

Aplikasi Metode Taguchi-Grey untuk Optimasi Multirespon pada Pembubutan Aluminium

Am. Mufarrih ¹⁾, Kuni Nadliroh ²⁾

¹⁾Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno Hatta No.9 Lowokwaru, Kota Malang

²⁾Teknik Mesin, Universitas Nusantara PGRI Kediri

Jl. KH. Ahmad Dahlan No.76, Mojoroto, Kota Kediri

Email : mufarrih@polinema.ac.id

Abstrak . Penelitian ini dilakukan untuk optimasi proses pembubutan aluminium yang memiliki beberapa karakteristik kualitas dengan metode Taguchi-Grey. Variabel-variabel proses pembubutan yang divariasikan adalah kedalaman potong, gerak makan dan kecepatan putaran spindel. Beberapa karakteristik kualitas yang dioptimalkan adalah kekasaran permukaan, kebulatan, dan MRR. Desain eksperimen menggunakan matrik ortogonal L_9 . Mesin bubut yang digunakan ialah mesin bubut maximat v13. Pahat potong menggunakan pahat jenis HSS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja pembubutan aluminium dapat ditingkatkan secara efektif melalui metode ini. Nilai GRG yang mewakili beberapa karakteristik kualitas meningkat hingga 25% dari 0,7798 menjadi 0,9718. Peningkatan kedalaman potong, gerak makan dan kecepatan spindel akan meningkatkan nilai GRG.

Kata kunci: Metode Taguchi-Grey, Multirespon, Aluminium

1. Pendahuluan

Industri otomotif dan manufaktur diharapkan mampu menciptakan produk berkualitas tinggi dan mencapai produktivitas yang lebih tinggi agar tetap kompetitif dalam persaingan industri saat ini [1]. Pembubutan merupakan salah satu proses pemesinan yang banyak digunakan dan penting dalam industri manufaktur. Kualitas permukaan merupakan karakteristik kinerja yang sangat penting dan mudah dilakukan untuk mengevaluasi produktivitas komponen mesin dan peralatan mesin. Kebulatan dan kekasaran permukaan adalah indikator kualitas kritis untuk permukaan mesin. Kebulatan dan kekasaran permukaan merupakan parameter kualitas yang paling penting untuk mengukur kualitas permukaan mesin. Permukaan hasil pembubutan yang berkualitas baik dapat menghasilkan peningkatan sifat kekuatan material seperti toleransi perakitan, kekuatan leleh, panas dan ketahanan estetika, ketahanan korosi, koefisien gesekan, tingkat keausan, kebersihan, dll. [2]. Di sisi lain, laju pembuangan geram atau material removal rate (MRR) yang tinggi adalah yang lebih diinginkan oleh industri manufaktur untuk diterapkan pada produksi massal tanpa mengorbankan kualitas produk dalam waktu yang lebih singkat. Dengan demikian, pemilihan parameter yang tepat dari proses pembubutan memainkan peran kunci dalam efisiensi, efektivitas, dan ekonomi manufaktur secara keseluruhan dengan mesin untuk mencapai kualitas produk yang baik dan laju pembuangan geram yang lebih tinggi [1]. Paduan Al 6061 adalah logam *non ferrous* yang banyak digunakan untuk komponen otomatis dan pesawat terbang, karena mempunyai sifat ringan, kekuatan tinggi, tahan korosi, serta mudah dibentuk [3]. Berdasarkan fungsinya tersebut, maka komponen yang dihasilkan dari Al 6061 diharapkan memiliki kepresisian dimensi yang tinggi

Untuk mengatasi masalah ini, mengembangkan prosedur untuk memilih parameter pembubutan yang tepat mutlak diperlukan. Optimasi parameter pembubutan yang mempengaruhi kualitas permukaan seperti kedalaman potong, gerak makan dan kecepatan potong diperlukan untuk meningkatkan kualitas pembubutan permukaan. Untuk mempelajari variabel yang besar dengan eksperimen dengan jumlah kecil dapat menggunakan teori eksperimental dalam metode Taguchi dalam bentuk matriks ortogonal [4]. Jumlah konfigurasi eksperimental yang akan dipelajari dapat dikurangi dengan menggunakan matriks ortogonal. Selain itu, hasil dan kesimpulan yang berasal dari sejumlah kecil eksperimen berlaku di seluruh area eksperimental yang direntang oleh pengaturan

faktor dan level [5]. Ada tiga karakteristik kualitas dalam metode Taguchi, yaitu semakin kecil semakin baik, nilai tertentu adalah yang terbaik dan semakin besar semakin baik. Metode Taguchi hanya dapat digunakan untuk melakukan optimasi dengan satu respon saja. Metode Taguchi harus dikombinasikan dengan metode lain seperti logika fuzzy, *grey relational analysis* (GRA), *response surface methodology* (RSM) dan *neural networks* untuk melakukan optimasi multirespon secara bersamaan [6]. Dalam teori grey system, grey relational analysis digunakan untuk menganalisis hubungan antara variabel, menggunakan lebih sedikit data dan banyak faktor [7]. Ini dianggap lebih menguntungkan dari pada analisis statistik regresi. Metode ini diusulkan untuk optimasi proses pembubutan. Dalam penelitian ini metode Taguchi dikombinasikan dengan GRA untuk mengoptimalkan multi respon dalam proses pembubutan Aluminium 6061.

2. Pembahasan

2.1. Metode Penelitian

Rancangan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode Taguchi yang berupa matriks ortogonal L_9 . Metode ini merupakan sebuah alat yang sangat powerful dalam desain eksperimen [8]. Jika dibandingkan dengan pendekatan eksperimen konvensional, metode ini secara drastis dapat mengurangi jumlah eksperimen yang diperlukan untuk memodelkan fungsi variabel respon [9]. Dalam penelitian ini yang merupakan variabel bebas adalah:

- Kedalaman potong (a) (0,5; 1; dan 1,5 mm)
- Gerak makan (f) (0,05; 0,1; dan 0.15 mm/putaran)
- Kecepatan spindel (n) (500; 750; dan 1000 rpm)

Variabel terikat merupakan respon yang diamati dalam penelitian. Variabel terikat pada penelitian ini adalah kekasaran permukaan, kebulatan dan MRR.

Rancangan percobaan matriks ortogonal L_9 ditunjukkan oleh Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Rancangan Percobaan Taguchi L_9

No	Variabel Bebas			Variabel Terikat								
	a	f	n	Kekasaran Permukaan			Kebulatan			MRR		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3
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									

Keterangan

- a : Kedalaman potong
f : Gerak makan
n : Kecepatan spindle

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aluminium 6061 yang mempunyai dimensi panjang 200 mm dan diameter 25 mm. Mesin bubut konvensional tipe Maximat V13 digunakan untuk proses pemesinan dalam penelitian ini. Alat potong untuk membubut spesimen uji menggunakan pahat HSS. Geometri pahat diatur sama untuk semua percobaan. Nilai kekasaran permukaan diukur menggunakan *Mitutoyo Surf test Sj-210*, sedangkan kebulatan diukur menggunakan dial indikator kemudian data yang diperoleh dimasukkan ke dalam grafik radar untuk dihitung nilai ketidakbulatannya. Proses pemesinan dikerjakan dalam kondisi pemesinan kering tanpa cairan pendingin. Mesin bubut dan perangkat yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Mesin bubut

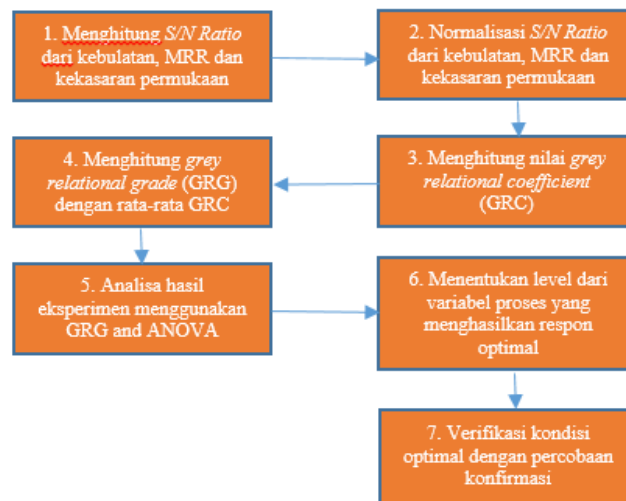
2.2 Hasil Penelitian

Hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 2. Berikut ini:

Tabel 2. Hasil penelitian

No.	Kekasaran Permukaan (μm)			Kebulatan (μm)			MRR (cm^3/min)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1.342	1.212	1.175	10	10	10	0.7543	0.7698	0.7445
2	2.247	2.134	2.072	20	20	20	1.9572	1.8223	2.3702
3	3.015	3.217	3.164	30	30	30	2.7681	2.6654	3.2395
4	2.874	2.921	2.344	30	30	30	1.9902	1.8862	2.4852
5	3.651	3.423	3.363	50	50	50	3.7464	3.5464	4.3676
6	3.342	3.478	3.293	40	40	40	2.5262	2.3984	2.9207
7	3.772	3.577	3.073	90	70	80	4.3393	4.2234	4.7213
8	4.329	4.152	2.721	50	50	50	2.9792	2.7985	3.4863
9	4.882	4.333	4.774	70	70	70	3.7682	3.7245	4.1983

Langkah-langkah yang digunakan untuk melakukan optimasi menggunakan Taguchi-grey relational analysis ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Langkah-langkah optimasi menggunakan Taguchi-grey relational analysis

Perhitungan S/N Ratio

Signal to noise ratio (S/N) dalam metode Taguchi merupakan ukuran karakteristik kualitas dan nilai penyimpangan dari nilai yang diinginkan. Ada tiga jenis karakteristik kualitas dalam analisa S/N ratio. S/N ratio dari respon kekasaran permukaan dan kebulatan dihitung menggunakan karakteristik semakin kecil semakin baik, sedangkan S/N ratio dari MRR dihitung menggunakan karakteristik semakin besar semakin baik. S/N ratio dari seluruh respon dapat dilihat pada Tabel 3.

Normalisasi S/N Ratio

Dalam *Grey relational analysis*, *data preprocessing* digunakan untuk menormalisasi data awal. Data hasil eksperimen yaitu nilai kekasaran permukaan, kebulatan dan MRR dirubah menjadi nilai antara 0 dan 1 dengan menggunakan normalisasi linier. Dalam penelitian ini, nilai kekasaran permukaan dan kebulatan harus diminimalkan (semakin kecil semakin baik), Sedangkan MRR mempunyai karakteristik semakin besar semakin baik. Tabel 3 menunjukkan hasil perhitungan data setelah *grey relational generation*. Hasil normalisasi yang lebih besar berarti menghasilkan kinerja yang lebih baik.

Tabel 3. S/N Ratio dan normalisasi S/N Ratio

No.	S/N Ratio			Normalisasi S/N Ratio		
	Ra	Kb	MRR	Ra	Kb	MRR
1	-1.889	-20.000	-2.427	0.000	0.000	0.000
2	-6.653	-26.021	6.235	0.415	0.356	0.564
3	-9.916	-29.542	9.221	0.699	0.565	0.759
4	-8.669	-29.542	6.529	0.590	0.565	0.583
5	-10.829	-33.979	11.792	0.778	0.827	0.926
6	-10.555	-33.979	8.350	0.755	0.827	0.702
7	-10.817	-36.902	12.924	0.777	1.000	1.000
8	-11.443	-33.979	9.794	0.832	0.827	0.796
9	-13.373	-36.902	11.815	1.000	1.000	0.928

Grey Relational Coefficient

Korelasi antara hasil eksperimen terbaik dan aktual, dilambangkan dengan *grey relational coefficients* (GRC). GRC disajikan pada tabel 4.

Grey relational grade

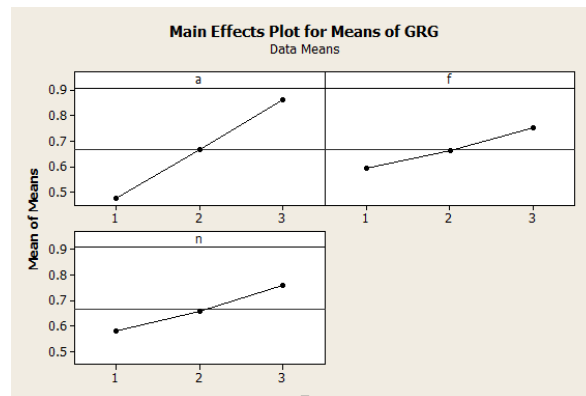
Nilai *grey relational grade* (GRG) yang terbesar menunjukkan bahwa kombinasi variabel proses yang digunakan sudah mendekati nilai optimal.

Grey relational ordering

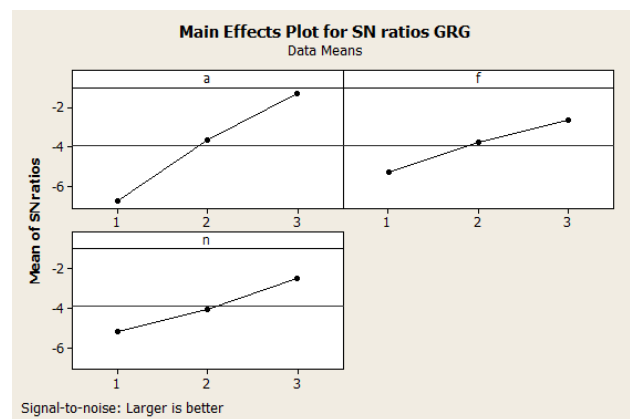
Dari tabel 4, kita dapat mengetahui bahwa pengaturan parameter ke-9 (percobaan 9) memiliki nilai *grey relational grade* terbesar dan ini menunjukkan bahwa percobaan 9 adalah pengaturan variabel proses pembubutan yang optimal untuk meminimalkan kekasaran permukaan dan kebulatan, serta memaksimalkan MRR secara bersamaan di antara sembilan percobaan yang dipilih. Karakteristik semakin besar semakin baik dari GRG dianggap mewakili karakteristik kualitas dari multirespon, karena karakteristik kinerja multirespon yang lebih tinggi adalah target dari penelitian ini. Level dari variabel proses dengan *S/N ratio* tertinggi memberikan kombinasi optimal. Sehingga dapat diketahui bahwa pengaturan variabel proses untuk karakteristik multirespon yang optimal adalah $a_3f_3n_3$. *Main effect plot* untuk rata-rata GRG ditunjukkan Gambar 3. dan *main effect plot* untuk *S/N ratio* dari GRG ditunjukkan Gambar 4.

Table 4. *Grey relational coefficient* dan *grey relational grades*

Trial No.	<i>Grey relational coefficient</i>			GRG	Order
	Ra	Kebulatan	MRR		
1	0.333	0.333	0.333	0.3333	9
2	0.461	0.437	0.534	0.4774	8
3	0.624	0.535	0.675	0.6111	6
4	0.550	0.535	0.546	0.5432	7
5	0.693	0.743	0.871	0.7691	3
6	0.671	0.743	0.627	0.6801	5
7	0.692	1.000	1.000	0.8973	2
8	0.748	0.743	0.710	0.7339	4
9	1.000	1.000	0.874	0.9579	1



Gambar 3. Main effect plot untuk rata-rata GRG



Gambar 4. Main effect plot untuk S/N Ratio GRG

Sehingga dapat diketahui bahwa kombinasi paling baik untuk memaksimalkan karakteristik multirespon atau GRG adalah kedalaman potong sebesar 1,5 mm, gerak makan sebesar 0.15 mm/put dan putaran spindle sebesar 1000 rpm. Tabel respon untuk rata-rata GRG ditunjukkan pada Tabel 5. Tabel respon untuk S/N ratio GRG ditunjukkan pada Tabel 6. Hasil ANOVA dari karakteristik multirespon disajikan pada Tabel 7. Berdasarkan analisa pada Tabel ini, dapat disimpulkan bahwa kedalaman potong diikuti putaran spindle dan gerak makan berpengaruh signifikan terhadap *grey relational grade*.

Tabel 5. Tabel respon untuk rata-rata GRG

Level	a (mm)	f (mm/rev)	n (rpm)
1	0.4739	0.5912	0.5824
2	0.6642	0.6601	0.6595
3	0.8630	0.7497	0.7591
Delta	0.3891	0.1584	0.1767
Rank	1	3	2

Average mean = 0.5407

Tabel 6. Tabel Respon untuk S/N Ratio GRG

Level	a (mm)	f (mm/rev)	n (rpm)
1	-6.748	-5.261	-5.192
2	-3.643	-3.796	-4.032
3	-1.334	-2.667	-2.500
Delta	5.414	2.595	2.693
Rank	1	3	2

Tabel 7. ANOVA untuk GRG (karakteristik multirespon)

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P	% contribution
a	2	44.2778	22.1389	86.23	0.11	66.42
f	2	10.1557	5.0779	19.78	0.048	14.63
n	2	10.9464	5.4732	21.32	0.045	15.83
Error	2	0.5135	0.2567			3.12
Total	8	65.8934				100.00

S = 0.05648 R-Sq = 98.0% R-Sq(adj) = 92.0%

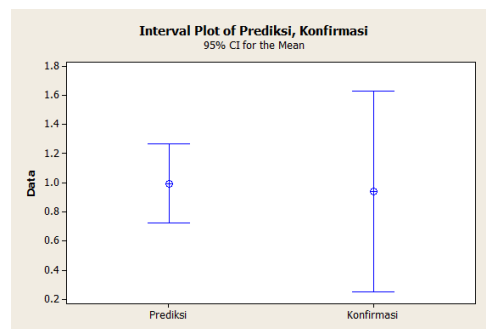
Prediksi Optimal Multirespon dan Percobaan Konfirmasi

Prediksi multirespon bertujuan untuk menghitung prediksi GRG yang dihasilkan dari kondisi optimum pada proses bubut. Sedangkan tujuan dari eksperimen konfirmasi adalah untuk memverifikasi peningkatan karakteristik kinerja proses bubut. Hasil prediksi untuk kombinasi variabel proses optimal adalah (a3-f3-n3) dan nilai GRG sebesar 0,9954. Validasi hasil eksperimen telah dilakukan oleh percobaan konfirmasi. Tabel 8. menunjukkan hasil percobaan konfirmasi. Percobaan konfirmasi dilakukan dengan replikasi sebanyak tiga kali dan rata-rata percobaan ini kemudian digunakan untuk memvalidasi nilai prediksi.

Table 8. Hasil eksperimen konfirmasi

Trial No.	Variabel proses			Kekasaran permukaan (µm)	Kebulatan (µm)	MRR (cm ³ /min)
	a	f	n			
1	3	3	3	4.887	70	4.245
2	3	3	3	4.821	70	4.197
3	3	3	3	3.981	70	4.203
Rata-rata				4.563	70	4.215

GRG yang dihitung dari eksperimen konfirmasi adalah sebesar 0,9718. *Interval plots* dari GRG prediksi dan GRG eksperimen konfirmasi dengan tingkat keyakinan 95% ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Interval plots GRG prediksi dan GRG eksperimen konfirmasi

Berdasarkan interval plots GRG prediksi dan GRG konfirmasi, nilai GRG konfirmasi ada di kisaran GRG prediksi. Dapat disimpulkan bahwa pengaturan variabel-variabel proses untuk kondisi optimum adalah valid. Perbandingan antara percobaan kombinasi optimum dan kombinasi awal digunakan untuk memperoleh peningkatan kualitas yang dihasilkan dari proses optimasi. Percobaan kombinasi awal adalah eksperimen yang dilakukan dengan menggunakan level 2 untuk semua parameter yang memiliki 3 level. Untuk eksperimen yang memiliki 2 level, level dipilih dari kondisi optimum. Hasil dari percobaan kombinasi awal ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil percobaan kombinasi awal

Trial No.	Variabel proses			Kekasaran permukaan (μm)	Kebulatan (μm)	MRR (cm^3/min)
	a	f	n			
1	3	3	3	3.678	50	3.864
2	3	3	3	3.553	50	3.985
3	3	3	3	3.404	50	4.055
Rata-rata				3.545	50	3.968

Nilai GRG yang dihitung dari percobaan kombinasi awal adalah sebesar 0,7798. Perbandingan respon individu dari percobaan kombinasi awal dan percobaan kombinasi optimal dihitung dan ditabulasikan pada Tabel 10. Perbandingan antara karakteristik multirespon yang diwakili oleh GRG untuk kedua eksperimen juga ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil dari percobaan kombinasi awal dan percobaan kombinasi optimum

	Awal	Optimum	Peningkatan	
SR	3.545	4.563	29%	Increase
KB	50	70	40%	Increase
MRR	3.9679	4.215	6%	Increase
GRG	0.7798	0.9718	25%	Increase

Berdasarkan Tabel 10, GRG yang mewakili karakteristik multirespon meningkat hingga 25% dari 0,7798 menjadi 0,9718. MRR meningkat hingga 6% dari 3.9679 $\text{cm}^3 / \text{menit}$ menjadi 4.215 $\text{cm}^3 / \text{menit}$. Namun yang harus ditoleransi, kekasaran permukaan dan kebulatan yang seharusnya diturunkan, ternyata justru meningkat. Kebulatan meningkat hingga 40% dari 50 μm hingga 70 μm , dan kekasaran permukaan meningkat hingga 29% dari 3.545 μm menjadi 4,563 μm . Hal ini sesuai dengan karakteristik semakin besar semakin baik yang digunakan sebagai target untuk mengukur karakteristik multirespon kualitas yang dihasilkan dari proses pembubutan dalam percobaan ini.

3. Simpulan

Penelitian ini mempresentasikan optimasi multirespon pada proses bubut dengan memvariasikan variabel proses seperti kedalaman potong, gerak makan dan kecepatan spindel sebagai variabel proses percobaan. Metode Taguchi dikombinasikan dengan grey relational analysis digunakan untuk melakukan optimasi. Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Porsen kontribusi dari kedalaman potong, kecepatan spindel dan gerak makan dalam mengurangi total variansi karakteristik multirespon secara berurutan adalah sebesar 66,42%, 15,83% dan 14,63%.
2. Untuk mengoptimalkan kebulatan, MRR dan kekasaran permukaan dalam proses bubut, maka kedalaman potong, gerak makan dan kecepatan spindel perlu diatur pada level 3 (1,5 mm), level 3 (0,15 mm / put) dan level 3 (1000 rpm).
3. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kinerja pemrosesan pada proses bubut dapat ditingkatkan secara efektif melalui metode ini.
4. Metode Taguchi grey relational analysis dapat menyederhanakan pengoptimalan variabel proses bubut dengan berbagai karakteristik kinerja.

Daftar Pustaka

- [1]. P. Jayaraman and L. Mahesh kumar, "Multi-response optimization of machining parameters of turning AA6063 T6 aluminium alloy using grey relational analysis in Taguchi method," *Procedia Engineering*, vol. 97, hal. 197–204, 2014.
- [2]. P. G. Benardos and G. C. Vosniakos, "Predicting surface roughness in machining: A review," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 43, no. 8, hal. 833–844, 2003.
- [3]. Santos, M.C., Machado, A.R., Sales, W.F., Barrozo, M.A.S., Ezugwu, E.O. 2016. Machining of aluminum alloys: a review, *International Journal Advance Manufacturing Technology*. DOI 10.1007/s00170-016-8431-9
- [4]. G. Taguchi, "INTRODUCTION TO TAGUCHI METHODS.," *Eng.*, vol. 228, no. 1, 1988.
- [5]. M. S. Phadke, "Quality Engineering Using Robust Design," *ACM Guid. to Comput. Lit.*, hal. 250, 1995.
- [6]. A. Mufarrih, B. O. P. Soepangkat, and I. Krisnanto, "Multi Response Optimization Using Taguchi-Grey-Fuzzy Method in Drilling of Kevlar Fiber Reinforced Polymer (KFRP) Stacked," *Applied Mechanic Material*, vol. 836, hal. 179–184, 2016.
- [7]. A. Mufarrih, H. Istiqlaliyah, and M.M. Ilham, "Optimization of Roundness, MRR and Surface Roughness on Turning Process using Taguchi-GRA," *Journal of Physics: Conference series.*, vol. 1179, no. 1, hal. 12099, 2019.
- [8]. P. J. Ross, "Taguchi Techniques for Quality Engineering," *Loss Fuction, Orthogonal Exp. Param. Toler. Des.*, no. February 2015, hal. 279, 1998.
- [9]. K. Palanikumar, "Cutting parameters optimization for surface roughness in machining of GFRP composites using Taguchi's method," *Journal Reinforce Plastic Composite*, vol. 25, no. 16, hal. 1739–1751, 2006