

ANALISA DAN SIMULASI GAYA POTONG PADA PROSES *MACHINE DRILLING* DENGAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE ANSYS*

Muhammad Iska Rahman¹, Ahmad Nur Shofa², Listy Fazria Setiawan³

¹Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITS
email: m.iska.rahman89@gmail.com

²Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITS
email: a.nurshofa@gmail.com

³Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITS
email: listyfazria@yahoo.com

Abstract

Drilling process is a cutting metal process with multiple point cutting are used to make cylindrical holes. The process parameters used in drilling process are cutting speed, feed rate and depth of cut. Taguchi-GRA was used for optimizing process parameters. Process parameters and point angle set up exactly so they can reduce cutting force, moment and flank wear. Experiment have done on the drilling process using with S50C steel. Simulation was carried out by ANSYS Software. The results show the distribution of stress in drilling tool.

Keywords: ANSYS, GRA, Taguchi

1. Pendahuluan

Proses *drilling* merupakan proses pemesinan yang menghasilkan lubang silindris pada benda kerja logam ataupun non-logam. Pahat *drilling* dikenal dengan nama penggurdi puntir (*twist drill*) yang memiliki dua mata potong. Alur/*flute drilling* puntir yang berbentuk spiral atau terpuntir berfungsi sebagai jalan keluar geram hasil pemotongan yang terjadi di ujung pahat. Putaran spindel menghasilkan gerak potong yang bergerak secara rotasi. Gerak makan pada *drilling* terjadi karena gerakan translasi pahat *drilling* pada arah sumbu putarnya.

Kinerja dari proses *drilling* dapat dievaluasi berdasarkan beberapa karakteristik kualitas seperti kekasaran permukaan, keausan tepi pahat dan ketinggian *burr*. Selain itu, gaya tekan dan torsi juga dapat digunakan untuk mengevaluasi proses *drilling*. Oleh karena itu, ukuran-ukuran kinerja tersebut juga dapat digunakan untuk melakukan evaluasi terhadap kinerja dari proses *drilling*.

Pada proses pemesinan secara umum, ukuran-ukuran kinerja tersebut biasanya juga dijadikan respon yang merupakan fungsi dari parameter-parameter proses atau faktor. Khusus pada proses *drilling*, tiga faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas ataupun ukuran-ukuran

kinerja adalah kecepatan potong, gerak makan dan sudut ujung pahat.

Grey relational analysis (GRA) yang didasarkan pada teori sistem *grey* dapat digunakan untuk mengatasi kekurangan informasi yang tidak lengkap dan tidak jelas (Deng, 1989). Melalui GRA, *grey relational grade* (GRG) diperoleh untuk mengevaluasi respon yang jumlahnya banyak. Sebagai hasilnya, optimasi dari respon yang berjumlah banyak dapat diubah menjadi optimasi dari satu *relational grade* (Lin dan Lin, 2002).

Ranganathan *et al.* (2012) meneliti pengaruh dari faktor proses yang berupa gerak makan dan kecepatan putar spindel terhadap respon kualitas permukaan, delaminasi, gaya tekan dan torsi pada proses penggurdian benda kerja komposit *glass fibre-reinforced polymer* (GFRP). Metode optimasi yang digunakan adalah Taguchi yang digabungkan dengan GRA. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa gerak makan memiliki kontribusi sebesar 76,3% dan kecepatan putar spindel memiliki kontribusi sebesar 22,7% untuk mengurangi variasi terhadap respon secara serentak. Seting kombinasi faktor yang tepat untuk meminimalkan respon secara serentak adalah gerak makan diatur pada 0,16 mm/putaran dan kecepatan putar spindel diatur pada 1600 rpm.

Haq *et al.* (2008) meneliti pengaruh dari faktor proses kecepatan potong, gerak makan dan sudut ujung pahat terhadap respon kekasaran permukaan, gaya potong dan torsi. Material yang digunakan adalah Al/SiC *metal matrix composite*. Metode optimasi yang digunakan adalah Taguchi yang digabungkan dengan GRA. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa sudut ujung pahat memiliki kontribusi sebesar 43,21%, kecepatan potong memiliki kontribusi sebesar 28,64% dan gerak makan memiliki kontribusi sebesar 26,21% untuk mnegurangi variasi terhadap respon secara serentak. Steting kombinasi yang tepat untuk meminimalkan respon secara serentak adalah sudut ujung pahat diasah pada 90°, gerak makan diatur pada 0,2 mm/putaran dan kecepatan potong diatur pada 87,96%.

Suatu penelitian mengenai steting faktor-faktor pada pada pemesinan *drilling* untuk meminimalkan gaya tekan, torsi dan keausan tepi pahat telah dilakukan. Faktor-faktor yang divariasikan adalah kecepatan potong, gerak makan dan sudut ujung pahat. Metode optimasi yang digunakan adalah metode Taguchi yang digabungkan dengan GRA.

Pengembangan yang lebih baru pada pemodelan proses *drilling* dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga (MEH), yang merupakan metode pembagian dari sebuah masalah yang rumit menjadi elemen kecil yang dapat diselesaikan dalam hubungan satu dengan yang lain. Pendekatan MEH digunakan untuk menganalisa pahat agar distribusi tegangan yang terjadi di pahat dapat lebih mudah dimengerti. Perangkat lunak ANSYS dapat digunakan untuk memodelkan distribusi tegangan.

2. Metode Eksperimen dan Fasilitas yang Digunakan

2.1 Bahan Penelitian

1. Benda kerja

Baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja S50C. Baja S50C adalah jenis baja yang memiliki sifat tahan aus dan keuletan yang baik. Baja ini memiliki kekerasan yang berkisar diantara 20 HRC hingga 27 HRC dan digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan komponen mesin seperti poros dan roda gigi serta konstruksi mesin.

2. Pahat *drilling*

Pahat *drilling* yang digunakan terbuat dari material HSS (*High Speed Steel*). Pahat yang digunakan berjenis *twist drill*. Detail geometri pahat ini adalah:

- a. Sudut ujung pahat = 102°, 118° dan 134°
- b. Sudut puntir = 30°
- c. Sudut bebas samping = 19°
- d. Diameter = 14 mm
- e. Mata potong = 2 buah

2.2 Peralatan Penelitian

1. Mesin gurdi yang digunakan adalah jenis mesin gurdi radial konvensional dengan merek KMR-700 DS. Mesin gurdi memiliki putaran mesin 75 – 1250 rpm dan gerak makan 0,07, 0,13 dan 0,22 mm/putaran.
2. Peralatan ukur:
 1. Mistar insut digunakan untuk mengukur dimensi spesimen uji yang memiliki kecermatan 0,02 mm.
 2. *Measurescope* digunakan untuk mengamati keausan tepi pahat dan memiliki kecermatan 1 µm.
 3. Dinamometer yang digunakan adalah dinamometer merek KISTLER tipe 9272. Pengukuran gaya potong dan torsi (Fz, Fy, Fx dan Mz) diukur dengan menggunakan dinamometer

2.3 Rancangan Penelitian Metode Taguchi

Rancangan penelitian menggunakan tiga faktor yang masing-masing memiliki tiga level. Nilai faktor pada masing-masing level ditunjukkan pada Tabel 1.

Matriks ortogonal yang digunakan adalah L₉ yang sesuai dengan metode Taguchi dan ditunjukkan pada Tabel 2. Eksperimen dilakukan secara acak dan replikasi dilakukan sebanyak dua kali.

Tabel 1. Nilai Faktor pada Masing-masing Level

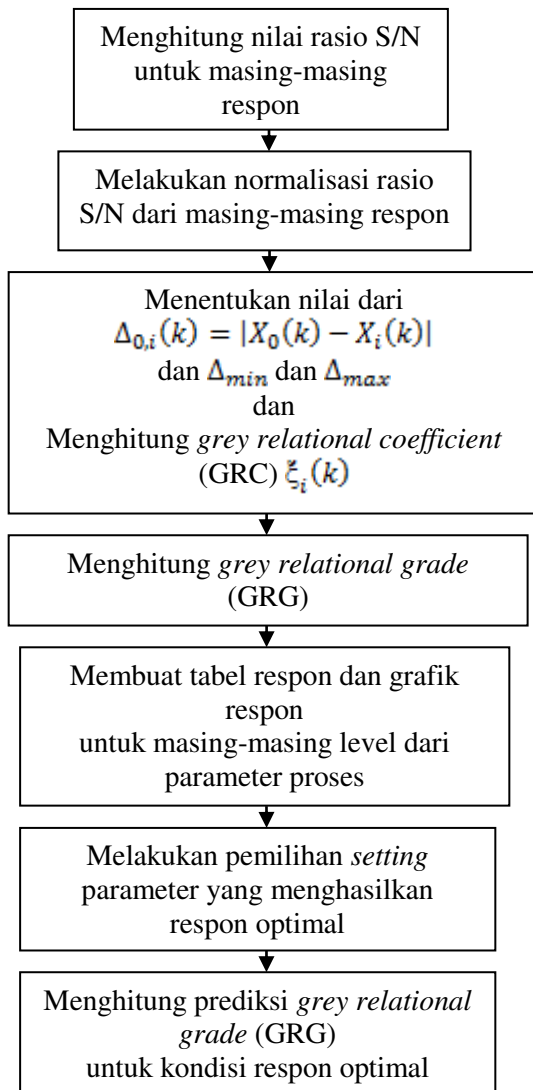
Parameters	Unit	Level		
		1	2	3
Kecepatan potong (v)	m/min	5,98	16,18	29,94
Gerak makan (f)	mm/put	0.07	0.13	0.22
Sudut ujung pahat (PA)	derajat	102	118	134

Tabel 2. Matriks Ortogonal L₉

3. Skema Numerik

3.1 Optimasi dengan Metode Taguchi-Grey

Langkah-langkah proses optimasi dengan menggunakan metode Taguchi-Grey ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Langkah-langkah Optimasi

a. Menghitung Rasio 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 rancangan untuk melakukan transformasi pengulangan data ke dalam suatu nilai yang merupakan ukuran variasi yang timbul. Rasio S/N tergantung dari jenis karakteristik kualitas (Lin dan Lin, 2002). Karakteristik semakin kecil semakin baik adalah karakteristik kualitas dengan batas nilai

No	Kombinasi faktor		
	v	f	PA
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

0 dan non-negatif sehingga nilai yang semakin kecil atau mendekati nol adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

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

b. Menghitung Normalisasi Rasio S/N
Proses normalisasi untuk respon dengan karakteristik “lebih kecil lebih baik” menggunakan persamaan sebagai berikut (Datta dan Mahapatra, 2010):

$$X_i^*(k) = \frac{\max_{v_k} X_i(k) - X_i(k)}{\max_{v_k} X_i(k) - \min_{v_k} X_i(k)} \quad (2)$$

c. Menentukan Deviation Sequence $\Delta_{0,i}(k)$

Deviation sequence $\Delta_{0,i}(k)$ adalah selisih absolut dari nilai terbesar hasil normalisasi, yaitu selisih antara 1 dengan data yang telah dinormalisasi. Penentuan *deviation sequence* dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut (Datta dan Mahapatra, 2010):

$$\Delta_{0,i}(k) = |X_i(k) - X_i^*(k)| \quad (3)$$

d. Menghitung GRC

GRC menunjukkan hubungan antara kondisi yang ideal (terbaik) dengan kondisi aktual dari respon yang dinormalisasi. GRC akan bernilai satu apabila respon yang dinormalisasikan tersebut cocok dengan kondisi yang ideal. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai tersebut adalah (Datta dan Mahapatra, 2010):

$$\zeta_i(k) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_{0,i}(k) + \zeta \Delta_{max}} \quad (4)$$

Dengan:

$$\Delta_{min} = \min_i \min_k \Delta_{0,i}(k)$$

$$\Delta_{max} = \max_i \max_k \Delta_{0,i}(k)$$

$\zeta = distinguishing\ coefficient.$

Pada umumnya nilai *distinguishing coefficient* diatur berdasarkan kebutuhan dan besarnya antara 0 dan 1. Nilai *distinguishing coefficient* yang digunakan pada umumnya adalah 0,5 (Tosun *et al.*, 2004). Nilai GRG yang tinggi menunjukkan bahwa hasil eksperimen memiliki hubungan yang dekat dengan nilai normalisasi yang terbaik pada respon tersebut.

e. Kombinasi Faktor untuk Respon Optimal

Penentuan kombinasi faktor terbaik dilakukan dengan membuat tabel dan grafik respon dari GRG yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Respon GRG

	Level 1	Level 2	Level j
Parameter 1	Y_{11}	-	Y_{1j}
Parameter 2	Y_{21}	-	Y_{2j}
-			
Parameter i	Y_{i1}	-	Y_{ij}
Max-Min	Q_1		Q_j

Y_{ij} adalah rata-rata nilai GRG yang dikelompokkan berdasarkan parameter i dan level j . Grafik respon dibuat berdasarkan tabel respon untuk memudahkan pemilihan level dari faktor yang menghasilkan respon yang optimal.

f. Prediksi Nilai GRG Hasil Optimalisasi

Nilai prediksi GRG berdasarkan kombinasi level dari faktor untuk menghasilkan respon yang optimal dapat dirumuskan sebagai berikut (Lin dan Lin, 2002):

$$\hat{\gamma} = \gamma_m + \sum_{i=1}^o (\bar{\gamma}_i - \gamma_m) \quad (5)$$

Dengan:

γ_m = nilai rata-rata dari keseluruhan GRG

$\bar{\gamma}_i$ = rata-rata GRG pada level optimal

o = jumlah faktor yang mempengaruhi respon secara signifikan

3.2. Persen Kontribusi

Persen kontribusi digunakan untuk mengindikasikan kekuatan relatif sebuah faktor dan/atau interaksi untuk mengurangi variasi yang terjadi. Perhitungan persen kontribusi pada dasarnya adalah fungsi dari jumlah

kuadrat dari masing-masing faktor yang signifikan.

Komponen-komponen yang dihitung dalam persen kontribusi adalah faktor, interaksi faktor, dan *error*. Jika persen kontribusi *error* kurang dari 15%, maka berarti tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan. Tetapi jika persen kontribusi *error* lebih dari 15%, maka ada faktor yang berpengaruh terabaikan, sehingga *error* yang terjadi terlalu besar. Persen kontribusi suatu faktor dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Ross, 2008):

$$P = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \quad (6)$$

Dengan:

$$SS'_A = SS_A - v_A \cdot MS_E \quad (7)$$

Dengan:

SS_A = jumlah kuadrat dari faktor yang dihitung persen kontribusinya

SS_T = jumlah kuadrat total

v_A = derajat kebebasan dari faktor yang dihitung persen kontribusinya

MS_E = rata-rata kuadrat dari faktor *error*

3.3 Interval Keyakinan

3.3.1 Interval Keyakinan Kondisi Optimum

Interval keyakinan $(1-\alpha)$ 100% untuk kondisi optimum adalah (Ross, 2008):

$$CI_1 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;v_E} \cdot MS_E}{n_{eff}}} \quad (8)$$

Dengan:

$\hat{\mu}_{prediksi}$ = dugaan rata-rata GFRG pada kombinasi optimal

n_{eff} = banyaknya pengamatan efektif

$$n_{eff} =$$

$\frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan faktor-faktor}}$

$$(9)$$

3.3.2 Interval Keyakinan Eksperimen Konfirmasi

Interval keyakinan untuk eksperimen konfirmasi adalah (Ross, 2008):

$$CI_2 = \sqrt{F_{\alpha;1;v_E} \cdot MS_E \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]} \quad (10)$$

Dengan:

r = jumlah pengulangan dalam eksperimen

No	Kombinasi faktor			F_z (N)	M_z (Nm)	VB (mm)
	v	f	PA			
1	1	1	1	1966,5	7,55	0,17
2	1	2	2	2954,5	11,13	0,149
3	1	3	3	5024,5	17,12	0,086
4	2	1	2	2237,5	7,15	0,107
5	2	2	3	2579,5	10,23	0,082
6	2	3	1	3892,5	17,42	0,102
7	3	1	3	1556	6,33	0,102
8	3	2	1	2675,5	11,06	0,105
9	3	3	2	3727	17,20	0,065

konfirmasi

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil Eksperimen Pengukuran

Hasil eksperimen pengukuran gaya tekan, torsi dan keausan tepi pahat ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Eksperimen Pengukuran

4.2 Menghitung Rasio S/N

Perhitungan nilai rasio S/N dilakukan berdasarkan pada persamaan 1. Hasil perhitungan nilai rasio S/N masing-masing respon pada setiap kombinasi faktor ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rasio S/N untuk masing-masing respon

No	SNRA_ F_z	SNRA_ M_z	SNRA_ VB
1	-65,8739	-17,5566	15,3910
2	-69,4097	-20,9299	16,5363
3	-74,0219	-24,6701	21,3100
4	-66,9953	-17,0843	19,4123

No	ξ_{F_z}	ξ_{M_z}	ξ_{VB}
1	0,1997	0,1741	1,0000
2	0,5470	0,5577	0,8629
3	1,0000	0,9831	0,2912
4	0,3099	0,1204	0,5184
5	0,4312	0,4744	0,2417
6	0,7822	1,0000	0,4687
7	0,0000	0,0000	0,4687
8	0,4624	0,5511	0,4988
9	0,7452	0,9877	0,0000

5	-68,2307	-20,1975	21,7237
6	-71,8046	-24,8185	19,8280
7	-63,8402	-16,0260	19,8280
8	-68,5481	-20,8712	19,5762
9	-71,4272	-24,7106	23,7417

4.3 Melakukan Normalisasi rasio S/N

Perhitungan normalisasi dilakukan berdasarkan persamaan 2. Hasil perhitungan normalisasi rasio S/N masing-masing respon untuk setiap kombinasi faktor dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Normalisasi rasio S/N untuk masing-masing respon.

4.4 Menentukan Deviation Sequence $\Delta_{0,i}(k)$

Perhitungan *deviation sequence* $\Delta_{0,i}(k)$ dilakukan berdasarkan persamaan 3. Hasil perhitungan *deviation sequence* $\Delta_{0,i}(k)$ dari masing-masing respon untuk setiap kombinasi faktor ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Deviation Sequence $\Delta_{0,i}(k)$

No	delta_ F_z	delta_ M_z	delta_ VB
1	0,8003	0,8259	0,0000
2	0,4530	0,4423	0,1371
3	0,0000	0,0169	0,7088
4	0,6901	0,8796	0,4816
5	0,5688	0,5256	0,7583
6	0,2178	0,0000	0,5313
7	1,0000	1,0000	0,5313
8	0,5376	0,4489	0,5012
9	0,2548	0,0123	1,0000

4.5 Menghitung GRC

Perhitungan GRC didasarkan pada nilai *deviation sequence* $\Delta_{0,i}(k)$ dan persamaan 4 serta perhitungan GRG dilakukan dengan merata-ratakan nilai GRC pada masing-masing respon. Hasil perhitungan GRC dan GRG masing-masing respon untuk setiap kombinasi faktor ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. GRC dan GRG

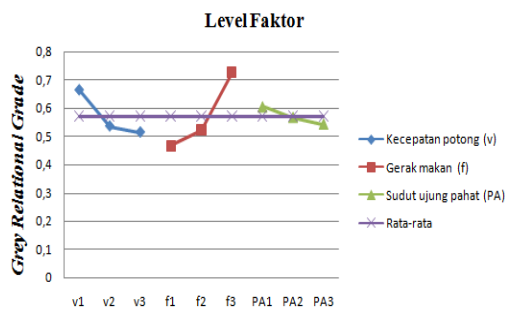
4.6 Membuat Tabel Kombinasi Faktor untuk Respon Optimum

Perhitungan nilai rata-rata GRG digunakan untuk menentukan kombinasi level dari faktor. Perhitungan nilai rata-rata GRG ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Nilai Rata-rata GRG pada Masing-masing Level Faktor

Faktor Proses	Level 1	Level 2	Level 3
Kecepatan potong	0,6647	0,5362	0,5146
Gerak makan	0,4672	0,5223	0,7260
Sudut ujung pahat	0,6057	0,5671	0,5428

Grafik yang digunakan untuk menunjukkan nilai rata-rata GRG pada masing-masing level dari faktor proses, yaitu kecepatan potong, gerak makan dan sudut ujung pahat ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Nilai Rata-rata GRG pada Masing-masing Level dari Faktor

Nilai rata-rata GRG yang terbesar pada level dari faktor dipilih sebagai penentuan kombinasi level dari faktor untuk respon optimum. Kombinasi level tersebut ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Kombinasi Faktor untuk Respon Optimum

Faktor	Tingkat Level	Nilai Level
Kecepatan potong	Level 1	5,98 m/menit
Gerak makan	Level 3	0,22 mm/putaran
Sudut ujung	Level 1	102°

No	GRC_Fz	GRC_Mz	GRC_VB	GRG
1	0,3845	0,3771	1,0000	0,5872
2	0,5247	0,5306	0,7848	0,6134
3	1,0000	0,9673	0,4136	0,7937
4	0,4201	0,3624	0,5094	0,4306
5	0,4678	0,4875	0,3973	0,4509
6	0,6966	1,0000	0,4848	0,7271
7	0,3333	0,3333	0,4848	0,3838
8	0,4819	0,5269	0,4994	0,5027
9	0,6624	0,9760	0,3333	0,6573

pahat

4.7 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi

Analisis variansi (ANOVA) digunakan pada faktor yang memiliki level lebih dari dua dan untuk mengetahui faktor yang memiliki pengaruh secara signifikan terhadap respon, serta menunjukkan besarnya kontribusi faktor terhadap respon. Pada penelitian ini, analisis variansi dilakukan pada GRG yang merupakan respon yang mewakili keseluruhan respon. Hasil perhitungan ANOVA dan persen kontribusi ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. ANOVA dan Persen Kontribusi

Faktor	DF	SS	MS	F	Persen kontribusi (%)
v	2	0,0395	0,0198	192,233	24,98
f	2	0,1115	0,0558	541,7476	70,75
PA	2	0,0060	0,0030	29,1262	3,68
Error	2	0,0002	0,0001		0,58
Total	8	0,1573			100,00

4.8 Interval Keyakinan

Perhitungan prediksi nilai GRG dengan menggunakan persamaan 5 dijabarkan sebagai berikut:

$$\hat{\mu} = \gamma_m + \sum_{i=1}^o (\bar{y}_i - \gamma_m)$$

$$\hat{\mu} = 0,572 + (0,6647 - 0,572) + (0,7260 - 0,572) + (0,6057 - 0,572)$$

$$\hat{\mu} = 0,8527$$

Dengan demikian, nilai GRG yang dihitung untuk menghasilkan respon yang optimum dari kombinasi faktor adalah 0,8527.

Perhitungan banyaknya pengamatan efektif (n_{eff}) dilakukan terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan 9, kemudian perhitungan interval keyakinan untuk kondisi optimum dilakukan sesuai dengan persamaan 8. Perhitungan n_{eff} adalah, sebagai berikut:

$$n_{\text{eff}} = \frac{9 \times 2}{1 + (2 + 2 + 2)}$$

$$n_{\text{eff}} = 2,57$$

Perhitungan interval keyakinan untuk kondisi optimum memerlukan nilai F dan MS_E . Nilai F adalah $F_{(0.05;1;2)} = 18,51$ dan nilai MS_E berdasarkan pada Tabel 11 yaitu 0,0001. Perhitungan interval keyakinan untuk kondisi optimum dijabarkan adalah, sebagai berikut:

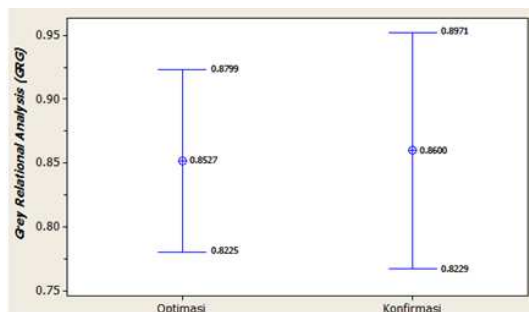
$$CI_1 = \sqrt{\frac{18,51 \times 0,0001}{2,57}}$$

$$CI_1 = \pm 0,0272$$

Dengan demikian, interval keyakinan 95% untuk rata-rata GRG pada kombinasi yang optimal (GRG prediksi) adalah $0,8527 \pm 0,0272$ atau $0,8255 \leq GRG_{\text{prediksi}} \leq 0,8799$.

4.9 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi bertujuan untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang diperoleh dan dilakukan dengan menggunakan kombinasi faktor yang dihasilkan dari hasil optimasi. Hasil eksperimen konfirmasi pada masing-masing respon yaitu gaya tekan sebesar 4250,3 N, torsi sebesar 18,45 Nm dan keausan tepi pahat sebesar 0,151 mm. Nilai rata-rata GRG eksperimen konfirmasi adalah 0,8600. Nilai rata-rata GRG kombinasi optimum dan eksperimen konfirmasi diplot bersamaan pada Gambar 3.



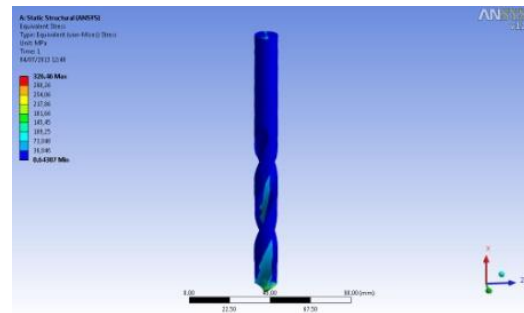
Gambar 3. Plot Interval Keyakinan 95%

Hasil Optimasi dan Eksperimen Konfirmasi Berdasarkan Gambar 3, nilai rata-rata eksperimen konfirmasi berada didalam interval nilai prediksi. Dengan demikian, dapat

disimpulkan bahwa seting kombinasi level faktor pada kondisi optimum yang telah didapat adalah valid.

4.10 Simulasi ANSYS

Nilai rata-rata gaya tekan pada kombinasi optimum sebesar 4250,3 N dijadikan input pada simulasi distribusi tegangan dengan menggunakan *software* ANSYS. Hasil simulasi tersebut menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi pada ujung pahat drilling sebesar 326,46 MPa. Hasil simulasi pahat drilling ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil simulasi ANSYS

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

1. Kontribusi faktor dalam mengurangi variasi respon secara serentak adalah kecepatan potong (v) sebesar 24,98%, gerak makan (f) sebesar 70,75% dan sudut ujung pahat (PA) sebesar 3,68%.
2. Seting yang tepat dari kombinasi faktor adalah kecepatan potong (v) pada level pertama yaitu 5,98 m/menit. Gerak makan (f) pada level ketiga yaitu 0,22 mm/putaran. Sudut ujung pahat (PA) pada level pertama yaitu 102°.
3. Tegangan maksimal yang terjadi adalah 326,46 MPa pada posisi ujung pahat gurdi

5. REFERENSI

Datta, S. and S. S, Mahapatra, (2010). Modeling, Simulation and Parametric Optimization of Wire EDM Process using Response Surface Methodology Coupled with Grey-Taguchi Technique. *International Journal of Engineering*,

- Science and Technology*, 2(5): p. 162-183.
- Deng, J., (1989). Introduction to Grey System. *Journal of Grey System*, 1: p. 1–24.
- Haq, N. A., P. Marimuthu, and R. Jeyapul, (2008). Multi response optimization of machining parameters of drilling Al/SiC metal matrix composite using grey relational analysis in the Taguchi method. *The International Journal of Advanced Manufacture Technology*, 37: p. 250-255.
- Lin, J. L. and C. L. Lin, (2002). The Use of Orthogonal Array with Grey Relational Analysis to Optimize the Electrical Discharge Machining Process with Multiple Performance Characteristics. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42: p. 237–244.
- Ranganathan, S., T. Senthilvelan, and S. Gopalakannan, (2012). Multiple Performance Optimization in Drilling of GFRP Composites Using Grey Analysis. *IEEE-International Conference On Advances In Engineering, Science And Management (ICAESM-2012)*.
- Ross, P. J., (2008). *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, McGraw Hill Companies, Inc., Taiwan.
- Tosun, N., C. Cogun, and G. Tosun, (2004). A Study on Kerf and Material Removal Rate in Wire Electrical Discharge Machining based on Taguchi Method. *Journal of Materials Processing Technology*, 152: p. 316-322.