
DESAIN EKSPERIMEN UNTUK MENINGKATKAN JARAK TEMPUH MOBIL MAINAN BERPENGERAK BALON DENGAN METODE TAGUCHI

Achmad Zainur Ramadhan¹, Ilham Novian Ramadani², Muhammad Irzaqur Rosyad³, Putri Ayu Permatasai⁴, Tajri⁵

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik
Jl. Sumatera 101 GKB, Gresik 61121, Indonesia

e-mail : ramadhanzainur22@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan performa mobil mainan dengan penggerak balon menggunakan pendekatan desain eksperimen metode Taguchi. Mobil mainan ini bekerja dengan prinsip dorongan udara dari balon yang ditiup, sehingga menghasilkan gerakan maju. Permasalahan seperti ketidakstabilan kecepatan, jarak tempuh yang tidak konsisten, dan komponen yang kurang optimal menjadi fokus utama penelitian ini. Lima faktor diuji, yaitu panjang botol, diameter roda, panjang penyangga roda, panjang sedotan, dan diameter balon, masing-masing dengan dua level. Penelitian menggunakan matriks ortogonal $L_8(2^7)$ dan dilakukan replikasi sebanyak tiga kali untuk meningkatkan akurasi data. Analisis yang dilakukan mengindikasikan bahwa aspek yang memberikan dampak paling besar terhadap jarak tempuh adalah ketinggian botol, diameter roda, dan panjang penyangga roda. Kombinasi optimal untuk memperoleh jarak tempuh terjauh adalah ketinggian botol 14 cm, diameter roda 4 cm, panjang penyangga roda 10 cm, panjang sedotan 23 cm, dan diameter balon 58 cm. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam peningkatan kualitas produk edukatif sederhana serta penerapan praktis metode Taguchi.

Kata kunci : Mobil Mainan, Metode Taguchi, Desain Eksperimen, Penggerak Balon, Rekayasa Kualitas

ABSTRACT

This research aims to optimize the performance of a toy car with a balloon drive using the Taguchi method's experimental design approach. This toy car works with the principle of air thrust from a balloon that is blown, thus producing forward movement. Issues such as speed instability, inconsistent mileage, and less than optimal components are the main focus of this study. Five factors were tested, namely bottle length, wheel diameter, wheel support length, straw length, and balloon diameter, each with two levels. The research used the $L_8(2^7)$ orthogonal matrix and replicated three times to increase the accuracy of the data. The results of the analysis show that the factors that most significantly affect the mileage are the height of the bottle, the diameter of the wheel, and the length of the wheel support. The optimal combination to get the farthest mileage is a bottle height of 14 cm, a wheel diameter of 4 cm, a wheel support length of 10 cm, a straw length of 23 cm, and a balloon diameter of 58 cm. This research contributes to improving the quality of simple educational products as well as the practical application of the Taguchi method.

Keywords : Toy Car, Taguchi Method, Experimental Design, Balloon Propulsion, Quality Engineering

Jejak Artikel

Upload artikel : 12 Oktober 2025

Revisi : 15 Oktober 2025

Publish : 29 Oktober 2025

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan pendidikan menuntut adanya metode pembelajaran yang interaktif dan aplikatif, salah satunya melalui penggunaan media permainan edukatif. Mobil mainan dengan penggerak balon merupakan metode pendukung dalam proses belajar yang dapat digunakan untuk mengenalkan konsep

dasar fisika dan teknik secara praktis kepada pelajar maupun mahasiswa. Prinsip kerja mobil ini sangat sederhana, yaitu memanfaatkan udara yang keluar dari balon untuk menghasilkan dorongan ke arah berlawanan, sehingga mobil dapat bergerak maju. Meskipun demikian, dalam praktiknya masih terdapat berbagai tantangan yang perlu diatasi, seperti ketidakstabilan

kecepatan, jarak tempuh yang tidak konsisten, dan potensi kerusakan pada komponen mekanis.

Untuk menjawab tantangan tersebut, diperlukan pendekatan sistematis dalam upaya meningkatkan kualitas dan kinerja mobil mainan ini. Salah satu pendekatan yang relevan adalah melalui rekayasa kualitas, yaitu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan memperbaiki masalah kualitas dalam suatu produk atau proses. Dalam konteks ini, metode Taguchi dipilih karena kemampuannya dalam merancang eksperimen yang efisien, mengidentifikasi faktor-faktor penting, serta menentukan kombinasi parameter terbaik dengan meminimalkan pengaruh faktor gangguan.

Penelitian ini diarahkan untuk menemukan faktor-faktor yang memberikan kontribusi paling besar terhadap performa mobil mainan dengan penggerak balon, khususnya dalam hal jarak tempuh, serta menentukan kombinasi desain yang optimal. Adapun faktor-faktor yang diuji meliputi ketinggian botol, diameter roda, panjang penyangga roda, panjang sedotan, dan diameter balon. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat tercipta kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan kualitas produk edukatif sederhana, serta menjadi referensi dalam penerapan metode Taguchi dalam eksperimen teknik industri.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan desain eksperimen, dengan tujuan mengidentifikasi kombinasi optimal dari beberapa faktor yang memengaruhi performa mobil mainan penggerak balon, khususnya dari sisi jarak tempuh. Metode Taguchi digunakan sebagai alat utama untuk perancangan eksperimen yang efisien dan efektif.

A. Tempat Dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Sistem Manufaktur dan Ergonomi Kerja, Universitas Muhammadiyah Gresik, pada tanggal 5 Juli 2025.

B. Jenis Dan Pendekatan Penelitian

Metode yang dipraktekkan dalam penelitian ini yaitu desain eksperimen, dengan tujuan mengevaluasi komposisi rangka paling efektif untuk mencapai kecepatan maksimal pada mobil mainan dan mendukung upaya perbaikan.

C. Objek Penelitian

Objek penelitian yang diteliti adalah

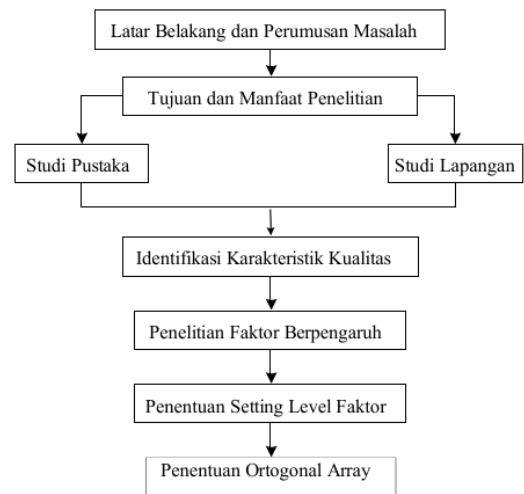
produk mobil mainan dengan penggerak balon yang ditinjau dari kekuatan produk. Objek ini diamati secara langsung di lantai produksi.

D. Variabel Penelitian

Analisis dalam penelitian ini mencakup dua variabel, dan salah satunya adalah variabel bebas (Independen) yaitu Ketinggian Botol (A), Diameter Roda (B), Panjang Penyangga Roda (C), Panjang Sedotan (D), Diameter Balon (E), Dan Variabel Terikat (Dependen) yaitu Jarak tempuh mobil mainan dalam satuan sentimeter (cm)

E. Skenario Penelitian

Berikut adalah Skenario Penyelesaian yang digunakan pada final project ini :



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil dari eksperimen yang telah dilakukan serta pembahasan terhadap temuan-temuan tersebut.

A. Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

Faktor kontrol, yaitu faktor yang nilainya bisa diatur, dilakukan proses pengkodean. Informasi pengkodean faktor-faktor tersebut ditampilkan pada tabel.

Kode	Faktor
A	Ketinggian Botol
B	Diameter Roda
C	Panjang Penyangga Roda
D	Panjang Sedotan
E	Diameter Balon

B. Penentuan Karakteristik Kualitas

Pada penelitian ini digunakan untuk meneliti komposisi mana yang tepat agar mobil mainan

dengan penggerak balon dapat menempuh jarak sejauh mungkin sehingga karakteristik kualitas yang digunakan adalah Larger the Better.

C. Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Berdasarkan berbagai alternatif faktor yang dapat dikendalikan, dilakukan penetapan level untuk masing-masing faktor yang diteliti. Penentuan level mempertimbangkan beberapa hal, antara lain:

1. Pada masing-masing level, nilai yang tercatat masih berada dalam rentang toleransi yang ditetapkan oleh pihak perusahaan.
2. Level-level yang dipilih merepresentasikan nilai-nilai ekstrem.
3. Level tersebut masih memungkinkan untuk diterapkan dengan teknologi proses yang tersedia saat ini.
4. Sumber data dalam proses penetapan level berasal dari data operasional pabrik, yang merupakan gabungan antara informasi dari buku panduan serta pengalaman para operator. Rincian penetapan level ini disajikan dalam tabel berikut:

Kode	Faktor Kontrol	Level 1	Level 2
A	Ketinggian Botol	22 cm	17 cm
B	Diameter Roda	3 cm	2,7 cm
C	Panjang Penyangga Roda	14 cm	10 cm
D	Panjang Sedotan	23 cm	19 cm
E	Diameter Balon	4 cm	4 cm

D. Perhitungan Derajat Kebebasan

Proses menentukan derajat kebebasan bertujuan untuk mengetahui jumlah percobaan minimum yang diperlukan dalam kajian terhadap faktor-faktor yang diamati. Nilai derajat kebebasan, bersama dengan kombinasi yang ditentukan, akan memengaruhi pemilihan table matriks ortogonal yang telah dijelaskan pada awalnya. Setelah faktor-faktor dan jumlah

level ditetapkan, perhitungan derajat kebebasan pun dapat dilakukan. Dalam penelitian ini, terdapat empat faktor dengan dua level masing-masing;

1. Faktor A adalah botol = 2 Level
2. Faktor B adalah roda = 2 Level
3. Faktor C adalah penyangga roda = 2 Level
4. Faktor D adalah sedotan = 2 Level
5. Faktor E merupakan balon dengan 2 level.

Dengan mempertimbangkan keberadaan lima faktor (A, B, C, D, dan E), maka perhitungan derajat kebebasan (DoF) untuk masing-masing faktor adalah sebagai berikut:

1. Derajat kebebasan untuk faktor A: $N_a - 1 = 2 - 1 = 1$
2. Derajat kebebasan untuk faktor B: $N_b - 1 = 2 - 1 = 1$
3. Derajat kebebasan untuk faktor C: $N_c - 1 = 2 - 1 = 1$
4. Derajat kebebasan untuk faktor D: $N_d - 1 = 2 - 1 = 1$
5. Derajat kebebasan untuk faktor E: $N_e - 1 = 2 - 1 = 1$
6. Total derajat kebebasan: $1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 5$

Pemilihan jenis *Orthogonal Array* (OA) yang digunakan harus disesuaikan dengan ketentuan yang telah ditetapkan berdasarkan pada tabel referensi yang tersedia.

Jumlah Dof	Orthogonal Array
2 – 3	$L_4(2^3)$
4 – 7	$L_8(2^7)$
8 – 11	$L_{12}(2^{11})$
12 – 15	$L_{16}(2^{15})$

Dari tabel di atas maka dapat disimpulkan bahwa pada penelitian kali ini menggunakan $L_8(2^7)$

E. Pemilihan Matriks Orthogonal

Pemilihan matriks ortogonal harus mempertimbangkan jumlah eksperimen yang dibutuhkan, sehingga ukuran matriks tersebut minimal sama dengan atau melebihi jumlah eksperimen yang diperlukan. Berdasarkan hasil perhitungan derajat kebebasan, maka digunakan matriks ortogonal $L_8(2^7)$ yang memiliki total derajat kebebasan sebanyak 7. Rincian lengkap dari matriks ortogonal $L_8(2^7)$ disajikan pada tabel berikut:

Matriks Ortogonal L8(2 ⁷)							
Eksperimen	Kolom/Faktor						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

F. Jumlah Replikasi

Replikasi merupakan pengulangan perlakuan yang sama dalam kondisi eksperimen yang seragam, dengan tujuan meningkatkan tingkat ketelitian hasil. Dalam penelitian ini, setiap eksperimen diulang sebanyak tiga kali, dengan total 8 eksperimen yang dilakukan. Dengan demikian, jumlah keseluruhan percobaan yang dilaksanakan adalah sebanyak 24 kali.

G. Randomisasi

Randomisasi atau pengacakan urutan percobaan dilakukan untuk memastikan validitas pengujian dengan menghilangkan potensi bias. Dalam penelitian ini, pengacakan diterapkan pada penempatan faktor serta pemberian kode huruf pada masing-masing faktor. Urutan pelaksanaan eksperimen, dari percobaan pertama hingga kedelapan, diacak secara acak sederhana. Seluruh eksperimen tersebut kemudian direplikasi secara berurutan sebanyak tiga kali. Hasil pengujian kualitas mobil mainan disajikan pada Tabel berikut.

H. Analisa Perhitungan Pengaruh Nilai Level Dari Faktor

Analisis terhadap pengaruh tiap level dan faktor dilakukan untuk mengetahui nilai rata-rata serta rasio sinyal terhadap noise (signal to noise ratio) dari faktor-faktor yang memengaruhi jarak tempuh mobil mainan. Untuk menilai seberapa besar pengaruh level dari tiap faktor terhadap jarak tempuh, dilakukan pengolahan data berdasarkan respon jarak tempuh tersebut. Perhitungan nilai rata-rata jarak tempuh mobil mainan berdasarkan kombinasi level dari masing-masing faktor disajikan

sebagai

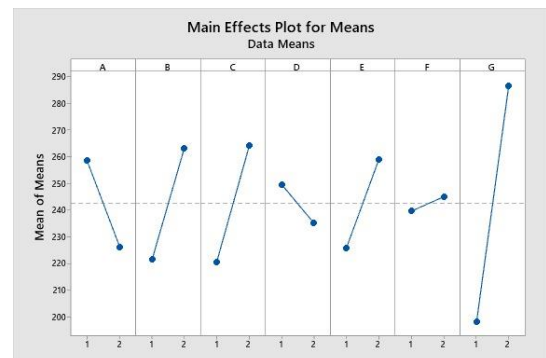
berikut:

Matriks Ortogonal L8(2 ⁷)							Replikasi Jarak tempuh mobil mainan			Jumlah	Rata Rata	
Eksperi Men	Kolom/Faktor							I	II			III
	1	2	3	4	5	6	7					
1	A	B	C	D	E	e	e	150	157	145	452	150.667
2	1	1	1	2	2	2	2	190	230	250	670	223.333
3	1	2	2	1	1	2	2	210	320	341	871	290.333
4	1	2	2	2	2	1	1	175	200	256	631	210.333
5	2	1	2	1	2	1	2	240	290	310	840	280.000
6	2	1	2	2	1	2	1	100	152	174	426	142.000
7	2	2	1	1	2	2	1	115	211	221	547	182.333
8	2	2	1	2	1	1	2	222	210	245	677	225.667
Jumlah											5114.0	1704.667
Rata-Rata											639.25	213.083

Response Table for Means

Level	A	B	C	D	E
1	218.7	199.0	195.5	225.8	202.2
2	207.5	227.2	230.7	200.3	224.0
Delta	11.2	28.2	35.2	25.5	21.8
Rank	5	2	1	3	4

Dapat dilihat melalui tabel respon diatas bahwa kombinasi level faktor optimum agar menghasilkan jarak tempuh mobil mainan yang paling besar adalah pada faktor A (Ketinggian Botol) = 14 cm, pada faktor B (Diameter Roda) = 4 cm, pada faktor C (Panjang Penyangga Roda) = 10 cm, pada faktor D (Panjang Sedotan) = 23 cm dan pada faktor E (Diameter Balon) = 58 cm



Karena matriks ortogonal L8(2⁷) memiliki 7 derajat kebebasan, maka sekitar setengah dari jumlah tersebut dipertimbangkan sebagai faktor yang memiliki pengaruh signifikan. Namun, dalam penelitian ini hanya digunakan 5 kolom, sehingga ditetapkan 3 faktor sebagai pengaruh utama. Berdasarkan tabel respon, kombinasi level faktor optimal diperoleh dari nilai rata-rata respon kuat tekan gentengbeton tertinggi untuk masing-masing faktor, yaitu A1 (ukuran 14 cm), B2 (ukuran 4 cm), dan C1 (ukuran 10 cm).

I. Analisa Varians Rata-rata Mobil-mobilan Dengan Balon

Perhitungan ANOVA berikut menggunakan pendekatan analisis varians dua arah. Di bawah ini disajikan hasil perhitungan ANOVA untuk seluruh faktor yang terlibat:

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A	1	3361	3361	0.91	0.352
B	1	9923	9923	2.69	0.118
C	1	8513	8513	2.31	0.146
D	1	6534	6534	1.77	0.200
E	1	1233	1233	0.33	0.570
Error	18	66359	3687		
Lack-of-Fit	2	49687	24843	23.84	0.000
Pure Error	16	16672	1042		
Total	23	95921			

Berikut ini adalah hasil perhitungan ANOVA pada 3 faktor terpeting yaitu pada faktor A, B, dan C :

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
B	1	9923	9923	2.80	0.110
C	1	8513	8513	2.40	0.137
D	1	6534	6534	1.84	0.190
Error	20	70952	3548		
Lack-of-Fit	4	54280	13570	13.02	0.000
Pure Error	16	16672	1042		
Total	23	95921			

J. Strategi Pooling Up

Pendekatan pooling up digunakan untuk mengenali faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap mutu produk. Strategi pooling ini dilakukan melalui analisis menggunakan tabel ANOVA dan terbagi menjadi dua tahap, yaitu pooling parsial I (berdasarkan kriteria $M_{hitung} \leq M_{error}$) serta pooling parsial II (mengacu pada $F_{hitung} \leq F_{tabel}$). Pada tahap awal (pooling parsial I), faktor yang memenuhi syarat $M_{hitung} \leq M_{error}$ akan digabungkan. Dalam hal ini, faktor E dan A termasuk yang dilakukan pooling.

1. Pooled Faktor E
 $DF_{pooled} = DF_E + DF_{Error}$
 $= 1 + 18 = 19$
 $SS_{pooled} = SS_E + SS_{Error}$
 $= 1233 + 66359 = 67592$
 $M_{spooled} = 67592/19 = 3557,47$
2. Pooled Faktor A
 $DF_{pooled} = DF_A + DF_{Error}$
 $= 1 + 18 = 19$
 $SS_{pooled} = SS_A + SS_{Error}$

$$= 3361 + 66359 = 69720$$

$$M_{spooled} = 69720/19 = 3669.47$$

Faktor	DF	SS	MS	F-Ratio (vs $M_{Spooled}=3557.47$)
A	1	3361	3361	0.95
B	1	9923	9923	2.79
C	1	8513	8513	2.39
D	1	6534	6534	1.84
Error	19	67592	3557.47	

Berdasarkan pooling parsial, dapat diketahui bahwa faktor yang memberi pengaruh besar terhadap mobil-mobilan pengerak balon adalah faktor A, B dan C.

K. Persen Kontribusi

Besaran kontribusi tiap faktor ditentukan dengan menghitung persentasenya menggunakan formula sebagai berikut:

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
B	1	9923	9923	2.80	0.110
C	1	8513	8513	2.40	0.137
D	1	6534	6534	1.84	0.190
Error	20	70952	3548		
Lack-of-Fit	4	54280	13570	13.02	0.000
Pure Error	16	16672	1042		
Total	23	95921			

L. Uji Konfirmasi

Penetapan faktor dan level dalam uji konfirmasi mengacu pada kondisi terbaik yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu factor, Ketinggian botol 22 cm yaitu pada level 1 (A1), diameter roda 2,7 cm yaitu pada level 2 (B2), panjang penyangga roda 10 cm yaitu pada level 2 (C2), panjang sedotan 23 cm yaitu pada level 1 (D1) dan diameter balon 4 cm (E2). Untuk konfirmasi diambil 6 sampel dengan level pada kondisi optimum.

Eksperimen	Hasil Eksperimen	Eksperimen	Hasil Eksperimen
1	140	6	193
2	180	7	147
3	200	8	196
4	170	9	190
5	130	10	200

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini dapat dirangkum sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisis faktor, ditemukan bahwa faktor-faktor yang memberikan pengaruh terhadap jarak yang ditempuh

- mobil mainan adalah Ketinggian (A), diameter roda (B), panjang penyangga roda (C), panjang sedotan (D) dan diameter balon (E). Selanjutnya, melalui perbandingan nilai F-rasio dengan F-tabel pada strategi pooling up, dapat diketahui beberapa faktor berperan signifikan terhadap mobil-mobilan pengerak balon adalah faktor A (panjang botol), faktor B (diameter roda) dan faktor C (penyangga roda).
2. Untuk mendapatkan hasil yang optimum, kombinasi yang tepat adalah kombinasi level faktor optimum agar menghasilkan jarak tempuh mobil mainan yang paling besar adalah pada faktor A (panjang Botol) = 22 cm, pada faktor B (Diameter Roda) = 2,7 cm, pada faktor C (Panjang Penyangga Roda) = 10 cm, pada faktor D (Panjang Sedotan) = 23 cm dan pada faktor E (Diameter Balon) = 4 cm

DAFTAR PUSTAKA

- Aujla, G. S., Jindal, A., Rawat, D. B., & Jiang, C. (2025). *Development of optimization models for automotive production processes: Taguchi and neuro-fuzzy methods at Renault*. EUREKA: Physics and Engineering,
- Gunawan, I., Putri, F., & Junaidi, S. (2024). *Quenching Process Optimization of Leaf Springs as Tengku Material using the Taguchi Method Approach*. International Journal of Research in Vocational Studies,
- Haslindah, A., Andrie, A., Yulihasti, & Rismawati. (2020). *Analisis Quality Control terhadap Risiko Kerusakan Produk Air Mineral Club*. Journal Industrial Engineering & Management
- Lestari, W.D., Adyono, N., Faizin, A.K., Haqiyah, A., Sanjaya, K.H., Nugroho, A., & Ammarullah, M.I. (2024). *Optimization of 3D printed parameters for socket prosthetic manufacturing using the Taguchi method and response surface methodology*.
- Mohsin, I., He, K., Li, Z., Zhang, F., & Du, R. (2020). *Optimization of the Polishing Efficiency and Torque by Using Taguchi Method and ANOVA in Robotic Polishing*.
- Nikzad, M.H., Heidari-Rarani, M., & Mirkhalaf, M. (2024). *A novel Taguchi-based approach for optimizing neural network architectures: application to elastic short fiber composites*.
- Nguyen, V., Altarazi, F., & Tran, T. (2022). *Optimization of Process Parameters for Laser Cutting Process of Stainless Steel 304: Taguchi & RSM*. Mathematical Problems in Engineering,
- Prabhu, S., Kumar, P.A., Selwinston, A., Taduvai, P., Bairi, S., & Batra, R. (2025). *Enhancing Experimental Efficiency in Materials Design: A Comparative Study of Taguchi and Machine Learning Methods*.
- Rifelino, R., Rahim, B., & Indrawan, E. (2021). *Optimization of CNC Turning Parameters Using Taguchi Method*.
- Sutono, S.B. (2021). *Grey-based Taguchi Method to Optimize the Multi-response Design of Product Form Design*. Jurnal Optimasi Sistem Industri.
- Wang, S.-G., & Jiang, S. (2022). *Optimal Hyperparameters and Structure Setting of Multi-Objective Robust CNN Systems via Generalized Taguchi Method*.
- Yudha, F.A.K. (2022). *Development of Training Kit for Learning Taguchi Method and Design of Experiments*.
- Zonnenshain, A., & Kenett, R.S. (2020). *Quality 4.0: the challenging future of quality engineering*.
- Mahbubah, N. A., Nuruddin, M., Dahda, S. S., Andesta, D., Ismiyah, E., Widyaningrum, D., ... & Negoro, Y. P. (2022). *Optimization of CNC turning parameters for cutting Al6061 to achieve good surface roughness based on Taguchi method*. *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, 99(1), 1-9.