 4 dan Table 5 berikut ini.

Tabel 4. Hasil pengolahan minitab *multivarian*

Principal Component Analysis: $Xi^*(1)$; $Xi^*(2)$; $Xi^*(3)$; $Xi^*(4)$				
<u>Eigenanalysis of the Correlation Matrix</u>				
Eigenvalue	2,0205	1,6137	0,3356	0,0301
Proportion	0,505	0,403	0,084	0,008
Cumulative	0,505	0,909	0,992	1,000
Variable	PC1	PC2	PC3	PC4
$Xi^*(1)$	0,691	-0,106	-0,083	0,710
$Xi^*(2)$	-0,692	-0,042	0,203	0,691
$Xi^*(3)$	0,110	-0,713	0,680	-0,133
$Xi^*(4)$	0,177	0,692	0,700	0,014

Dari data pengolahan minitab *multivarian* kemudian menghitung nilai komponen analisis Z_1, Z_2, Z_3 dan Z_4 menggunakan excel :

$$Z1 = 0,691 \times Xi^*(1) - 0,692 \times Xi^*(2) + 0,11 \times Xi^*(3) + 0,177 \times Xi^*(4)$$

$$Z2 = -0,106 \times Xi^*(1) - 0,042 \times Xi^*(2) - 0,713 \times Xi^*(3) + 0,692 \times Xi^*(4)$$

$$Z3 = -0,083 \times Xi^*(1) + 0,203 \times Xi^*(2) + 0,680 \times Xi^*(3) + 0,700 \times Xi^*(4)$$

$$Z4 = 0,710 \times Xi^*(1) + 0,690 \times Xi^*(2) - 0,133 \times Xi^*(3) + 0,014 \times Xi^*(4)$$

Tabel 5. Hasil perhitungan komponen analisis Z_1, Z_2, Z_3 dan Z_4 menggunakan excel.

	$Xi^*(1)$	$Xi^*(2)$	$Xi^*(3)$	$Xi^*(4)$	principal komponen			
kondisi ideal	1	1	1	1	Z1	Z2	Z3	Z4
1	0,5045	0,8073	0,9173	0,7120	0,0169	-0,2487	1,2442	0,8040
2	0,7065	0,5958	0,9474	1,0000	0,3571	-0,0834	1,4065	0,8013
3	1,0000	0,4310	0,9699	0,6960	0,6226	-0,3340	1,1512	0,8886
4	0,6515	0,6203	0,9098	0,9360	0,2867	-0,0961	1,3457	0,7833
5	0,4670	0,9076	0,9549	0,4800	-0,1154	-0,4363	1,1308	0,8384
6	0,7320	0,6069	1,0000	0,5760	0,2978	-0,4175	1,1456	0,8142
7	0,4085	0,9811	0,9023	0,8880	-0,1402	-0,1134	1,4004	0,8604
8	0,6965	0,5802	0,9098	0,7520	0,3130	-0,2265	1,2050	0,7850
9	0,4405	1,0000	0,9925	0,6160	-0,1694	-0,3701	1,2725	0,8804

Hasil Perhitungan MPI

Nilai proportion dari minitab untuk menghitung nilai MPI:

$$MPI = 0,505 \times Z1 + 0,403 \times Z2 + 0,084 \times Z3 + 0,008 \times Z4$$

Menghitung nilai MPI untuk masing-masing komponen principal menggunakan excel pada Table 6 berikut:

Tabel 6. Hasil Perhitungan MPI dengan menggunakan excel

	$Xi^*(1)$	$Xi^*(2)$	$Xi^*(3)$	$Xi^*(4)$	principal komponen				MPI
kondisi ideal	1	1	1	1	Z1	Z2	Z3	Z4	
1	0,5045	0,8073	0,9173	0,7120	0,0169	-0,2487	1,2442	0,8040	0,0192
2	0,7065	0,5958	0,9474	1,0000	0,3571	-0,0834	1,4065	0,8013	0,2713
3	1,0000	0,4310	0,9699	0,6960	0,6226	-0,3340	1,1512	0,8886	0,2836
4	0,6515	0,6203	0,9098	0,9360	0,2867	-0,0961	1,3457	0,7833	0,2254
5	0,4670	0,9076	0,9549	0,4800	-0,1154	-0,4363	1,1308	0,8384	-0,1324
6	0,7320	0,6069	1,0000	0,5760	0,2978	-0,4175	1,1456	0,8142	0,0689
7	0,4085	0,9811	0,9023	0,8880	-0,1402	-0,1134	1,4004	0,8604	0,0090
8	0,6965	0,5802	0,9098	0,7520	0,3130	-0,2265	1,2050	0,7850	0,1783
9	0,4405	1,0000	0,9925	0,6160	-0,1694	-0,3701	1,2725	0,8804	-0,1288

Perhitungan S/N rasio MPI

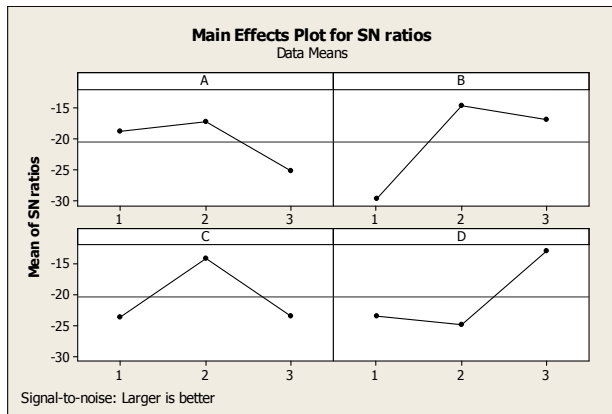
Respon eksperimen yang sekarang mengacu pada respon tunggal *composite principal component*, menjadi dasar penentuan level faktor yang optimal dengan memaksimalkan nilainya. Karena itu, transformasi kebentuk S/N dengan karakteristik kualitas *Large-the-better* dilakukan pada respon tunggal tersebut, mengacu pada karakteristik individu masing-masing respon (MRR, waktu, lebaran Ra). Pada Table 7 berikut adalah hasil perhitungan S/N rasio tersebut.

Tabel 7. Hasil Perhitungan S/N Rasio MPI

C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
$Xi^*(1)$	$Xi^*(2)$	$Xi^*(3)$	$Xi^*(4)$	Z1	Z2	Z3	Z4	MPI	SNRAT
0,5045	0,80735	0,91729	0,712	0,0169	-0,2487	1,2442	0,8040	0,0192	-34,3170
0,7065	0,59577	0,94737	1,000	0,3571	-0,0834	1,4065	0,8013	0,2713	-11,3314
1,0000	0,43096	0,96992	0,696	0,6226	-0,3340	1,1512	0,8886	0,2836	-10,9448
0,6515	0,62027	0,90977	0,936	0,2867	-0,0961	1,3457	0,7833	0,2254	-12,9424
0,4670	0,90757	0,95489	0,480	-0,1154	-0,4363	1,1308	0,8384	-0,1324	-17,5627
0,7320	0,60690	1,00000	0,576	0,2978	-0,4175	1,1456	0,8142	0,0689	-21,4226
0,4085	0,98107	0,90226	0,888	-0,1402	-0,1134	1,4004	0,8604	0,0090	-41,9662
0,6965	0,58018	0,90977	0,752	0,3130	-0,2265	1,2050	0,7850	0,1743	-15,1755
0,4405	1,00000	0,99248	0,616	-0,1694	-0,3701	1,2725	0,8804	-0,1288	-18,3620

Hasil Perhitungan prediksi dengan menggunakan minitab

Langkah terakhir dalam perhitungan komponen analisis ini adalah dengan menentukan prediksi, dimana perhitungan tersebut dapat diketahui parameter-parameter yang diharapkan sehingga menghasilkan pemotongan yang optimal sesuai perhitungan. Dalam menentukan prediksi digunakan minitab sehingga menghasilkan Grafik seperti pada Gambar 3 dan Tabel 8 berikut ini:



Gambar 3. Grafik plot Rasio S/N

Tabel 8. Hasil prediksi berdasarkan S/N rasio

Taguchi Analysis: MPI versus A; B; C; D
Predicted values
S/N Ratio 2,09025
Factor levels for predictions
A B C D 2 2 2 3

Berdasarkan data minitab pada Tabel 8 diatas setting parameter optimum untuk konfirmasi test adalah A2,B2,C2,D3 nilai konfirmasi test 2,09025. Kemudian dilakukan eksperimen konfirmasi untuk mengetahui sejauh mana ketepatan dari nilai-nilai stasioner yang secara statistik menghasilkan nilai respon yang optimal, maka dilakukan validasi terhadap nilai-nilai stasioner tersebut. Untuk membuktikan ada atau tidaknya penyimpangan antara hasil validasi dengan hasil perhitungan akan dilakukan uji pengambilan data sample satu kali. Setting parameter optimum untuk konfirmasi test adalah A2,B2,C2,D3. Hasil analisis dari olahan komputer dan hasil percobaan eksperimen konfirmasi dapat dilihat pada Tabel 9 berikut ini.

Tabel 9. Hasil percobaan eksperimen konfirmasi

NO	Faktor				Respon			
	A	B	C	D	MRR	Waktu	Lebar	R _a
1	9	10	5	80	13,93 (mm ³ /mnt).	5 menit 21 detik	0,481 mm	6,0 μm

Berdasarkan hasil yang didapatkan pada analisa dan eksperimen konfirmasi, maka diketahui nilai-nilai optimal berdasarkan perhitungan komponen analisis. Berikut ini hasil dari pengujian ekprimen konfirmasi:

1. **Material Removal Rate(MRR)**
Untuk pengujian konfirmasi pada MRR nilai-nilai yang didapatkan 13,93(mm³/mnt).
2. **Waktu pengerjaan**
Untuk pengujian eksperimen konfirmasi pada waktu pengerjaan nilai-nilai yang didapatkan adalah 5 menit 21 detik.
3. **Lebar pemotongan**
Untuk pengujian eksperimen konfirmasi pada lebar pemotongan nilai-nilai yang didapatkan adalah 0,481 mm.

4. Kekasaran permukaan (R_a)

Untuk pengujian eksperimen konfirmasi pada kekasaran permukaan hasil pemotongan nilai-nilai yang didapatkan adalah 6,0 μm

Jika dibandingkan sebelum dilakukan eksperimen konfirmasi dengan sesudah eksperimen konfirmasi dilakukan, maka hasilnya dapat dilihat pada Tabel 10 berikut ini:

Tabel 10. Perbandingan sebelum dan sesudah eksperimen konfirmasi

No	Sebelum eksperimen konfirmasi				Setelah eksperimen konfirmasi			
	MRR	waktu	Lebar	R _a	MRR	waktu	Lebar	R _a
1	13,03 (mm ³ /mnt).	5 menit 57 detik	0,484 mm	11,7 μm	13,93 (mm ³ /mnt).	5 menit 21 detik	0,481 mm	6,0 μm

KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut: Melalui optimasi multiple response pada pemotongan material SKD-11 (HRC 60) sepanjang 15 mm dicapai waktu tersingkat 5 menit 21 detik, lebar pemotongan tersempit 0,481 mm, kekasaran permukaan paling minimum dalam Ra sebesar 6,0 μm dan MRR maksimum adalah 13,93(mm³/mnt).Keempat nilai tersebut diperoleh dengan menetapkan nilai Pulse interval sebesar 9, electric current sebesar 10, Wire speed sebesar 5 dan variabel frequency sebesar 80.

SARAN

Berdasarkan penelitian ini perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan melakukan variasi variabel-variabel proses yang lain seperti yang dilakukan Tarng [5] dan Tosun [7], sehingga diharapkan mendapat model dengan kemampuan prediksi yang lebih baik dan bidang aplikasi yang lebih luas serta menghasilkan respon yang benar-benar optimal secara bersamaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pandey, P.C., 1980, Modern Machining Processes, Mc Graw-Hill, New Dehli.
- [2] Johnson, R.A. and Wichern D.W., (2002), *Applied Multivariate Statistical Analysis*, 5 th Ed, Prentice-Hall Inc, New Jersey.
- [3] K. Yang, dan B. S. El-Haik. 2003. Design for Six Sigma. McGraw-Hill
- [4] ASM Metals Handbook. (1990-1, 2005-2), "Vol 01 :Properties and Selection Irons, Steels, and High-Performance Alloys", ASM International.
- [5] Tarng, Y.S.,S.C. Ma, dan L.K. Chung, 1995, *Determination Of Optimal Cutting Parameters In Wire Electrical Discharge Machining*.
- [6] Fitriawan, Hasmar Eko, 2003, *Analisa Pengaruh Power Setting, Of Time, Dan Sudut Taper Cutting Terhadap Kekasaran Hasil Proses Pemotongan Miring CNC EDM Wirecut*, Tugas Akhir Tidak Dipublikasikan , Jurusan Teknik Mesin ITS.
- [7] Tosun, N., C. Cogun, dan A. Inan, 2003, *The Effect Of Cutting Parameters On Workpiece Surface Roughness In Wire Edm, Machining*

- Science And Technology: An International Journal
- [8] Mahapatra, S.S. dan Patnaik, A. (2007), "Optimization of Wire Electrical Discharge Machining (WEDM) Process Parameters Using Taguchi Method," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.34.
- [9] Instruction Manual, *Machining Condition Table: instruction*, GOLD SAN Wire Cut EDM.
- [10] Rochim, Taufik, 2001, *Spesifikasi, Metrologi Dan Kontrol Kualitas Geometri*, ITB, Bandung
- [11] Soejanto, Irwan, 2009, "Desain Eksperimen Metode Taguchi".