

OPTIMASI PROSES BAN VULKANISIR DENGAN METODE *TAGUCHI* UNTUK PENINGKATAN KUALITAS DI CV. RAPI VULKANISIR KRUENG MANE

Ade Puspita Rahayu¹, Subhan A. Gani², Muhammad Zakaria³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Logistik Universitas Malikussaleh

e-mail: ¹ade.210130104@mhs.unimal.ac.id, ²subhan@unimal.ac.id, ³irmuhammad@unimal.ac.id

ABSTRAK

CV. Rapi Vulkanisir Krueng Mane menghadapi permasalahan tingginya tingkat kecacatan produk ban vulkanisir, seperti ban retak, koyak, dan terkelupas, yang disebabkan oleh ketidaktepatan pengaturan parameter proses produksi, yaitu suhu, tekanan, dan waktu pemanasan. Berdasarkan data produksi periode Januari–Desember 2024, total produksi mencapai 4.755 unit dengan jumlah produk cacat sebanyak 147 unit atau rata-rata persentase kecacatan sebesar 3,07%, yang melebihi batas toleransi maksimal perusahaan sebesar 1%. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kombinasi parameter proses yang optimal guna menurunkan tingkat kecacatan produk ban vulkanisir menggunakan metode Taguchi. Metodologi penelitian dilakukan melalui perancangan eksperimen Taguchi dengan analisis *Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)* menggunakan pendekatan *smaller is better* serta Analisis Variansi (ANOVA) untuk mengetahui kontribusi masing-masing faktor proses. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor suhu memiliki kontribusi terbesar terhadap kecacatan produk sebesar 34,14%, diikuti oleh faktor waktu pemasakan sebesar 13,96%. Kombinasi parameter optimal yang diperoleh adalah suhu 115°C, tekanan 8 bar, dan waktu pemasakan 165 menit. Eksperimen konfirmasi menunjukkan adanya penurunan nilai rata-rata kecacatan dibandingkan dengan kondisi awal, sehingga dapat disimpulkan bahwa penerapan metode Taguchi efektif dalam meningkatkan kualitas produk ban vulkanisir di CV. Rapi Vulkanisir Krueng Mane.

Kata kunci: Ban Vulkanisir, Metode Taguchi, Kualitas Produk, Pengendalian Kualitas

ABSTRACT

CV. Rapi Vulkanisir Krueng Mane faces the problem of a high defect rate in retreaded tire products, such as cracked, torn, and peeled tires, which is caused by improper settings of production process parameters, namely temperature, pressure, and curing time. Based on production data from January to December 2024, the total production reached 4,755 units with 147 defective tires, resulting in an average defect rate of 3.07%, which exceeds the company's maximum tolerance limit of 1%. This study aims to determine the optimal combination of process parameters to reduce the number of defects in retreaded tire production using the Taguchi method. The research methodology was conducted through Taguchi experimental design with Signal to Noise Ratio (S/N Ratio) analysis using the smaller-is-better approach and Analysis of Variance (ANOVA) to identify the contribution of each process factor. The results indicate that temperature has the largest contribution to product defects at 34.14%, followed by curing time at 13.96%. The optimal parameter combination obtained consists of a temperature of 115°C, a pressure of 8 bar, and a curing time of 165 minutes. Confirmation experiments show a reduction in the average defect rate compared to the initial production conditions. Therefore, it can be concluded that the application of the Taguchi method is effective in improving the quality of retreaded tire products at CV. Rapi Vulkanisir Krueng Mane.

Keywords: Retreaded Tire, Taguchi Method, Product Quality, Quality Control

PENDAHULUAN

Industri otomotif memiliki peran strategis dalam mendukung mobilitas masyarakat dan pertumbuhan perekonomian, seiring dengan meningkatnya jumlah kendaraan bermotor dari tahun ke tahun. Peningkatan tersebut berdampak langsung pada tingginya kebutuhan akan ban kendaraan, baik ban baru maupun ban hasil daur ulang. Salah satu alternatif yang banyak dikembangkan untuk menekan biaya produksi sekaligus mendukung keberlanjutan lingkungan adalah proses vulkanisir ban, yaitu proses pemanfaatan kembali ban bekas dengan struktur dasar yang masih layak melalui penambahan lapisan tapak baru. Proses vulkanisir tidak hanya mampu mengurangi konsumsi bahan baku karet alam, tetapi juga berkontribusi dalam mengurangi limbah ban yang sulit terurai di lingkungan [7][18].

CV. Rapi Vulkanisir merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang produksi ban vulkanisir dan berlokasi di Kecamatan Muara Batu, Aceh Utara, Provinsi Aceh. Dalam kegiatan produksinya, perusahaan menghadapi permasalahan terkait konsistensi kualitas produk.

Berdasarkan data produksi tahun 2024, total produksi ban mencapai 4.755 unit dengan jumlah produk cacat sebanyak 147 unit. Persentase kecacatan rata-rata sebesar 3,07%, yang jika ditinjau berdasarkan ukuran ban menunjukkan bahwa ban berukuran 750/16 memiliki persentase cacat sebesar 3,04%, sedangkan ban berukuran 1000/20 mencapai 3,16%. Selain itu, data bulanan memperlihatkan fluktuasi tingkat kecacatan, dengan persentase tertinggi terjadi pada bulan April sebesar 5,76%, diikuti Februari sebesar 4,49% dan Maret sebesar 3,57%. Jenis kecacatan yang dominan meliputi retak, koyak, dan terkelupas, yang sebagian besar disebabkan oleh ketidaksesuaian parameter proses seperti suhu, tekanan, dan waktu pemanasan pada proses vulkanisir [3][8].

Berdasarkan standar internal perusahaan, batas toleransi kecacatan yang ditetapkan adalah sebesar 1%. Namun demikian, tingkat kecacatan aktual yang mencapai 3,07% menunjukkan bahwa kinerja proses produksi CV. Rapi Vulkanisir masih belum memenuhi target kualitas yang diharapkan. Kondisi ini mengindikasikan perlunya evaluasi dan perbaikan proses secara sistematis untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab kecacatan serta menentukan kombinasi parameter proses yang optimal guna menekan tingkat cacat produk [2][17].

Berbagai penelitian sebelumnya telah menerapkan metode pengendalian dan peningkatan kualitas seperti *Statistical Quality Control (SQC)*, *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*, maupun pendekatan trial and error dalam industri manufaktur. Namun, metode-metode tersebut umumnya belum mampu memberikan solusi optimasi parameter proses secara efisien, khususnya pada proses dengan banyak variabel yang saling berinteraksi. Research gap dalam penelitian ini terletak pada belum optimalnya pemanfaatan metode optimasi berbasis desain eksperimen untuk menentukan kombinasi parameter proses vulkanisir ban yang paling berpengaruh terhadap penurunan kecacatan produk, khususnya pada industri ban vulkanisir skala menengah [1][3][4].

Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode Taguchi sebagai pendekatan utama dalam peningkatan kualitas proses vulkanisir ban di CV. Rapi Vulkanisir. Metode Taguchi dipilih karena mampu mengidentifikasi faktor-faktor kritis dan menentukan kombinasi parameter proses optimal dengan jumlah eksperimen yang relatif minimal, sehingga lebih efisien dari segi waktu dan biaya dibandingkan metode kualitas konvensional. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan rekomendasi perbaikan proses yang aplikatif serta berkontribusi dalam menurunkan tingkat kecacatan produk sesuai dengan standar yang ditetapkan perusahaan [2][6][7].

METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen untuk meningkatkan kualitas proses produksi ban vulkanisir di CV. Rapi Vulkanisir. Metode utama yang digunakan adalah metode *Taguchi*, yang merupakan bagian dari *Design of Experiments (DoE)*, untuk menentukan kombinasi parameter proses optimal yang mampu meminimalkan tingkat kecacatan produk [9].

Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas merupakan pendekatan sistematis yang bertujuan untuk memastikan produk yang dihasilkan sesuai dengan standar mutu yang telah ditetapkan. Menurut Heizer dan Render, pengendalian kualitas adalah proses pemantauan output produksi untuk menjamin kesesuaian produk terhadap spesifikasi mutu serta melakukan tindakan korektif apabila terjadi

penyimpangan [1]. Putra dan Nurlaili menambahkan bahwa pengendalian kualitas berperan penting dalam menjamin kepuasan pelanggan, menurunkan biaya produksi akibat cacat, menjaga reputasi perusahaan, serta meningkatkan efisiensi operasional [5].

Dalam konteks CV. Rapi Vulkanisir, pengendalian kualitas difokuskan pada pengurangan kecacatan produk yang timbul akibat ketidaksesuaian parameter proses vulkanisir [10].

Metode *Design of Experiment (DoE)*

Design of Experiment (DoE) merupakan metode ilmiah yang digunakan untuk merancang, melaksanakan, dan menganalisis eksperimen secara sistematis guna mengetahui pengaruh faktor-faktor input terhadap respon output suatu proses [4]. Penerapan *DoE* dalam penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengidentifikasi faktor proses yang berpengaruh signifikan terhadap kualitas ban vulkanisir.
2. Menentukan kondisi optimal parameter proses.
3. Mengurangi variasi proses produksi.
4. Meningkatkan pemahaman sistem produksi secara kuantitatif.
5. Mengurangi biaya dan waktu eksperimen melalui rancangan yang efisien [6].

Metode *Taguchi*

Metode *Taguchi* merupakan pendekatan desain eksperimen yang dikembangkan oleh Genichi Taguchi dan berfokus pada peningkatan kualitas melalui pengendalian variasi proses. Prinsip utama metode ini adalah bahwa kualitas harus dirancang sejak tahap awal proses produksi, bukan hanya diperiksa pada produk akhir [10].

Keunggulan metode Taguchi terletak pada penggunaan *Orthogonal Array (OA)* yang memungkinkan pengurangan jumlah eksperimen tanpa mengurangi keakuratan hasil, serta penggunaan rasio *Signal-to-Noise (S/N)* untuk mengevaluasi kestabilan dan konsistensi hasil eksperimen terhadap faktor gangguan (*noise*) [11][16].

Konsep *Loss Function* dan *Signal-to-Noise Ratio*

Konsep *Loss Function* digunakan untuk mengukur kerugian akibat penyimpangan hasil dari nilai target kualitas. Dalam metode Taguchi, karakteristik kualitas diklasifikasikan menjadi tiga jenis [8]:

1. *Smaller is Better*, digunakan untuk respon seperti jumlah cacat atau waktu proses.
2. *Larger is Better*, digunakan untuk respon seperti kekuatan atau efisiensi.
3. *Nominal is Best*, digunakan untuk karakteristik yang memiliki nilai target tertentu.

Rasio *Signal-to-Noise (S/N)* digunakan untuk mengukur performa dan kestabilan proses. Nilai *S/N* yang lebih tinggi menunjukkan kualitas proses yang lebih baik dan lebih tahan terhadap variasi [12].

Orthogonal Array (OA)

Orthogonal Array (OA) merupakan tabel rancangan eksperimen yang disusun secara statistik untuk menghasilkan kombinasi faktor dan level yang seimbang serta independen. Pemilihan jenis *OA* disesuaikan dengan jumlah faktor, jumlah level, dan derajat kebebasan yang dibutuhkan, sehingga eksperimen dapat dilakukan secara efisien dengan jumlah percobaan minimal [9].

Tahapan Penerapan Metode Taguchi

Penerapan metode Taguchi dalam penelitian ini dilakukan melalui tahapan berikut [6]:

1. Penentuan Variabel Respon (*Response Variable*)
Variabel respon adalah karakteristik kualitas yang diamati, yaitu tingkat kecacatan ban vulkanisir.
2. Penentuan Variabel Bebas (*Independent Variables*)
Variabel bebas merupakan parameter proses yang memengaruhi kualitas produk, seperti suhu, tekanan, dan waktu pemanasan.
3. Pengelompokan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan (*Control Factors* dan *Noise Factors*)
Faktor kontrol adalah variabel yang dapat diatur selama eksperimen, sedangkan faktor gangguan adalah variabel yang sulit dikendalikan secara langsung.
4. Penentuan Level Faktor (*Factor Levels*)
Setiap faktor ditentukan jumlah levelnya sesuai kondisi aktual proses produksi. Pemilihan level mempertimbangkan akurasi hasil dan efisiensi eksperimen.
5. Perhitungan Derajat Kebebasan (*Degree of Freedom*)
Derajat kebebasan dihitung untuk memastikan kecukupan jumlah eksperimen, dengan rumus:
 - a. DoF faktor = jumlah level – 1
 - b. Total DoF = jumlah DoF seluruh faktor dan interaksinya
6. Penentuan *Orthogonal Array*
Orthogonal Array dipilih berdasarkan total derajat kebebasan dan jumlah level faktor.
7. Pelaksanaan Eksperimen
Eksperimen dilakukan dengan pengulangan (*replication*) dan pengacakan (*randomization*) untuk memperoleh estimasi kesalahan eksperimen yang lebih akurat dan hasil yang representatif.

Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan rasio *Signal-to-Noise* (S/N) karena mampu mempertimbangkan nilai rata-rata dan variasi hasil eksperimen secara simultan. Perhitungan rasio S/N menggunakan persamaan [14]:

$$S/N = -10 \log_{10}(MSD) \quad (1)$$

dengan bentuk *Mean Square Deviation* (MSD) disesuaikan dengan karakteristik kualitas:

a. *Smaller is Better*

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad (2)$$

b. *Nominal is Best*

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2 \quad (3)$$

Analisis Varians (*Analysis of Variance* ($ANOVA$))

Analysis of Variance ($ANOVA$) digunakan untuk mengetahui kontribusi masing-masing faktor terhadap variasi respon kualitas. Tahapan $ANOVA$ meliputi perhitungan rata-rata respon,

total *sum of squares*, *mean square*, nilai *F-ratio*, serta kontribusi persentase setiap faktor. Hasil *ANOVA* digunakan untuk mengidentifikasi faktor paling signifikan yang memengaruhi kecacatan produk dan sebagai dasar penentuan parameter proses optimal [9][15].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari 2025 sampai penelitian selesai di CV.Rapi Vulkanisir yang berlokasi di Gampong Cot Seurani Kecamatan Muara Batu Kabupaten Aceh Utara. Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui pengumpulan data sekunder, yaitu berupa hasil percobaan produk ban vulkanisir. Adapun data kerusakan hasil percobaan produk ban vulkanisir pada CV. Rapi Vulkanisir dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 1. Data Hasil Percobaan Ban Vulkanisir

EXP	A	B	C	Rep 1	Rep 2	Rata-rata
1	105°C	6 Bar	135m	3	2	2,5
2	105°C	7 Bar	150m	2	3	2,5
3	105°C	8 Bar	165m	4	3	3,5
4	110°C	6 Bar	135m	2	1	1,5
5	110°C	7 Bar	150m	2	2	2
6	110°C	8 Bar	165m	3	2	2,5
7	115°C	6 Bar	135m	4	5	4,5
8	115°C	7 Bar	150m	3	4	3,5
9	115°C	8 Bar	165m	2	3	2,5

Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa produksi ban vulkanisir per hari sebanyak 36 ban, sehingga dalam satu replikasi selama 3 hari diperoleh total 108 ban. Penelitian ini menggunakan 2 replikasi untuk setiap kombinasi faktor, sehingga jumlah cacat yang ditampilkan merupakan hasil pengamatan dari 108 ban per replikasi dan menjadi dasar perhitungan pada analisis *Taguchi* [19].

Perhitungan Derajat Kebebasan

Adapun rumus yang digunakan untuk perhitungan derajat kebebasan adalah sebagai berikut:
 $Dof = nA - 1$

Tabel 2. Derajat Kebebasan

Faktor Kontrol	Derajat Bebas	Total
A	3-1	2
B	3-1	2
C	3-1	2
Total		6

Berdasarkan Tabel 2 hasil perhitungan menunjukkan bahwa derajat kebebasan faktor kontrol A, B, dan C masing-masing bernilai 2, sehingga total derajat kebebasan yang diperoleh adalah 6. Adapun perhitungan *average* sebagai berikut: $\bar{A} = \frac{Y_{A1} + Y_{A2} + \dots + Y_{An}}{n}$

Tabel 3. Nilai Respon Rata-Rata Setiap Faktor

	A	B	C
Level 1	2,83	2,83	2,50
Level 2	2,0	2,67	2,17

Level 3	3,50	2,83	3,33
Selisih	1,50	0,16	1,16
Ranking	1	3	2

Berdasarkan Tabel 3, faktor A menempati peringkat pertama, yang menunjukkan bahwa faktor tersebut memberikan kontribusi paling besar dalam menurunkan variansi produk cacat pada ban serta menjadi faktor yang paling berpengaruh. Faktor C berada pada urutan berikutnya, sedangkan faktor B menempati peringkat ketiga, yang mengindikasikan bahwa kontribusinya dalam mengurangi tingkat kecacatan ban relatif lebih kecil.

Tabel 4. Nilai Respon Rata-Rata

	A	B	C
Level 1	-9.08	-8.41	-9.08
Level 2	-6.04	-8.37	-6.75
Level 3	-10.74	-9.08	-10.04
Selisih	-4.70	-0.71	-3.29
Ranking	1	3	2

Berdasarkan Tabel 4, faktor A menempati peringkat pertama, yang menunjukkan bahwa faktor tersebut memberikan kontribusi paling besar dalam menurunkan variansi produk cacat yang dipengaruhi oleh suhu, sehingga menjadi faktor yang paling dominan terhadap kualitas ban. Faktor C berada pada peringkat berikutnya, sedangkan faktor B menempati peringkat ketiga, yang menandakan bahwa pengaruhnya terhadap pengurangan cacat pada ban vulkanisir relatif kecil [20].

Tabel 5. Analisis Varians Terhadap Rata-Rata

Sumber	Dof	SS	MS
A	2	3,39	3,39
B	2	0,06	0,06
C	2	2,06	2,06
Error	11	1,14	0,57
Total	17	9,46	-

Pooling Up Faktor

Penentuan nilai error dilakukan menggunakan metode *pooling up*, yaitu dengan menggabungkan faktor-faktor yang tidak berpengaruh signifikan ke dalam komponen error. Berdasarkan Tabel 4.10, faktor yang dinyatakan tidak signifikan adalah faktor B karena memiliki nilai mean square (MS) paling kecil. Selanjutnya, nilai MS pada faktor B digabungkan dengan nilai MS error melalui proses penjumlahan. Hasil penggabungan tersebut disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 6. Analisis Varians Penggabungan

Sumber	Dof	SS	MS
A	2	3,39	3,39
B		<i>Pooling up</i>	
C	2	2,06	2,06
Error	13	1,14	0,57
Total	17	6,59	

Pengujian hipotesa dan kesimpulan dengan tingkat kepercayaan 95% dilakukan terhadap faktor A dan C. Nilai F_{tabel} yang digunakan adalah $F_{0,05;2;13}$ sebesar 3,81. Apabila nilai uji F lebih kecil dari nilai F_{tabel} maka H_0 diterima, namun jika nilai uji F lebih besar dari F_{tabel} maka H_0 ditolak. Untuk F tabel dapat dilihat pada Lampiran 2.

a. Faktor A

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor A terhadap kecacatan suhu ban.

H_1 : Ada pengaruh faktor A terhadap kecacatan suhu ban.

Kesimpulan > Untuk Faktor A: $F_A = 5,95$ dan $F_{tabel} = 3,81 \rightarrow 5,95 < 3,81 \rightarrow H_0$ ditolak artinya ada pengaruh factor A terhadap kecacatan suhu ban.

b. Faktor C

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor C terhadap kecacatan.

H_1 : Ada pengaruh faktor C terhadap kecacatan.

Kesimpulan> Untuk Faktor C: $F_C = 3,61$ dan $F_{tabel} = 3,81 \rightarrow 3,61 < 3,81 \rightarrow H_0$ diterima artinya tidak ada pengaruh factor C terhadap kecacatan pada waktu ban.

Tabel 7. Persen Kontribusi

Sumber	Dof	SS	MS	F _{ratio}	SS ^{''}	P(%)
A	2	3,39	3,39	5,95	2,25	34,14
C	2	2,06	2,06	3,61	0,92	13,96
<i>Error</i>	13	1,14	0,57			
Total	17	6,59				

Berdasarkan Tabel 7 hasil analisis faktor A memiliki kontribusi paling besar terhadap rata-rata tingkat kecacatan ban, yaitu sebesar 34,14%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dengan metode *Taguchi* $L_9(3^3)$, diketahui bahwa ketiga faktor-suhu, tekanan, dan waktu berpengaruh terhadap jumlah cacat ban vulkanisir, namun dengan tingkat pengaruh yang berbeda. Faktor waktu pemasakan memiliki pengaruh relatif kecil terhadap kualitas ban dengan kontribusi sebesar 13,96%. Faktor suhu merupakan faktor paling berpengaruh dengan kontribusi terbesar yaitu 34,14%, yang berarti perubahan waktu vulkanisir sangat menentukan kualitas hasil akhir ban. Secara keseluruhan, kombinasi suhu 115°C, tekanan 8 bar, dan waktu 165 menit menghasilkan kondisi optimal dengan cacat paling sedikit. Hasil analisis Signal to Noise Ratio (S/N Ratio) dengan metode *Taguchi* menunjukkan adanya penurunan nilai rata-rata cacat pada tahap eksperimen konfirmasi dibandingkan dengan eksperimen *Taguchi*. Kondisi ini sesuai dengan karakteristik *Smaller is Better* yang diterapkan dalam penelitian ini. Pada kerusakan ban vulkanisir, nilai rata-rata hasil eksperimen *Taguchi* sebesar $3,07 \leq \mu_{prediksi}$ 5,13 sedangkan pada eksperimen konfirmasi diperoleh nilai $1,40 \leq \mu_{konfirmasi}$ 4,16. Sementara itu, nilai S/N Ratio pada eksperimen *Taguchi* tercatat sebesar $-11,77 \leq \mu_{prediksi}$ -9,71 dan pada eksperimen konfirmasi menunjukkan nilai $-11,91 \leq \mu_{konfirmasi}$ -9,15.

DAFTAR PUSTAKA

[1] J. Heizer, B. Render, and C. Munson, *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management*, 13th ed. New York, NY, USA: Pearson, 2023.

- [2] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 10th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2024.
- [3] P. Shahabudeen and K. Krishnaiah, *Applied Design of Experiments and Taguchi Methods*, 2nd ed. New Delhi, India: PHI Learning, 2021.
- [4] D. R. Putra and H. Nurlaili, *Manufaktur Berkelanjutan dan Ekonomi Sirkular*. Yogyakarta, Indonesia: Deepublish, 2023.
- [5] N. Kurniasih and P. Adhistian, "Pengendalian kualitas ban vulkanisir dengan metode statistical quality control (SQC)," *Jurnal Industri & Teknologi Samawa*, vol. 5, no. 2, pp. 48–55, 2024.
- [6] F. Rahmasari, E. W. Fogot, and T. A. Taufiqurrahman, "Optimasi metode Taguchi menggunakan VIKOR dalam pemilihan ban mobil," *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa dan Inovasi*, vol. 4, no. 1, pp. 13–24, 2022, doi: 10.35814/asiimetrik.v4i1.2435.
- [7] R. A. Rifani, S. D. S. Lukman, M. Machmud, and Hartati, "Implementasi ekonomi sirkular melalui daur ulang limbah ban bekas," *Panrita Abdi: Jurnal Pengabdian pada Masyarakat*, vol. 7, no. 4, pp. 764–771, 2023.
- [8] A. A. Pratama and Y. S. Nugroho, "Penerapan metode Taguchi untuk peningkatan kualitas produk manufaktur," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 24, no. 1, pp. 45–54, 2022.
- [9] M. S. Hidayat, R. Andriani, and L. Fitriani, "Analisis pengendalian kualitas proses produksi menggunakan SQC," *Jurnal Sistem dan Manajemen Industri*, vol. 6, no. 2, pp. 101–110, 2022.
- [10] S. Wignarajah and J. M. Lee, "Integration of Taguchi method and statistical process control for quality improvement," *International Journal of Industrial Engineering*, vol. 31, no. 3, pp. 215–226, 2024.
- [11] A. K. Singh and R. Kumar, "Quality improvement in manufacturing using Taguchi approach," *Materials Today: Proceedings*, vol. 72, pp. 3120–3125, 2023.
- [12] M. A. Hossain, S. Roy, and T. Debnath, "Statistical quality control applications in small manufacturing industries," *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 14, no. 4, pp. 678–690, 2021.
- [13] Y. Zhang and L. Wang, "Design of experiments-based optimization for sustainable manufacturing," *Sustainable Production and Consumption*, vol. 28, pp. 1265–1274, 2021.
- [14] R. Fitriani and D. Saputra, "Implementasi ekonomi sirkular pada industri manufaktur skala menengah," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 25, no. 2, pp. 89–98, 2024.
- [15] A. M. Bastos and P. R. Alves, "Circular economy practices in manufacturing systems," *Journal of Cleaner Production*, vol. 350, pp. 131456, 2022.
- [16] I. P. Sari and B. Santoso, "Peningkatan kualitas proses produksi dengan pendekatan Taguchi dan SQC," *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, vol. 21, no. 1, pp. 55–64, 2022.
- [17] R. Gupta, S. Sharma, and V. K. Jain, "Multi-response optimization using Taguchi and MCDM methods," *International Journal of Productivity and Quality Management*, vol. 38, no. 2, pp. 187–202, 2023.
- [18] A. R. Nugraha and T. Prabowo, "Pengendalian kualitas produk ban menggunakan peta kendali statistik," *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, vol. 13, no. 1, pp. 33–41, 2021.
- [19] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*, ed. revisi. Bandung, Indonesia: Alfabeta, 2022.
- [20] L. M. Putri, H. Setiawan, and D. Bangun, "Quality improvement strategy in manufacturing

Ade P. Rahayu, Subhan A. Gani, M. Zakaria. Saintek Vol. 10, No. 1, Juli 2026 pp. 39-47

using DOE approach,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1200, no. 1, pp. 012045, 2025.