

OPTIMASI PARAMETER KOMPOSISI KOMPOSIT SERAT KACA - KARBON
DENGAN METODE TAGUCHI

**(OPTIMIZATION OF COMPOSITION PARAMETERS OF GLASS FIBER -
CARBON COMPOSITES USING THE TAGUCHI METHOD)**

Eli Novita Sari⁽¹⁾, Dian Ridlo Pamuji⁽¹⁾ & Mohammad Abdul Wahid⁽¹⁾

⁽¹⁾ Prodi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri
Banyuwangi
Jl. Raya Jember Km.13 Labanasem Kabat Banyuwangi

Email: ridlodian@poliwangi.ac.id

Diterima: 15 April 2026. Disetujui: 31 Mei 2026. Dipublikasikan: 31 Mei 2026

ABSTRAK

Penggunaan material komposit pada bodi kendaraan listrik terus berkembang karena memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi. Namun, optimasi parameter manufaktur untuk memperoleh performa mekanik yang optimal, khususnya pada komposit berbasis honeycomb, masih memerlukan kajian lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kombinasi parameter proses yang menghasilkan kekuatan tarik optimum pada komposit berbasis honeycomb untuk aplikasi bodi kendaraan listrik. Parameter yang divariasikan adalah metode fabrikasi (hand layup dan vacuum), jenis serat (fiberglass, carbon, dan campuran), serta jumlah lapisan (4, 5, dan 6 layer). Desain eksperimen menggunakan matrik ortogonal L₁₈. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi optimal diperoleh pada metode vacuum, serat carbon, dan 6 lapisan dengan nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 754,56 Mpa. Analisis signal-to-noise ratio (S/N) mengindikasikan bahwa, jenis serat merupakan faktor paling dominan, diikuti jumlah lapisan dan metode fabrikasi. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa seluruh parameter memiliki $p < 0,05$, yang menandakan seluruh parameter berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik komposit.

Kata Kunci: Karbon, Kekuatan Tarik, Optimasi, Serat kaca, Taguchi

ABSTRACT

The use of composite materials in electric vehicle body structures has continued to grow due to their high strength-to-weight ratio. However, the optimization of manufacturing parameters to achieve optimal mechanical performance, particularly for honeycomb-based composites, still requires further investigation. This study aims to determine the optimal combination of process parameters that maximizes the tensile strength of honeycomb-based composites for electric vehicle body applications. The parameters investigated include the fabrication method (hand lay-up and vacuum), fiber type (fiberglass, carbon fiber, and hybrid), and number of layers (4, 5, and 6 layers). The experimental design was developed using the Taguchi method with an L₁₈ orthogonal array. The results indicate that the optimal parameter combination was achieved using the vacuum fabrication method, carbon fiber reinforcement, and six layers, resulting in the highest tensile strength of 754.56 MPa. Signal-to-noise (S/N) ratio analysis revealed that fiber type was the most influential factor, followed by the number of layers and fabrication method. Analysis of variance (ANOVA) showed that all investigated parameters had p-values below 0.05, indicating that they significantly affected the tensile strength of the composite.

PENDAHULUAN

Perkembangan kendaraan listrik dalam satu dekade terakhir menunjukkan peningkatan signifikan seiring semakin besarnya kebutuhan akan teknologi transportasi yang ramah lingkungan dan hemat energi [1]. Salah satu fokus utama dalam pengembangan kendaraan listrik adalah upaya menurunkan bobot kendaraan untuk meningkatkan efisiensi energi. Material komposit, khususnya yang diperkuat serat karbon, menjadi salah satu alternatif strategis karena memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, kekakuan yang baik, serta ketahanan korosi yang unggul.

Penggunaan material komposit dalam industri otomotif telah melonjak pesat sejak beberapa tahun terakhir seiring hasil penelitian yang menunjukkan bahwa material ini mampu menggantikan logam konvensional tanpa mengorbankan performa mekanik [2] [3]. Selain itu, integrasi serat karbon dalam struktur bodi kendaraan terbukti mampu menurunkan konsumsi energi hingga lebih dari 10% karena pengurangan massa total kendaraan [4].

Produksi komposit berbasis serat karbon dengan teknik laminasi modern menunjukkan peningkatan kekuatan tarik hingga lebih dari 20% dibanding metode konvensional [5], selain itu kombinasi penggunaan serat karbon dan serat kaca untuk mengurangi nilai rigit pada material karena sifat karbon yang kuat namun

rigitnya tinggi. Faktor lain adalah dari segi pembiayaan akan jauh lebih murah jika di hybrid serat karbon – serat kaca dibandingkan full serat karbon. Penelitian sebelumnya menunjukkan hasil penelitian yang melaporkan bahwa metode fabrikasi bertekanan rendah seperti *vacuum bagging* mampu meningkatkan impregnasi resin dan mengurangi void sehingga meningkatkan kekuatan material [6] [7]. Selain metode laminasi modern, struktur *multi-layer* pada komposit telah terbukti meningkatkan ketahanan bending dan modulus elastisitas [8]. Oleh karena itu, pengembangan bodi mobil listrik berbahan komposit serat karbon menjadi sangat relevan dengan kebutuhan industri otomotif masa kini [9].

Untuk mendapatkan hasil berupa kekuatan tarik yang optimal pada material komposit, diperlukan pengaturan variabel-variabel komposit yang tepat. Hal ini bertujuan meminimalkan waktu dan biaya yang diakibatkan oleh proses coba-coba. Untuk itu, diperlukan proses optimasi untuk mendapatkan kombinasi variabel proses material komposit yang tepat sehingga didapatkan variabel respon berupa kekuatan tarik yang optimal [10].

Salah satu metode optimasi yang sering digunakan adalah metode Taguchi [11]. Metode Taguchi adalah salah satu metode optimasi yang digunakan untuk mengendalikan kualitas suatu produk secara efektif [12] dan praktis untuk merancang eksperimen yang membantu

meningkatkan kinerja dan mengurangi variabilitas dalam proses [13].

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, penelitian sebelumnya hanya fokus pada pengaruh variabel material komposit seperti metode fabrikasi, jenis serat dan jumlah layer terhadap variabel respon seperti kekuatan tarik, akan tetapi penentuan kombinasi variabel-variabel proses untuk mendapatkan repons optimal belum banyak dilakukan, belum menggunakan desain eksperimen Taguchi dan belum mengombinasikan antara parameter metode fabrikasi, jenis serat, dan jumlah lapisan sekaligus dalam satu analisis [14] [15]. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan penelitian tentang pengaturan variabel-variabel proses material komposit agar didapatkan variabel proses berupa kekuatan tarik yang optimal.

MATERIAL DAN METODOLOGI

Variabel proses yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 3 faktor dengan level campuran seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Level campuran dipilih karena pada metode fabrikasi hanya *hand layup dan vacuum* yang sering digunakan. Kuat tarik merupakan variabel respon yang diamati pada penelitian ini.

Tabel 1. Variabel proses dan level

No	Variabel Proses	Level		
		1	2	3
1	Metode	<i>Hand layup</i>	<i>Vacuum</i>	-
2	Jenis serat	<i>Fiberglass</i>	<i>Carbon</i>	<i>Mix</i>
3	Layer	4	5	6

Derajat kebebasan pada penelitian ini ditentukan berdasarkan Tabel 1. Dalam metode Taguchi, derajat kebebasan (DOF) digunakan untuk menentukan jumlah informasi yang tersedia dalam suatu rancangan eksperimen. Nilai DOF setiap faktor diperoleh dari jumlah level faktor dikurangi satu (L-1), sedangkan DOF total ditentukan dari jumlah keseluruhan percobaan dikurangi satu (N-1). Derajat kebebasan untuk metode yang digunakan adalah 1, jenis serat adalah 2 dan jumlah lapisan adalah 2. Jadi total DOF dari setiap faktor dari penelitian ini adalah 5. Berdasarkan derajat kebebasan tersebut, maka matrik ortogonal yang digunakan adalah $L_{18} (2^1 \times 3^3)$ yang memenuhi syarat yaitu lebih besar atau sama dengan derajat kebebasan yaitu 5. Matrik ortogonal L_{18} yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 2. Adapun DOF error diperoleh dari selisih antara DOF total dan total DOF faktor. Nilai ini menunjukkan sisa derajat kebebasan yang tidak digunakan oleh faktor-faktor penelitian dan selanjutnya digunakan dalam ANAVA untuk memperkirakan error eksperimen.

Tabel 2. Ortogonal array L_{18}

Komb.	Kombinasi Faktor		
	Metode	Serat	Layer
1	1	1	1
2	1	1	2
3	1	1	3
4	1	2	1
5	1	2	2
6	1	2	3
7	1	3	1
8	1	3	2
9	1	3	3
10	2	1	1
11	2	1	2

Lanjutan Tabel 2 Ortogonal array L₁₈

Komb.	Kombinasi Faktor		
	Metode	Serat	Layer
12	2	1	3
13	2	2	1
14	2	2	2
15	2	2	3
16	2	3	1
17	2	3	2
18	2	3	3

Matriks yang digunakan sebagai pengikat pada penelitian ini adalah berupa polimer (resin epoxy) ditambah hardener dengan perbandingan 100:1 dan waktu tunggu selama maksimal 10 menit dengan variasi bahan penguat berupa *fiberglass*, *fibercarbon* dan mix atau campuran antara *fiberglass+carbon fiber*. Material uji berupa komposit yang digunakan pada penelitian ini seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Dimensi spesimen uji tarik dan metode pembuatannya sesuai dengan ASTM 638-02 dan pembuatan spesimen bending serta metode pembuatannya sesuai standar ASTM D790-02.



Gambar 1. Komposit Material Uji

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian berupa kuat tarik atau *tensile strength* untuk masing masing kombinasi percobaan pada Tabel 2 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil penelitian

Komb.	Metode	Serat	Layer	TS (Mpa)
1	1	1	1	218.96
2	1	1	2	241
3	1	1	3	283.16
4	1	2	1	340.56
5	1	2	2	423.16
6	1	2	3	429.24
7	1	3	1	402.66
8	1	3	2	603.39
9	1	3	3	688.98
10	2	1	1	317.06
11	2	1	2	477.31
12	2	1	3	526.22
13	2	2	1	360.54
14	2	2	2	394.21
15	2	2	3	404.86
16	2	3	1	434.13
17	2	3	2	736.1
18	2	3	3	754.56

Berdasarkan Tabel 3, kemudian dilakukan perhitungan *signal to noise (S/N)* untuk hasil penelitian berupa kuat tarik. *signal to noise (S/N)* berfungsi untuk mengetahui level faktor yang berpengaruh terhadap respon [16]. S/N rasio dihitung berdasarkan karakteristik respon. Karakteristik kuat tarik adalah semakin besar semakin baik sesuai dengan persamaan 1.

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

Hasil perhitungan S/N rasio untuk keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. S/N rasio

No.	TS (Mpa)	S/N TS
1	218.96	46.8073
2	241	47.6403
3	283.16	49.0406
4	340.56	50.6439
5	423.16	52.5301
6	429.24	52.6540
7	402.66	52.0988
8	603.39	55.6120
9	688.98	56.7641
10	317.06	50.0228

No.	TS (Mpa)	S/N TS
11	477.31	53.5760
12	526.22	54.4233
13	360.54	51.1391
15	404.86	52.1461
16	434.13	52.7524
17	736.1	57.3387
18	754.56	57.5539

Berdasarkan Tabel 4, dapat dilihat bahwa kombinasi percobaan 18, yaitu metode yang digunakan *vacuum* dengan serat *carbon* dan jumlah layer 6, memiliki nilai S/N rasio tertinggi. Hal tersebut karena metode *vacuum* menghasilkan distribusi resin yang lebih homogen dan mengurangi *void content* sehingga transfer beban antar matriks dan serat menjadi lebih efektif. Artinya kombinasi parameter tersebut memiliki pengaruh yang paling besar terhadap respon. Setelah nilai S/N rasio didapatkan, selanjutnya dilakukan perhitungan rata-rata S/N rasio seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

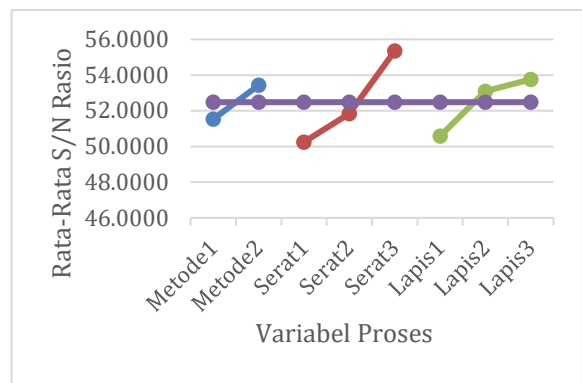
Tabel 5. Nilai rata-rata rasio S/N

Variabel	Level		
	1	2	3
Metode	51.53	53.43	-
Serat	50.25	51.84	55.35
Lapis	50.58	53.10	53.76
Rata-rata	52.48		

Berdasarkan Tabel 5, dapat dilakukan plotting untuk masing-masing variabel proses untuk setiap levelnya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan hubungan antara variabel proses dan level-levelnya dengan nilai rata-rata S/N rasio. Berdasarkan gambar tersebut, kombinasi variabel-variabel proses yang mendapatkan respon berupa kuat tarik atau tensile strength

dapat ditentukan. Level dari variabel proses yang menghasilkan respon optimal dapat dilihat pada Tabel 6.



Gambar 2. Grafik rata-rata S/N

Tabel 6. Kombinasi level variabel proses untuk respon optimal

Variabel Proses	Level	Nilai
Metode	2	Vacum
Serat	3	Carbon
Layer	3	6

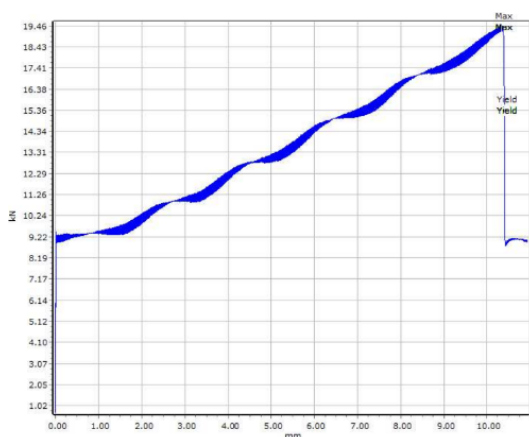
Setelah kombinasi level variabel proses untuk respon optimal didapatkan, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis variansi atau ANAVA seperti ditunjukkan pada Tabel 7. Analisis variansi (ANAVA) digunakan untuk mengetahui variabel-variabel proses yang memiliki pengaruh secara signifikan dan besarnya kontribusi variabel-variabel proses terhadap respon yang diteliti [17].

Tabel 7. Analisis variansi

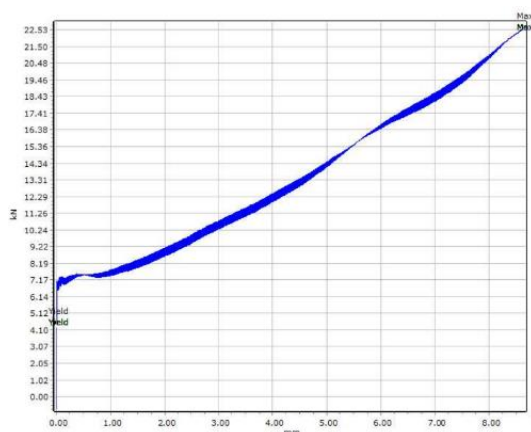
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	P
Metode	1	16.2	16.2	16.29	0.03
Serat	2	81.8	81.8	40.9	0.00
Layer	2	33.93	33.93	16.96	0.01
Error	12	29.89	29.89	2.49	
Total	17	161.81			

Tabel 7 menunjukkan bahwa *p-value* untuk semua variabel proses berupa metode, jenis serat dan jumlah layer lebih kecil dari pada α ($\alpha = 0,05$), sehingga

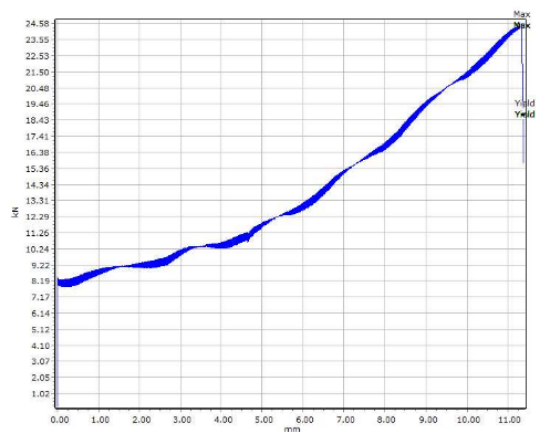
variabel proses tersebut secara statistik memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel respon berupa kuat tarik. Berdasarkan tabel tersebut, dapat dilihat bahwa, variabel proses jenis serat memiliki pengaruh yang besar terhadap kuat tarik. Kemudian diikuti oleh jumlah layer dan metode yang digunakan. Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat bahwa serat carbon mampu menghasilkan nilai kuat tarik yang paling besar dibandingkan serat kaca atau *fiber glass* dan serat campuran carbon dengan *fiber glass* pada metode serta jumlah layer yang sama. Grafik hubungan antara gaya dengan displacement dengan variasi *fiber glass*, *carbon* dan campuran atau mix pada metode dan jumlah layer yang sama dapat dilihat pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 3. Grafik hubungan displacement dengan gaya untuk *fiberglass*



Gambar 4. Grafik hubungan displacement dengan gaya untuk *carbon*



Gambar 5. Grafik hubungan displacement dengan gaya untuk *fiberglass+carbon*

Gambar 3 merupakan gambar hasil uji tarik material fiberglass yang terlihat bahwa nilai tariknya lebih rendah daripada Gambar 4 (mix fiberglass dan karbon) dan Gambar 5 (karbon). Sesuai teori uji tarik bahwa material dengan tensile strength tinggi cenderung lebih getas, atau elongation lebih rendah.. Semakin rendah nilai tarik maka material tersebut semakin ulet. Dari hasil penelitian diatas dapat dilihat bahwa komposit material karbon memiliki nilai tarik paling tinggi. Sehingga material ini paling cocok digunakan untuk industry Manufaktur menggantikan metal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan, proses optimasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kombinasi level-level variabel proses yang menghasilkan kuat tarik (TS) yang optimum adalah sebagai berikut:

1. Metode yang digunakan level 2 yaitu metode vacum,
2. Serat yang digunakan level 3 yaitu serat carbon,
3. Jumlah lapisan level 3 yaitu 6 lapis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Politeknik Negeri Banyuwangi melalui Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat yang telah memberikan dukungan pendanaan terhadap penelitian yang telah dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ferlita, S. Arum, Sudarti And Yushardi, "Analisis Efisiensi Kendaraan Listrik Sebagai Salah Satu Transportasi Ramah Lingkungan Pengurang Emisi Karbon," *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, Vol. Vol. 7, No. 2, Pp. 356-365, 2023.
- [2] S. B. Setiajit, Sriyanto, R. A. Pratama, I. Permana And M. Ikhsan, "Komposit Serat Gelas Dengan Penambahan Filler Mgo Terhadap Ketahanan Bakar Dan Kekuatan Bending," *Teknika Sttkd : Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, Vol. 8, No. 2, Pp. 350-354, 2022.
- [3] Agusnur And Anala, "Pengembangan Material Komposit Ramah Lingkungan Untuk Aplikasi Struktur Ringan Pada Industri Otomotif," *Jurnal Teknologi Rekayasa*, Vol. 3, No. 2, Pp. 8-14, 2023.
- [4] H. Herlambang, A. Dwiputra And A. G. Sagala, "Analisis Dampak Penggunaan Material Komposit Ringan Pada Efisiensi Bahan Bakar Mesin Kendaraan Bermotor," *Teknika Sttkd : Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, Vol. 11, No. 1, Pp. 142-156, 2025.
- [5] A. D. Salam, "Pengaruh Kekuatan Lapisan Serat Karbon Dengan Inti Lantor Soric Menggunakan Uji Tarik," *Jtm*, Vol. 14, No. 3, Pp. 49-54, 2025.
- [6] M. Z. Ramdhan, F. Setiawan And D. Wicaksono, "Perbandingan Metode Vacuum Infusion & Vacuum Bagging Pada Komposit Berpenguat Fiber Karbon Kevlar," *Teknika Sttkd : Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, Vol. 9, No. 1, Pp. 99-106, 2023.
- [7] I. F. Hardiyanti, N. L. Muzayadah, A. Nugroho And R. S. Aritonang, "Efek Metode Fabrikasi Terhadap Sifat Mekanik Pada Material Komposit Sandwich 3c3 Karbon Ud 12 K 0°/Divinycell Core," *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol. 15, No. 2, Pp. 669-683, 2024.
- [8] Anwar, Badaruddin, Djuanda, E.Safitri And S. J, "Analisis Kekuatan Bending Komposit Dengan Perbandingan Reinforcement Serat Kelapa 60 Persen Dan Matriks Resin Epoxy 40 Persen," *LP2M Universitas Makasar*, Pp. 2280-2287, 2022.
- [9] Z. Ramadan, B. Saputra, Yasin, Y. Prasetia, Sudarsono And N. Endriatno, "Rancang Bangun Bodi Mobil Listrik Menggunakan Fiberglass," *Piston: Jurnal Teknologi*, Vol. 10, No. 1, Pp. 01-07, 2025.
- [10] Widantha And K. Widhi, "Optimisasi Kekerasan Komposit Alami Dengan Penguat Serat Kelapa Dan Alumina Menggunakan Metode Taguchi," *Jurnal Inovasi Teknik Dan Edukasi Teknologi*, Vol. 3, No. 1, Pp. 40-46, 2023.
- [11] S. Syach, A. S. Nurrohkayati And S. H. Pranoto, "Optimasi Parameter Untuk Kekasaran Permukaan Pada Proses Pembubutan Baja St 37 Dengan Menggunakan Metode Taguchi," *Teknosains: Jurnal Sains, Teknologi Dan Informatika*, Vol. 9, No. 2, Pp. 113-120, 2022.
- [12] S. N. Intan And E. Supriyadi, "Identifikasi Faktor Yang Mempengaruhi Kualitas Produk Dan Perancangan Perbaikan Kualitas Produk Menggunakan Metode Taguchi: Systematic Literature Review," *Sistemik : Jurnal Ilmiah Nasional Bidang Ilmu Teknik*, Vol. 12, No. 1, Pp. 77-81, 2024.
- [13] Ahadi, G. Dwijuna, Pratiwi, S. Wahyu, Isnarwaty And D. Putri, "Pendekatan Desain Eksperimen Taguchi Sebagai Metode Optimasi Pada Bidang Teknik Dan Industri (Studi Kasus Pada Proses Bundling Kemasan)," *Sainstech Innovation Journal*, Vol. 6, No. 2, Pp. 380-388, 2023.

- [14] R. Susanto, F. Paundra, M. Syaukani, I. Prabowo And S. Rojikin, "Pengaruh Waktu Perendaman Alkali Pada Serat Akar Wangi Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Bermatriks Resin Poliuretan," *Jurnal Teknik Mesin Journal Of Mechanical Engineering (J-Meeg)*, Vol. 4, No. 1, Pp. 350-358, 2025.
- [15] D. A. Widhiansyah And Widjanarko, "Pengaruh Perlakuan Alkali Dan Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Impact Komposit Serat Sabut Kelapa (Cocofiber) - Epoxy," *Jurnal Teknik Mesin Journal Of Mechanical Engineering (J-Meeg)*, Vol. 4, No. 1, Pp. 359-364, 2025.
- [16] D. R. Pamuji, G. S. Prayogo And M. D. Ayatullah, "Optimasi Parameter Kincir Air Tipe Undershot Dengan Metode Taguchi," *Majamecha*, Vol. 4, No. 1, Pp. 34-43, 2022.
- [17] D. R. Pamuji, M. A. Wahid, A. Rohman, A. A. Sonief And M. A. Choiron, "Parameter Optimization Of Assab Xw 42 Tool Steel On End Milling Process With Mqcl Using Taguchi-Wpca," *Ijaseit : International Journal On Advanced Science Engineering Information Technology*, Vol. 10, No. 6, Pp. 2402-2409, 2020.