

Optimasi Kepresisian Geometri Ulir Menggunakan Metode Taguchi-Grey Relation Analysis

Gusri Akhyar Ibrahim, Arinal Hamni, Muhamad Daud Aria Falah
Teknik Mesin Universitas Lampung
Jl. Soemantri Brodjonegoro No 1 Bandar Lampung
E-mail: gusri.akhyar@eng.unila.ac.id

Abstract

Taguchi method is widely used on the optimization process of single response, meanwhile to solve the multi-response case of optimization process, Grey Relation Analysis (GRA) method can be used. Grey Relation Analysis Method can be simplified the multi-response process by changing it into a single response. The Geometrically error of magnesium threads on machining process be affected by diameter of workpiece, depth of cut, and spindle speed. This research examines response of Pitch error, Height threads error, and Angle threads error on external threads of Metric standard threads M1,5 using 3 levels of 3 factors, then processing the data with Taguchi-GRA method. This research using Diameter of workpiece at 10, 14, 18 mm, depth of cut at 0,23, 0,3067, 0,46 mm and the spindle speed is 212, 318, 424 rpm. The optimal results obtained on combination of factors with diameter by 10 mm, depth of cut by 0,46 mm and spindle speed by 424 rpm, this combination obtained error of the pitch as 0,012667 mm, error of the height as 0,03833 mm and error of the angle as 1,5367°. Factors that significantly affecting the response is Spindle speed with 56,66% and diameter of workpiece with 25,85%.

Keywords: Grey Relation Analysis, Taguchi Method, Threading Magnesium, Geometrically Precision of Threads.

Abstrak.

Metode Taguchi telah digunakan secara luas dalam proses optimasi terhadap suatu respon tunggal, sedangkan untuk menyelesaikan proses optimasi multi-respon dapat digunakan Metode Grey Relation Analysis (GRA). Metode Grey Relation Analysis (GRA) dapat mensimplifikasi proses multi-respon dengan mengubahnya kedalam respon tunggal. Kesalahan geometri ulir magnesium pada pemesian bubut ulir dipengaruhi oleh diameter benda uji, kedalaman potong, dan kecepatan putar. Penelitian ini meneliti respon kesalahan pitch, kesalahan tinggi, dan kesalahan sudut ulir pada bentuk ulir luar metrik M1,5 dengan 3 level dan 3 faktor lalu pengolahan datanya menggunakan proses optimasi Taguchi-GRA. Penelitian ini menggunakan diameter benda kerja ulir digunakan 10, 14, 18 mm, kedalaman potong 0,23, 0,3067, 0,46 mm dan kecepatan putar 212, 318, 424 rpm. Hasil optimal didapatkan pada kombinasi kondisi pemotongan dengan faktor diameter 10 mm, kedalaman 0,46 mm dan kecepatan spindel 424 rpm, dimana respon kesalahan pitchnya 0,012667 mm, kesalahan tinggi 0,03833 mm, dan kesalahan sudut 1,5367°. Faktor yang berpengaruh signifikan yaitu kecepatan putar 56,66 % dan diameter benda kerja 25,85%.

Kata kunci: Grey Relational Analysis, Metode Taguchi, Bubut Ulir Magnesium, Kepresisian Geometri Ulir.

PENDAHULUAN

Magnesium adalah unsur yang sangat berlimpah di alam, yaitu sekitar 2% dari berat kerak bumi dan merupakan unsur yang paling banyak ketiga terlarut dalam air laut. Magnesium ditemukan dalam bentuk mineral penting didalam bebatuan [7]. Magnesium dikenal sebagai bahan baku yang ringan, dimana massa jenisnya hanya sebesar 1,8 g/cm³, nilai tersebut merupakan yang paling kecil diantara logam lain, seperti baja dan aluminium. Magnesium dan paduannya telah digunakan secara luas dalam industri otomotif, karna bobotnya yang ringan dapat mengurangi berat dari komponen yang akan dibuat [3].

Kelebihan lain dari magnesium yaitu memiliki *mechanical properties* yang sangat baik, kemampuan pemesian yang baik, memiliki tingkatan kadar elektromagnetis yang baik, stabilitas dimensi yang tinggi, memiliki *power to weight ratio* yang tinggi, dan kemampuan menahan korosi yang baik [4]. Dengan berbagai kelebihan dari magnesium dan ketersediaan jumlahnya yang melimpah di alam, maka pengembangan magnesium sebagai bahan baku alternatif besi/baja sangatlah menjanjikan.

Namun dengan berbagai kelebihan tersebut, magnesium juga memiliki beberapa kelemahan. Salah satu kelemahannya yaitu kekuatan tariknya rendah sehingga harus dipadu dengan bahan logam

lain. Magnesium biasanya dipadu dengan bahan aluminium dan seng untuk menaikkan kekuatan tarikannya, magnesium paduan yang sangat elastis dan banyak digunakan saat ini adalah magnesium AZ31. Kelemahan lain dari magnesium yaitu mudah sekali terbakar ketika dimesin karena titik nyalanya yang rendah, magnesium dapat terbakar ketika temperatur pemotongan melewati titik leleh material yaitu pada 400°C - 600°C [1].

Proses pemesinan bubut dipengaruhi banyak faktor seperti parameter pemotongan kedalaman makan dan kecepatan potong. penelitian oleh Feny Setiawan [8] tentang karakterisasi titik nyala magnesium, dengan judul Karakterisasi penyalan magnesium AZ31 pada proses bubut menggunakan aplikasi *thermografi*. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan gerak makan yang rendah (0,05 mm/rev) serta kedalaman penyayat rendah (0,05 mm) memungkinkan terjadi penyalan lebih besar ketimbang gerak makan dan kedalaman penyayat tinggi, serta kecepatan potong yang tinggi akan memungkinkan terjadinya nyala pada proses pemesinan.

Penelitian lain terkait pemesinan bubut magnesium oleh Liwei et al., [5] dengan judul *High speed cutting of AZ31 magnesium alloy*. Pada penelitian ini didapat kesimpulan sebagai berikut: kedalaman lapisan stress berkurang dengan bertambahnya kecepatan pemotongan, tingkat kekerasan menurun dari tepian menuju ke area tengah dalam kondisi tertentu, dan kekasaran menurun seiring menurunnya kecepatan potong namun bertambah seiring pertambahan kedalaman dan laju pemakanan.

Para peneliti selama beberapa tahun belakangan mulai menyelidiki pemanfaatan magnesium sebagai material *biomedic*. Dengan memanfaatkan magnesium sebagai material komponen *Joint* pada *implant orthopedic* (dunia medis terkait tulang). Faktor utama digunakannya magnesium, karena mechanical property-nya yang sangat mirip dengan tulang asli dan mampu mengurangi fenomena stress pada tulang, serta dapat luruh di dalam tubuh [2]. Dalam bidang *biomedic* komponen ulir merupakan komponen yang sangat penting pada proses implantasi tulang. Hal inilah yang menunjukkan bahwa pengembangan magnesium sebagai bahan material untuk komponen ulir *biomedic* sangat menjanjikan, tetapi untuk mendapatkan kualitas ulir magnesium yang baik harus dilakukan pemilihan parameter pemotongan yang tepat.

Alan Suseno [9] meneliti tentang pemesinan ulir pada magnesium dengan judul Pengaruh parameter pemotongan terhadap geometri dan kepresisian ulir pada proses *threading* magnesium paduan AZ31, menggunakan kecepatan spindle 212, 318, 424 rpm, dan kedalaman potong 0,30667, 0,46, 0,6133 mm. Didapat kesimpulan semakin tinggi nilai

kedalaman potong maka semakin rendah nilai kesalahan pitch, semakin tinggi nilai kesalahan sudut ulir, dan semakin kasar bentuk permukaan profil. Disisi lain, semakin tinggi nilai kecepatan spindle seiring dengan semakin tinggi nilai kesalahan pitch, semakin tinggi nilai kesalahan sudut ulir, dan semakin rendah kekasaran permukaan ulir pada magnesium paduan AZ31.

Proses pemesinan magnesium untuk mendapatkan kualitas produk yang baik dibutuhkan proses optimasi. Proses optimasi dapat melibatkan respon tunggal maupun multi respon. Ketika percobaan yang dilakukan melibatkan multi respon, maka seluruh respon tersebut harus dioptimasi secara simultan. Metode optimasi yang banyak digunakan yaitu metode Taguchi, aplikasi dan teori dari metode ini pada awalnya hanya untuk mengoptimasi respon tunggal [6]. Sementara untuk mengoptimasi kondisi multi respon dapat digunakan metode *Grey Relation Analysis*, dimana metode ini men-simplifikasi proses yang rumit dalam optimasi data karakteristik multi respon dengan cara mengubahnya menjadi suatu respon tunggal yang disebut *Grey relation grade*.

Uraian-uraian tentang penelitian terdahulu diatas yang menjadi acuan penulis dalam mengangkat topik Optimasi parameter pemesinan *threading* terhadap kepresisian geometri ulir magnesium AZ31 menggunakan Metode Taguchi-*Grey relation analysis*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kombinasi parameter pemotongan yang menghasilkan kepresisian geometri ulir magnesium paling optimal dengan melakukan proses optimasi Metode Taguchi-Grey Relational Analysis.

METODE

Penelitian dilakukan dengan mesin Bubut CNC (gambar 1) dengan mata pahat ISO 16ER AG60 (gambar 2). Penelitian ini akan membuat komponen ulir luar dengan material magnesium AZ31 menggunakan *design of experiment* yaitu Taguchi L9, dengan variasi kecepatan putaran spindle 212, 318, 424 rpm dan kedalaman potong 0,23, 0,3067, 0,46 mm, serta diameter ulir M18×1,5, M14×1,5, M10×1,5. Respon pengamatan nya yaitu kesalahan pitch, kesalahan tinggi ulir dan kesalahan sudut ulir.



Gambar 1. mesin bubut CNC



Gambar 2. pahat 16ER AG60



Gambar 3. magnesium AZ31

Tabel 1. orthogonal array L9

No	Diameter	Kedalaman potong	Kecepatan putar
1	10	0.23	212
2	10	0.3067	318
3	10	0.46	424
4	14	0.23	318
5	14	0.3067	424
6	14	0.46	212
7	18	0.23	424
8	18	0.3067	212
9	18	0.46	318

Tahapan dari pengolahan data direncanakan dengan terlebih dahulu melakukan *taguchi analysis* untuk mencari kombinasi optimal dari semua faktor untuk setiap respon, dengan mencari *Signal Noise Ratio* (SNR). SNR untuk ketiga respon tersebut sama yaitu *Smaller-the-Better* (STB). Rumus yang dipakai adalah :

- a. Menghitung SN Ratio sesuai dengan metode Taguchi :

$$SNR_{STB} = -10\log[Xi(j)^2] \quad (1)$$

Dimana ;

$Xi(j)$ = nilai eksperimen ke -i pada respon ke-j

- b. Melakukan normalisasi SN Ratio.
 Besar nilai normalisasi SNR antara 0 sampai 1.
 Persamaan yang dipakai untuk normalisasi adalah :

$$Xi^*(j) = \frac{Xi(j) - \min Xi(j)}{\max Xi(j) - \min Xi(j)} \quad (2)$$

Dimana :

$Xi^*(j)$ = nilai normalisasi SNR pada percobaan ke- i dan respon ke-j

$Xi(j)$ = nilai eksperimen ke -i pada respon ke-j

i = banyaknya percobaan

j = banyaknya respon

- c. Menghitung nilai delta

Menghitung jarak $\Delta oi(j)$ yang merupakan nilai absolut dari selisih antara nilai maksimum hasil normalisasi $Xo^*(j)$ dengan data yang telah dinormalisasi $Xi^*(j)$ pada titik j.

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\Delta oi(j) = |Xo^*(j) - Xi^*(j)| \quad (3)$$

Dimana :

$Xo^*(j) = 1$ (nilai terbesar normalisasi S/N Ratio diinversikan sebesar 1)

- d. Menghitung nilai gamma (*Grey Relational Coefficient* / GRC). GRC menunjukkan hubungan antara kondisi terbaik dengan kondisi aktual dari respon yang dinormalisasi. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai GRC adalah sebagai berikut :

$$\xi i(k) = \frac{\Delta min + \zeta \Delta maks}{\Delta oi(j) + \zeta \Delta maks} \quad (4)$$

Dimana :

Δmin = nilai minimum dari $\Delta oi(j)$

$\Delta maks$ = nilai maksimum dari $\Delta oi(j)$

ζ = koefisien pembeda, biasanya diambil nilai 0,5

- e. Menghitung *Grey Relational Grade*

Rumus yang dipakai adalah :

$$\Gamma oi(j) = \sum_{j=1}^n \beta_j \gamma oi(j) \quad (5)$$

Dimana :

β_j menggambarkan nilai bobot ke-j dari karakteristik respon dan nilai bobot diperoleh dari nilai vektor eigen komponen utama terpilih yang dikuadratkan. Misalkan komponen utama yang terpilih adalah komponen utama 1.

$\beta_j = a_{ij}^2$, dengan $a_{11}^2 + a_{12}^2 + \dots + a_{1k}^2 = 1$

Sedangkan :

a11 : nilai pertama dari vektor eigen 1

a12 : nilai kedua dari vektor eigen 1

a1k : nilai ke-k dari vektor eigen 1

- f. Menghitung nilai prediksi

Nilai GRG kombinasi faktor yang tidak ada dalam kombinasi run order metode Taguchi dapat diprediksi dengan rumus :

$$\hat{\gamma} = \gamma_m + \sum_{i=1}^k (\bar{\gamma}_i - \gamma_m) \quad (6)$$

Dimana :

$\hat{\gamma}$ = Nilai prediksi GRG

γ_m = Nilai total rata-rata GRG

$\bar{y}_i$ = Nilai rata-rata GRG pada tiap optimal level

k = jumlah parameter atau faktor yang berpengaruh.

Selanjutnya dilakukan ANOVA terhadap *Grey Relational Grade* untuk mengetahui faktor mana yang berpengaruh signifikan terhadap respon GRG.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian hanya dilakukan 1 kali (tanpa replikasi) pada tiap kondisi pemotongan yang dipilih. Pengukuran dilakukan pada 3 titik di masing-masing *workpiece* lalu dirata-ratakan. Nilai rata-rata tersebut kemudian diselisihkan terhadap harga standarisasi ulir Isometrik. Kemudian didapatkan nilai respon karakteristik kepresisian geometri ulir seperti pada Tabel 2. Berikutnya akan dilakukan proses optimasi untuk mendapatkan kombinasi parameter pemotongan yang optimum dari 3 parameter yang digunakan.

Tabel 2. Data hasil pengujian

No	Kesalahan <i>pitch</i> (mm)	Kesalahan tinggi(mm)	Kesalahan sudut (°)
1	0.037167	0.15420	0.4433
2	0.026833	0.07100	0.6933
3	0.012667	0.03833	1.5367
4	0.032167	0.04883	1.3633
5	0.020833	0.02617	1.7600
6	0.040333	0.15533	1.6400
7	0.030833	0.04033	0.8300
8	0.041500	0.07267	0.6733
9	0.034000	0.16150	1.8833

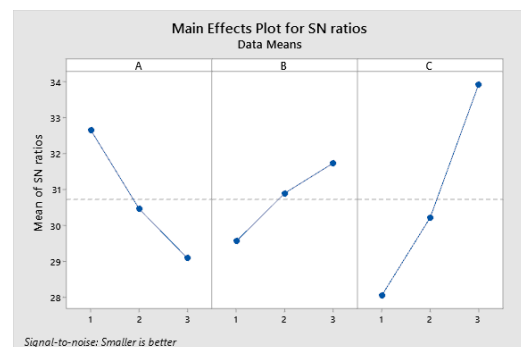
Setelah diperoleh data pengujian kemudian dilakukan proses optimasi untuk mendapatkan harga S/N rasio menggunakan Metode Taguchi pada masing-masing respon yaitu kesalahan *pitch*, kesalahan tinggi ulir dan kesalahan sudut. Data karakteristik dari ketiga respon adalah *Smaller is Better*.

Tabel 3. S/N rasio respon

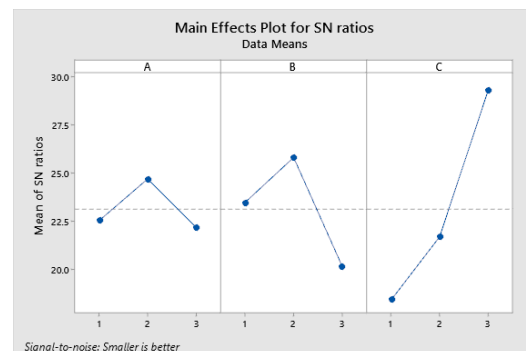
SNRA tinggi	SNRA <i>pitch</i>	SNRA sudut
16.2383	28.5968	7.0660
22.9748	31.4266	3.1816
28.3292	37.9465	-3.7318

lanjutan

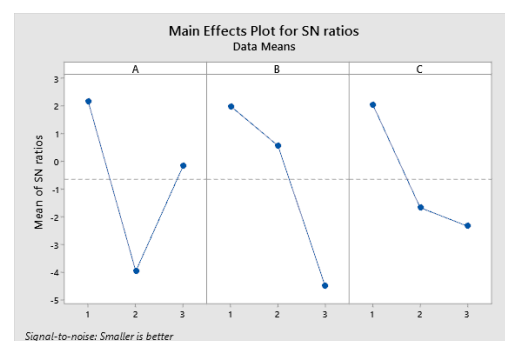
26.2263	29.8518	-2.6918
31.6439	33.6250	-4.9103
16.1749	27.8868	-4.2969
27.8874	30.2197	1.6184
22.7729	27.6390	3.4358
15.8365	29.3704	-5.4984



Gambar 4. Grafik kesalahan Pitch



Gambar 5. Grafik kesalahan tinggi ulir



Gambar 6. Grafik kesalahan sudut

Tabel 4. Kombinasi optimal terhadap respon

Respon	Faktor optimal		
Ksl Pitch(mm)	A1	B3	C3
Ksl Tinggi(mm)	A2	B2	C3
Ksl Sudut(°)	A1	B1	C1

Metode Taguchi merupakan metode optimasi yang biasanya digunakan dalam kasus single response. Metode taguchi dapat diterapkan dalam kasus dengan respon pengamatan jamak (multi response) namun pengambilan keputusan menjadi sulit dikarenakan perbedaan kesimpulan pada tiap respon, maka dengan menggunakan metode *Grey Relation Analysis* hal ini dapat diatasi. Maka selanjutnya akan dilakukan penghitungan *Grey Relational Analysis*. Perhitungan normalisasi SNR dapat dilihat pada tabel 5, perhitungan nilai GRC pada tabel 6.

Tabel 5. Normalisasi S/N rasio

No.	Kesalahan <i>pitch</i>	Kesalahan tinggi	Kesalahan sudut
1	0.0929	0.0254	1.0000
2	0.3675	0.4516	0.6908
3	1.0000	0.7903	0.1406
4	0.2147	0.6573	0.2234
5	0.5807	1.0000	0.0468
6	0.0240	0.0214	0.0956
7	0.2504	0.7624	0.5664
8	0.0000	0.4388	0.7111
9	0.1680	0.0000	0.0000

Tabel 6. Nilai GRC

No.	Kesalahan <i>pitch</i>	Kesalahan tinggi	Kesalahan sudut
1	0.3553	0.3391	1.0000
2	0.4415	0.4769	0.6179
3	1.0000	0.7045	0.3678
4	0.3890	0.5933	0.3917
5	0.5439	1.0000	0.3441
6	0.3388	0.3382	0.3560
7	0.4001	0.6778	0.5356
8	0.3333	0.4712	0.6338
9	0.3754	0.3333	0.3333

Kemudian data GRC digabungkan menjadi suatu respon tunggal Grey Relation Grade (GRG). Data GRG ditampilkan pada tabel 7.

Tabel 7. Nilai Respon Tunggal GRG

No.	GRG	Rank
1	0.5648	3
2	0.5121	5
3	0.6908	1
4	0.4580	7
5	0.6293	2
6	0.3443	9
7	0.5378	4
8	0.4794	6
9	0.3473	8

Dari tabel diatas dapat diketahui nilai GRG terbesar ada di pengujian ketiga, sehingga initial parameter ada pada kombinasi faktor A1 B3 C3. Selanjutnya dapat dicari nilai rata-rata GRG untuk menentukan kondisi optimal tiap faktor. Hasil perhitungan nilai rata-rata GRG dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Nilai Optimal GRG

Level	A	B	C
1	0.5892	0.5202	0.4628
2	0.4772	0.5403	0.4391
3	0.4549	0.4608	0.6193
Delta	0.1344	0.0795	0.1802
Rank	2	3	1
Total mean value 0.5071			

Dari tabel diketahui jika faktor percobaan disetting pada A1 B2 C3 maka akan didapatkan kesalahan yang paling kecil. Setelah GRG dan nilai optimal dari faktor gabungan didapatkan, dilakukan ANOVA untuk mengetahui signifikansi atau pengaruh paling besar dari faktor-faktor tersebut. Dengan software Minitab didapat hasil seperti di dalam tabel 9.

Tabel 9. Anova GRG

Source	Df	Seq ss	Adj ss	Adj Ms	F	P
Diameter ulir	2	0.031100	0.031100	0.015550	3.34	0.231
Kedalaman potong	2	0.010247	0.010247	0.005123	1.10	0.476
Kecepatan putar	2	0.057505	0.057505	0.028753	6.17	0.140
Error	2	0.009324	0.009324	0.004662		
total	8	0.108176				

Dengan $F_{\text{tabel}} = F(0,05; 2; 9) = 4,256$, dari data diatas terlihat bahwa faktor berpengaruh signifikan terhadap respon GRG yaitu faktor kecepatan putar (berpengaruh sebesar 53,16%), sedangkan faktor kedalaman makan (sebesar 9,47 %) dan diameter ulir (sebesar 28,75%) tidak signifikan berpengaruh terhadap GRG karena F value-nya lebih kecil dari F_{tabel} .

Dari GRA didapat nilai optimal A1 B2 C3. Untuk mengetahui prediksi nilai GRA yang dari kombinasi tersebut dapat dilakukan dengan memakai persamaan 6. Selanjutnya dilakukan tes konfirmasi untuk kombinasi faktor A1 B2 C3.

Tes konfirmasi dilakukan dengan kombinasi A1 B2 C3. Hasil dari tes konfirmasi dapat dilihat pada tabel 10. Hasil lengkap nilai optimal dari prediksi maupun tes konfirmasi dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 10. Hasil konfirmasi tes

Respon	Hasil pengukuran
Kesalahan <i>pitch</i>	0.00834 mm
Kesalahan tinggi	0.02767 mm
Kesalahan sudut	1.14°

Tabel 11. Nilai faktor optimal

Eksperimen	Inisial	Desain Optimal	
		<i>Predicted</i>	Tes Konfirmasi
Faktor Optimal	A1B3C3	A1B2C3	A1B2C3
Kesalahan <i>pitch</i>	0.012667 mm	-	0.00834 mm
Kesalahan tinggi	0.03833 mm	-	0.02767 mm
Kesalahan sudut	1.5367°	-	1.37°
GRG	0.6908	0.7346	0.7776
Selisih GRG		6.34%	12,56%

Hasil dari tes konfirmasi menunjukkan adanya perbaikan nilai, dimana Harga GRG meningkat 12,56 % dari GRG awal, dan 3 respon kesalahan mengalami penurunan artinya semakin akurat hasil yang diperoleh dalam pengujian. Hal ini mengkonfirmasi bahwa perhitungan menggunakan Taguchi-GRA dapat memberikan suatu kombinasi dari tiga faktor yang optimal untuk menghasilkan kesalahan sudut, *pitch* dan jarak ulir.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini diambil kesimpulan bahwa dengan menggunakan *Grey Relation Analysis*, didapatkan kombinasi pemotongan optimal yaitu A1B2C3 atau diameter luar ulir 10 mm, kedalaman potong 0,3067 mm dan kecepatan putar 424 rpm. Faktor yang paling berpengaruh terhadap harga respon tunggal gabungan GRG yaitu kecepatan putar dengan persentase sebesar 53,16%, sedangkan kedalaman potong dengan besar kontribusi sebesar 9,47% dan diameter dengan kontribusi sebesar 28,75% kurang berpengaruh. Dari hasil tes konfirmasi diketahui harga kombinasi kondisi pemotongan yang optimal A1B2C3 mendapatkan harga GRG 0,7776, yang mana mengalami peningkatan sebesar 12,56% dari harga GRG optimal pada eksperimen inisialnya (A1B3C3).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterimakasih kepada semua pihak terkait yang membantu terlaksananya penelitian ini.

REFERENSI

- [1]. Daryus, 2008, "Magnesium dan paduan magnesium", Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya, Malang.
- [2]. Ezechieli, Marco. Ettinger, Max. König, Carolin. et al., 2014, "Biomechanical characteristics of bioabsorbable magnesium-based (MgYREZr-alloy) interference screws with different threads", *European Society of Sports Traumatology, Knee Surgery, Arthroscopy (ESSKA)*.

- [3]. Ibrahim, G.A., Harun, S., dan Doni, A.R., 2015, "Analisa Nilai Kekasaran Permukaan Paduan Magnesium AZ31 Yang Dibubut Menggunakan Pahat Potong Berputar". Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- [4]. Ibrahim, G.A., Harun, S., dan Hamni, A., 2016, "Surface Roughness Values of Magnesium Alloy AZ31 When Turning by Using Rotary Cutting Tool", Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- [5]. Liwei Lu, Shaohua Hu, Longfei Liu, Zhenru Yin, 2016, "High Speed Cutting Of AZ31 Magnesium Alloy". Elsevier B.V. on Behalf of Chongqing University, Hunan.
- [6]. Rahmadani, Nur A., Sunaryo, Soni. Akbar, Muhammad S., 2012, "Penerapan Pendekatan Gabungan Grey Relational Analysis (GRA) dan Principal Component Analysis (PCA) Pada Metode Taguchi Multirespon", Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.
- [7]. Sidabutar, Tri E., 2017, "Pembuatan Dan Karakterisasi Keramik Magnesium Alumina Silika Dari Abu Vulkanik Gunung Sinabung",. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Mercu Buana, Jakarta.
- [8]. Setiawan, F., 2014, "Karakterisasi Penyalaan Magnesium Az31 Pada Proses Bubut Menggunakan Aplikasi Thermografi", Tugas Akhir Teknik Mesin, Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- [9]. Suseno, A., 2018, "Pengaruh Parameter Pemotongan Pada Proses Bubut Ulir (Threading) Terhadap Kepresisian Geometri Ulir Magnesium Paduan AZ31", Tugas Akhir Teknik Mesin. Universitas Lampung, Bandar Lampung.