

Pengaruh Waktu Perendaman NaCl terhadap Ketangguhan Impak dan Morfologi Patahan Komposit Serat *Sansevieria* Bermatriks Epoksi

Risa Lasarus^{1*}, Formanto Paliling², Christof Gerald Simon³, Simon ka'ka⁴, Festo Andre Hardinsi⁵, Yusri Anugerah Manapa Ambabunga⁶

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Toraja

⁴ Jurusan Teknik Mesin, Prodi Mekatronika, Politeknik Negeri Ujung Pandang

⁵ Jurusan Teknik Mesin, Prodi Manufaktur, Politeknik Negeri Fakfak

⁶ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Toraja

e-mail: *risalasarus@gmail.com

Abstrak

Serat *Sansevieria* berpotensi digunakan sebagai penguat komposit berbasis polimer. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh waktu perendaman serat *Sansevieria* dalam larutan natrium klorida (NaCl) selama 5, 7, dan 9 hari terhadap ketangguhan impak dan morfologi patahan komposit bermatriks epoksi. Serat yang telah direndam dikeringkan dan digunakan sebagai penguat komposit melalui metode continuous lay-up. Pengujian ketangguhan dilakukan menggunakan uji impak Charpy, sedangkan morfologi patahan diamati menggunakan mikroskop optik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata ketangguhan impak meningkat seiring bertambahnya waktu perendaman, yaitu sebesar 0,0400 J/mm² pada 5 hari, 0,0633 J/mm² pada 7 hari, dan 0,0840 J/mm² pada 9 hari. Dengan demikian, perendaman selama 9 hari menghasilkan rata-rata ketangguhan impak tertinggi di antara variasi yang diuji. Pengamatan morfologi patahan menunjukkan adanya fitur fiber pull-out dan fiber break yang menggambarkan mekanisme kerusakan komposit. Namun, pengamatan visual tersebut belum cukup untuk memastikan peningkatan adhesi serat–matriks secara kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi waktu perendaman NaCl berkaitan dengan perubahan ketangguhan impak komposit pada rentang pengujian yang dilakukan. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengevaluasi variasi waktu perendaman yang lebih luas dan memperkuat analisis statistik guna memperoleh dasar yang lebih kuat dalam menentukan kondisi perlakuan yang sesuai.

Kata kunci: *Sansevieria*, NaCl, ketangguhan impak, morfologi patahan, komposit epoksi.

Abstract

Sansevieria fiber has the potential to be used as reinforcement in polymer-based composites. This study aimed to analyze the effect of immersing *Sansevieria* fibers in sodium chloride (NaCl) solution for 5, 7, and 9 days on the impact toughness and fracture morphology of epoxy matrix composites. The immersed fibers were dried and used as composite reinforcement through the continuous lay-up method. Impact toughness was evaluated using the Charpy impact test, while fracture morphology was examined using an optical microscope. The results showed that the average impact toughness increased with increasing immersion time, reaching 0.0400 J/mm² after 5 days, 0.0633 J/mm² after 7 days, and 0.0840 J/mm² after 9 days. Thus, the 9-day immersion treatment produced the highest average impact toughness among the tested conditions. Fracture morphology observations revealed features of fiber pull-out and fiber break, indicating the failure mechanisms of the composite. However, these visual observations were insufficient to quantitatively confirm an improvement in fiber–matrix adhesion. The

findings indicate that variations in NaCl immersion time were associated with changes in the impact toughness of the composite within the range of conditions investigated. Further research is needed to evaluate a broader range of immersion times and strengthen the statistical analysis to establish a more reliable basis for determining suitable fiber treatment conditions.

Keywords: *Sansevieria, NaCl, impact toughness, fracture morphology, epoxy composite.*

1. PENDAHULUAN

Pengembangan material komposit berbasis serat alam terus mendapat perhatian dalam bidang rekayasa material karena menawarkan alternatif terhadap material penguat sintetis. Serat alam berpotensi digunakan sebagai penguat komposit karena ketersediaannya, karakteristik mekaniknya, dan peluang pemanfaatannya dalam berbagai aplikasi teknik. Salah satu serat alam yang berpotensi dikembangkan adalah *Sansevieria*, yang telah diteliti sebagai penguat komposit bermatriks epoksi. Murugan dan Senthil Kumar [1], mengkaji sifat mekanik dan dinamik komposit *Sansevieria roxburghiana/epoxy* menggunakan desain eksperimen Taguchi. Penelitian tersebut menunjukkan relevansi pengembangan komposit berbasis *Sansevieria* serta perlunya evaluasi parameter yang memengaruhi karakteristik material. Meskipun demikian, pengaruh waktu perendaman serat dalam larutan natrium klorida (NaCl) terhadap ketangguhan impak dan morfologi patahan komposit masih perlu dikaji secara khusus.

Perlakuan serat sebelum proses fabrikasi merupakan salah satu aspek penting dalam pengembangan komposit serat alam. Perlakuan bertujuan memodifikasi kondisi permukaan serat agar interaksinya dengan matriks polimer dapat berlangsung lebih baik. Ramadhani dan Widodo [2], meneliti pengaruh perendaman senyawa kalium hidroksida (KOH) terhadap sifat mekanik komposit serat *Sansevieria*. Selain itu, Adeniy *et al.* [3] membahas perkembangan penelitian serat *Sansevieria trifasciata* dan kompositnya. Penelitian lain oleh [4] mengkaji peningkatan kekuatan tarik dan morfologi serat *Sansevieria trifasciata* melalui perlakuan asap cair dan gelombang mikro. Berbagai pendekatan tersebut menunjukkan bahwa perlakuan serat merupakan salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam pengembangan komposit. Namun, perlakuan kimia dan fisik memiliki mekanisme yang berbeda sehingga pengaruh suatu perlakuan tidak dapat langsung disamakan dengan perlakuan lainnya.

Dalam penelitian ini, larutan NaCl digunakan sebagai media perendaman dengan variasi waktu 5, 7, dan 9 hari. Pemilihan NaCl dimaksudkan untuk mengevaluasi kemungkinan pengaruh perendaman larutan garam terhadap karakteristik serat dan respons impak komposit. Berbeda dari perlakuan KOH yang bersifat alkalis serta perlakuan asap cair dan gelombang mikro yang melibatkan mekanisme berbeda, penelitian ini memusatkan perhatian pada variasi durasi perendaman NaCl. Secara hipotetis, perendaman dapat memengaruhi kebersihan permukaan serat dan interaksinya dengan matriks. Namun, perubahan kandungan lignin, hemiselulosa, maupun komposisi kimia serat tidak dapat dipastikan tanpa pengujian karakterisasi yang sesuai. Demikian pula, peningkatan adhesi serat–matriks perlu ditafsirkan secara hati-hati apabila hanya didasarkan pada pengamatan visual patahan.

Ketangguhan impak merupakan salah satu karakteristik penting untuk mengevaluasi kemampuan komposit menyerap energi ketika menerima beban kejut. Selain pengujian mekanik, pengamatan morfologi patahan dapat memberikan informasi kualitatif mengenai mekanisme kerusakan, seperti *fiber pull-out*, *fiber break*, dan retak matriks. Hubungan antara perlakuan serat dan respons mekanik perlu dianalisis dengan mempertimbangkan bahwa pola patahan merupakan bukti pendukung, bukan pengukuran langsung kekuatan ikatan antarmuka. Penelitian Pitchumani *et al.* [5] membahas karakteristik mekanik komposit serat alam hibrida menggunakan pendekatan Taguchi dan *Grey Relational Analysis*. Kiran *et al.* [6] juga menerapkan desain eksperimen Taguchi untuk mengevaluasi pengaruh parameter proses

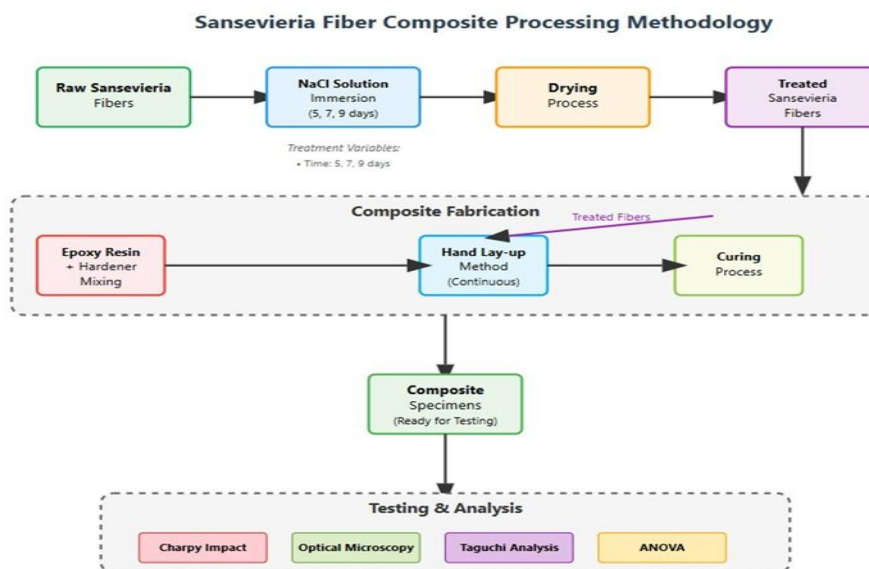
terhadap sifat mekanik komposit ramah lingkungan. Studi-studi tersebut memberikan landasan metodologis mengenai pentingnya pengaturan parameter proses dalam penelitian komposit.

Metode Taguchi dapat digunakan untuk merancang eksperimen dan mengevaluasi pengaruh faktor proses apabila faktor, level, rancangan *orthogonal array*, serta respons pengujian ditetapkan secara tepat. Penerapan metode tersebut pada penelitian komposit juga ditemukan dalam kajian optimasi ketahanan retak material komposit [7] dan optimasi beberapa respons sifat mekanik komposit [8]. Meskipun demikian, penerapan Taguchi harus sesuai dengan rancangan eksperimen yang benar-benar dilaksanakan. Apabila penelitian hanya membandingkan satu faktor, yaitu waktu perendaman, analisis perlu menjelaskan nilai tambah penggunaan Taguchi dibandingkan analisis satu faktor. Oleh karena itu, interpretasi hasil optimasi tidak boleh melampaui faktor, level, dan data respons yang tersedia dalam rancangan penelitian.

Berdasarkan uraian tersebut, kesenjangan penelitian yang dikaji adalah perlunya evaluasi khusus terhadap hubungan antara waktu perendaman serat *Sansevieria* dalam larutan NaCl dan ketangguhan impact komposit bermatriks epoksi, disertai pengamatan morfologi patahan. Penelitian ini bertujuan menganalisis ketangguhan impact komposit pada waktu perendaman 5, 7, dan 9 hari serta mendeskripsikan karakteristik morfologi patahannya. Hasil penelitian diharapkan memberikan informasi awal mengenai respons komposit terhadap variasi waktu perendaman NaCl. Kesimpulan mengenai kondisi terbaik dibatasi pada variasi yang diuji, sedangkan penetapan kondisi optimum secara menyeluruh memerlukan pengujian pada rentang waktu yang lebih luas dan rancangan eksperimen yang tervalidasi.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Metode



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk menganalisis pengaruh variasi waktu perendaman serat *Sansevieria* dalam larutan natrium klorida (NaCl) terhadap ketangguhan impact dan morfologi patahan komposit bermatriks epoksi. Tahapan penelitian disusun secara sistematis, dimulai dari ekstraksi serat hingga pengujian dan analisis hasil komposit.

Tahap pertama adalah ekstraksi serat *Sansevieria* dari daun tanaman. Serat yang diperoleh selanjutnya direndam dalam larutan NaCl dengan tiga variasi waktu perendaman, yaitu 5, 7, dan

9 hari. Penggunaan NaCl sebagai perlakuan serat memiliki relevansi dengan penelitian sebelumnya pada komposit serat sisal bermatriks epoksi yang mengevaluasi pengaruh perlakuan NaCl terhadap karakteristik komposit [9]. Perlakuan dalam penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi hubungan antara waktu perendaman dan ketangguhan impak serta morfologi patahan komposit. Perubahan karakteristik permukaan serat dan interaksi serat–matriks dipandang sebagai kemungkinan mekanisme yang perlu dievaluasi melalui hasil pengujian, bukan sebagai bukti langsung peningkatan adhesi.

Setelah perendaman, serat dikeringkan hingga siap digunakan sebagai penguat komposit. Serat tersebut kemudian difabrikasi bersama resin epoksi dan *hardener* menggunakan metode *hand lay-up*. Pada proses ini, serat ditempatkan di dalam cetakan dan dibasahi dengan sistem resin dan *hardener*. Komposit yang telah dibentuk selanjutnya menjalani proses *curing* untuk memungkinkan pengerasan matriks sebelum dilakukan pengujian.

Komposit yang telah mengeras kemudian diuji menggunakan metode impak Charpy untuk memperoleh nilai ketangguhan impak. Pengujian impak Charpy telah digunakan dalam penelitian komposit serat alam bermatriks epoksi untuk mengevaluasi energi yang diserap material ketika mengalami patahan [10]. Standar pengujian, dimensi spesimen, keberadaan dan ukuran takik, serta persamaan perhitungan ketangguhan perlu disesuaikan dengan prosedur pengujian yang benar-benar digunakan. Selain itu, pengamatan menggunakan mikroskop optik dilakukan untuk mengidentifikasi morfologi makro patahan, termasuk keberadaan fitur *fiber pull-out* dan *fiber break*. Kedua fitur tersebut digunakan untuk mendeskripsikan pola kerusakan yang teramati. Pengamatan optik tidak digunakan sebagai satu-satunya dasar untuk menyimpulkan peningkatan adhesi serat–matriks secara kuantitatif [11].

Data hasil pengujian impak dianalisis dengan membandingkan nilai ketangguhan pada waktu perendaman 5, 7, dan 9 hari. Metode Taguchi dapat digunakan untuk mengevaluasi respons berdasarkan rancangan percobaan dan tingkat faktor yang ditetapkan, sedangkan ANOVA digunakan untuk mengevaluasi kontribusi dan signifikansi faktor berdasarkan data eksperimen [10]. Oleh karena itu, penerapan kedua metode tersebut perlu didukung oleh penyajian rancangan percobaan, perhitungan *Signal-to-Noise Ratio* (S/N Ratio), dan hasil ANOVA yang sesuai dengan data penelitian. Interpretasi hasil dibatasi pada ketiga variasi waktu yang diuji. Dengan demikian, waktu perendaman 9 hari hanya dapat dinyatakan sebagai kondisi yang menghasilkan nilai ketangguhan tertinggi di antara variasi yang diuji, bukan sebagai waktu optimum universal.

2.2 Alat Dan Bahan



Gambar 2. Serat *Sansevieria*.

Serat yang digunakan dalam penelitian ini merupakan serat alam dari tanaman *Sansevieria trifasciata*. Serat *Sansevieria* termasuk serat lignoselulosa yang berpotensi digunakan sebagai penguat komposit polimer karena memiliki densitas relatif rendah dan karakteristik mekanik yang mendukung pengembangan material komposit [12]. Serat ini tersusun atas komponen lignoselulosa, termasuk selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Karakteristik serat serta interaksinya dengan matriks polimer dipengaruhi oleh komposisi,

kondisi permukaan, dan metode perlakuan yang digunakan. Dalam penelitian ini, serat diekstraksi dari daun, kemudian direndam dalam larutan natrium klorida (NaCl) dengan variasi waktu 5, 7, dan 9 hari untuk mengevaluasi perubahan ketangguhan impak dan morfologi patahan komposit. Pengurangan komponen amorf atau pengotor serta peningkatan kompatibilitas serat–matriks dipandang sebagai kemungkinan mekanisme perlakuan, bukan sebagai hasil yang telah dipastikan, karena memerlukan pengujian atau karakterisasi pendukung. Matriks yang digunakan adalah resin epoksi dan *hardener*. Resin epoksi berfungsi sebagai fase kontinu yang mengikat serat dan membantu mentransfer beban di dalam struktur komposit, sedangkan *hardener* berperan dalam proses pengerasan resin melalui pembentukan jaringan polimer. Kinerja komposit dipengaruhi oleh karakteristik serat, formulasi matriks, proses fabrikasi, dan interaksi pada antarmuka serat–matriks. Setelah serat dan matriks disatukan menggunakan metode *hand lay-up*, komposit menjalani proses *curing* untuk membentuk struktur material yang mengeras sebelum dilakukan pengujian ketangguhan impak dan pengamatan morfologi patahan.



Gambar 3. Resin dan Hardener, Larutan Natrium Klorida (NaCl),

Larutan natrium klorida (NaCl) digunakan sebagai media perendaman serat *Sansevieria* sebelum proses fabrikasi komposit. Perlakuan ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh waktu perendaman terhadap ketangguhan impak dan morfologi patahan komposit bermatriks epoksi. Penggunaan NaCl pada perlakuan serat alam telah dikaji dalam penelitian sebelumnya, termasuk pada serat sisal untuk pembuatan komposit bermatriks epoksi [13]. Namun, perubahan komposisi kimia serat akibat perendaman NaCl, khususnya pengurangan hemiselulosa dan lignin, tidak dapat dipastikan tanpa pengujian atau karakterisasi kimia yang sesuai. Oleh karena itu, perubahan karakteristik permukaan dan interaksi serat–matriks dalam penelitian ini dievaluasi berdasarkan hasil pengujian dan pengamatan yang dilakukan.

Perendaman serat dalam larutan NaCl juga digunakan untuk mengamati kemungkinan perubahan kondisi permukaan serat setelah perlakuan. Kondisi permukaan serat merupakan salah satu faktor yang dapat memengaruhi interaksi dengan matriks polimer [12], [13]. Meskipun demikian, penghilangan lilin, minyak, atau pengotor tertentu serta peningkatan penetrasi resin tidak dapat dinyatakan sebagai hasil yang telah terbukti tanpa pengamatan atau pengujian pendukung. Dengan demikian, pengaruh perlakuan NaCl dalam penelitian ini dibatasi pada perubahan ketangguhan impak dan morfologi patahan komposit untuk variasi waktu perendaman 5, 7, dan 9 hari.

2.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian diawali dengan ekstraksi serat *Sansevieria trifasciata* dari daun tanaman. Serat yang diperoleh kemudian direndam dalam larutan natrium klorida (NaCl) pada suhu ruang dengan variasi waktu 5, 7, dan 9 hari. Variasi tersebut digunakan untuk mengevaluasi pengaruh waktu perendaman terhadap ketangguhan impak dan karakteristik struktur mikro komposit bermatriks epoksi. Setelah perendaman, serat dikeringkan sebelum digunakan dalam proses fabrikasi komposit. Konsentrasi larutan NaCl, rasio serat terhadap

larutan, prosedur pembilasan, serta suhu dan waktu pengeringan perlu dicatat sesuai pelaksanaan eksperimen untuk menjamin keterulangan prosedur.

Tahap selanjutnya adalah fabrikasi komposit menggunakan metode *continuous lay-up*. Serat disusun secara kontinu di dalam cetakan, kemudian dibasahi dengan campuran resin epoksi dan *hardener*. Susunan komposit selanjutnya dipadatkan dan menjalani proses *curing* hingga matriks mengeras. Fraksi serat, orientasi serat, rasio resin terhadap *hardener*, kondisi pemadatan, serta suhu dan waktu *curing* mengikuti prosedur fabrikasi yang digunakan dalam penelitian. Parameter tersebut perlu dilaporkan secara jelas karena dapat memengaruhi karakteristik komposit yang dihasilkan.

Komposit yang telah mengeras kemudian dipotong dan dibentuk menjadi spesimen untuk pengujian impak Charpy. Pengujian dilakukan untuk memperoleh energi yang diserap spesimen hingga mengalami patahan. Ketangguhan impak dihitung berdasarkan energi serap dan luas penampang yang digunakan dalam perhitungan. Standar pengujian, dimensi spesimen, kondisi takik, kapasitas pendulum, serta persamaan perhitungan harus dinyatakan sesuai prosedur pengujian aktual. Standar ASTM D6110 dapat dipertimbangkan untuk pengujian Charpy pada spesimen plastik bertakik, tetapi kesesuaiannya dengan spesimen komposit yang digunakan perlu dipastikan sebelum dicantumkan sebagai standar penelitian.

Setelah pengujian impak, struktur mikro pada permukaan patahan diamati menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran menengah. Pengamatan difokuskan pada fitur yang terlihat pada citra, seperti *fiber pull-out*, *fiber break*, kerusakan matriks, serta kemungkinan celah atau rongga di sekitar serat. Pembesaran aktual dan skala citra dicantumkan apabila tersedia. Hasil pengamatan digunakan untuk mendeskripsikan karakteristik patahan dan menghubungkannya secara kualitatif dengan ketangguhan impak. Pengamatan mikroskop optik tidak dijadikan satu-satunya bukti kuantitatif peningkatan adhesi antara serat dan matriks.

Data ketangguhan impak dikelompokkan berdasarkan waktu perendaman 5, 7, dan 9 hari. Nilai setiap spesimen, jumlah pengulangan, nilai rata-rata, serta ukuran penyebaran data dilaporkan apabila tersedia. Metode Taguchi digunakan sesuai rancangan percobaan yang diterapkan, dengan menyajikan susunan faktor dan taraf, perhitungan *Signal-to-Noise Ratio* (S/N), serta tabel respons. Analisis varians (*Analysis of Variance*, ANOVA) digunakan untuk mengevaluasi signifikansi pengaruh waktu perendaman apabila data dan rancangan percobaan mendukung analisis tersebut. Hasil analisis struktur mikro kemudian dibahas bersama hasil pengujian impak untuk menjelaskan hubungan antara karakteristik patahan dan ketangguhan komposit. Penentuan kondisi perlakuan terbaik dibatasi pada variasi waktu perendaman yang diuji, sehingga waktu 9 hari hanya dapat dinyatakan sebagai kondisi dengan nilai ketangguhan tertinggi di antara variasi tersebut, bukan sebagai kondisi optimum universal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

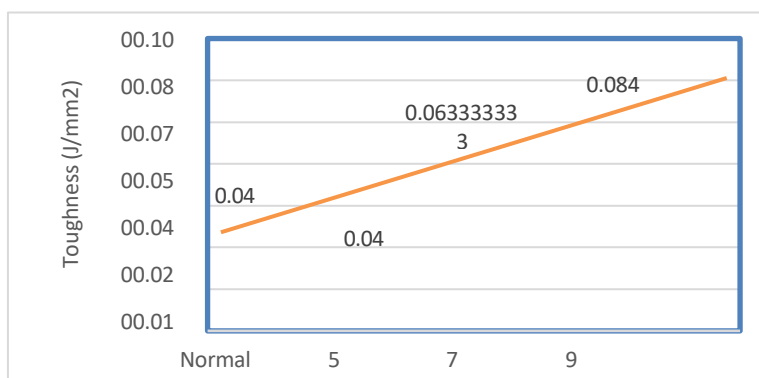
Metode Taguchi digunakan untuk mengoptimalkan waktu perendaman serat *Sansevieria* guna memperoleh ketangguhan komposit yang maksimum. Analisis dilakukan menggunakan *Orthogonal Array* (OA) dan *Signal-to-Noise Ratio* (S/N Ratio) untuk menentukan kondisi optimum serta meningkatkan konsistensi hasil. Selanjutnya, *Analysis of Variance* (ANOVA) digunakan untuk mengetahui tingkat signifikansi pengaruh waktu perendaman terhadap ketangguhan komposit dan menentukan kontribusi faktor perlakuan terhadap sifat mekanik material.

3.1 Hasil Pengujian Ketangguhan

Tabel 1. Hasil Perhitungan Ketangguhan

--

I Immers ion time	S	P (m m)	L (m m)	T (m m)	A (m m ²)	W (J)	K (J/m m ²)	K (J/m m ²) Aver age
5 Days	1	55	10	10	100	9	0.02	0.04
	2	55	10	10	100	9	0.04	
	3	55	10	10	100	11	0.06	
7 Days	1	55	10	10	100	10	0.05	0.0633
	2	55	10	10	100	13	0.06	
	3	55	10	10	100	13	0.08	
9 Days	1	55	10	10	100	25	0.08	0.084
	2	55	10	10	100	29	0.082	
	3	55	10	10	100	16	0.09	



Gambar 4. Pengaruh Waktu Perendaman terhadap Ketangguhan

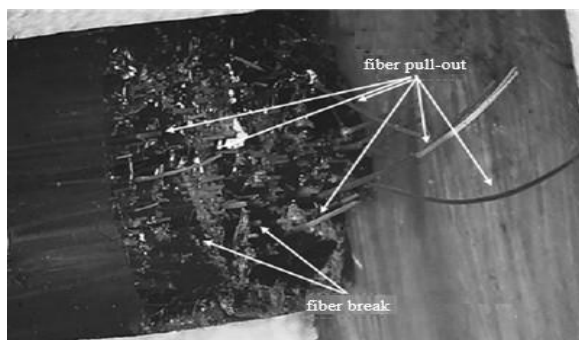
Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 4, serat *Sansevieria* diberi perlakuan perendaman dalam larutan natrium klorida (NaCl) dengan konsentrasi 200 g/L, yang dibuat menggunakan 600 g NaCl dalam 3 L air. Hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan rata-rata ketangguhan impact komposit seiring bertambahnya waktu perendaman. Nilai rata-rata ketangguhan impact sebesar 0,0400 J/mm² diperoleh pada perendaman selama 5 hari, meningkat menjadi 0,0633 J/mm² pada 7 hari, dan mencapai 0,0840 J/mm² pada 9 hari. Dengan demikian, di antara tiga variasi waktu yang diuji, perendaman selama 9 hari menghasilkan nilai rata-rata ketangguhan impact tertinggi.

Dibandingkan dengan perendaman 5 hari, nilai rata-rata ketangguhan impact pada perendaman 7 hari meningkat sekitar 58,25%, sedangkan pada perendaman 9 hari meningkat sekitar 110,00%. Tren tersebut menunjukkan adanya hubungan antara variasi waktu perendaman dan ketangguhan impact komposit dalam rentang pengujian yang dilakukan. Namun, peningkatan nilai tersebut belum cukup untuk menyimpulkan bahwa waktu perendaman yang lebih lama selalu menghasilkan ketangguhan yang lebih tinggi, karena penelitian ini hanya mengevaluasi waktu perendaman 5, 7, dan 9 hari.

Perubahan ketangguhan impact dapat berkaitan dengan sejumlah faktor, antara lain kondisi permukaan serat setelah perlakuan, distribusi serat di dalam matriks, pembasahan serat oleh resin, serta mekanisme kerusakan ketika spesimen menerima beban impact. Meskipun demikian, pengaruh masing-masing faktor tersebut tidak dapat dipastikan hanya berdasarkan nilai ketangguhan impact. Klaim bahwa perendaman NaCl menghilangkan lignin atau hemiselulosa maupun meningkatkan adhesi serat–matriks secara langsung memerlukan bukti karakterisasi yang sesuai. Oleh karena itu, hasil ini menunjukkan bahwa perendaman selama 9 hari memberikan nilai rata-rata ketangguhan tertinggi di antara variasi yang diuji, sedangkan

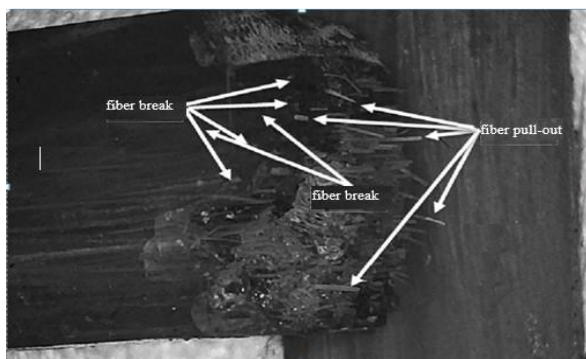
penentuan kondisi optimum yang lebih luas memerlukan pengujian tambahan dan analisis statistik yang memadai.

3.2 Hasil Pengamatan Struktur Mikro



Gambar 5. Spesimen Struktur Makro Tanpa Perendaman (NaCl)

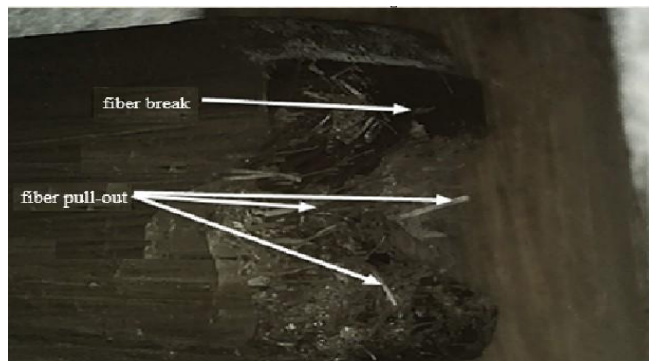
Pengamatan struktur mikro pada spesimen komposit serat *Sansevieria trifasciata* tanpa perendaman NaCl menunjukkan adanya patahan getas pada matriks, *fiber pull-out*, dan patahnya serat (*fiber break*). Fenomena *fiber pull-out* dapat mengindikasikan terbatasnya transfer beban pada antarmuka serat–matriks, sedangkan *fiber break* menunjukkan kegagalan serat akibat pembebanan, tetapi tidak secara langsung membuktikan ikatan antarmuka yang lebih kuat. Hasil ini sejalan dengan Webo *et al.* [14] yang membahas pengaruh perlakuan serat terhadap ketangguhan impak dan karakteristik patahan komposit sisal–epoksi. Spesimen tanpa perendaman memiliki ketangguhan impak sebesar 0,0032 J/mm² berdasarkan data naskah awal dan digunakan sebagai pembandingan terhadap spesimen yang diberi perlakuan NaCl.



Gambar 6. Spesimen Struktur Makro Dengan 5 Hari Perendaman

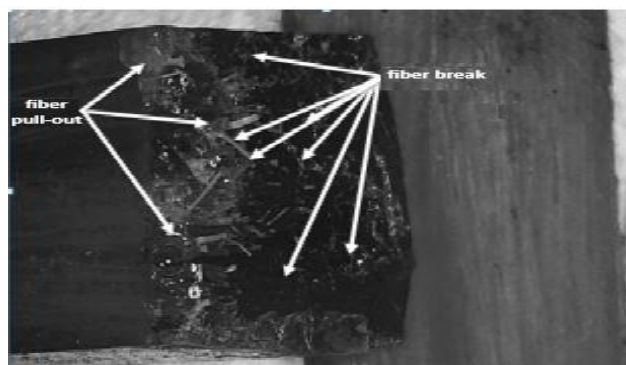
Pengamatan struktur mikro pada Gambar 6 menunjukkan bahwa komposit serat *Sansevieria trifasciata* dengan perendaman NaCl selama 5 hari mengalami *crack deflection*, *fiber pull-out*, dan *fiber break*. *Crack deflection* menggambarkan perubahan arah rambat retak, sedangkan *fiber pull-out* menunjukkan tercabutnya sebagian serat dari matriks yang dapat mengindikasikan transfer beban pada antarmuka serat–matriks belum optimal. Kondisi tersebut dapat memengaruhi penyerapan energi selama pembebanan impak, sementara *fiber break* menunjukkan bahwa sebagian serat mengalami patahan dan turut terlibat dalam mekanisme kerusakan komposit [14]. Berdasarkan data grafik, spesimen dengan perendaman 5 hari memiliki ketangguhan impak rata-rata sebesar 0,0400 J/mm². Nilai ini menunjukkan respons penyerapan energi spesimen pada kondisi tersebut, tetapi hubungan sebab-akibat antara fitur struktur mikro dan ketangguhan belum dapat dipastikan hanya melalui pengamatan visual. Oleh

karena itu, hubungan keduanya diinterpretasikan secara kualitatif dan perlu didukung oleh perbandingan citra patahan serta data pengujian impak pada seluruh variasi waktu perendaman.



Gambar 7. Spesimen Sruktur Makro Dengan 7 Hari Perendaman

Pengamatan struktur mikro pada spesimen komposit serat *Sansevieria trifasciata* dengan perendaman NaCl selama 7 hari menunjukkan adanya *crack deflection*, *fiber pull-out*, dan *fiber break*. Dibandingkan dengan spesimen perendaman 5 hari, ketangguhan impak rata-rata meningkat dari 0,0400 J/mm² menjadi 0,0633 J/mm², atau sebesar 58,25%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa spesimen dengan perendaman 7 hari mampu menyerap energi impak lebih besar berdasarkan hasil pengujian. Secara kualitatif, *crack deflection* menggambarkan perubahan arah rambat retak, sedangkan *fiber pull-out* dan *fiber break* menunjukkan mekanisme kerusakan berupa tercabut dan patahnya serat. Namun, peningkatan ketangguhan tersebut belum dapat dikaitkan secara pasti dengan peningkatan adhesi serat–matriks hanya berdasarkan pengamatan struktur mikro. Perbandingan citra struktur mikro secara langsung dan karakterisasi antarmuka diperluk



Gambar 8. Spesimen Sruktur Makro Dengan 9 Hari Perendaman

Gambar 8 memperlihatkan permukaan patahan spesimen komposit serat lidah mertua (*Sansevieria*) bermatriks epoksi setelah perendaman selama 9 hari dalam larutan NaCl. Bukti pengamatan ditunjukkan oleh permukaan patahan yang tidak rata dan adanya bagian serat yang tampak terputus pada daerah kerusakan. Serat yang berakhir pada permukaan patahan dapat menjadi indikasi mekanisme *fiber break* (serat putus). Sementara itu, mekanisme *fiber pull-out* (serat tercabut) dapat diidentifikasi apabila terlihat serat yang menonjol keluar dari matriks atau rongga bekas tercabutnya serat. Ciri-ciri tersebut perlu dibedakan berdasarkan bentuk fisik yang tampak pada gambar agar interpretasi mekanisme patahan tidak hanya didasarkan pada dugaan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen dengan perendaman selama 9 hari memiliki ketangguhan impak sebesar 0,0840 J/mm² berdasarkan data tabel dan grafik penelitian.

Makrostruktur dan ketangguhan impak komposit serat *Sansevieria* bermatriks epoksi menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya waktu perendaman dalam larutan NaCl. Pada perendaman 5 hari (Gambar 6), nilai ketangguhan impak sebesar 0,0400 J/mm², meningkat menjadi 0,0633 J/mm² pada 7 hari (Gambar 7), dan mencapai nilai tertinggi sebesar 0,0840 J/mm² pada 9 hari (Gambar 8). Pengamatan permukaan patahan menunjukkan mekanisme kerusakan berupa *fiber pull-out* (serat tercabut) dan *fiber break* (serat putus), yang berkaitan dengan proses kerusakan dan penyerapan energi saat pembebanan impak. Peningkatan ketangguhan impak dari 5 hingga 9 hari mencapai sekitar 110%. Dengan demikian, pada variasi waktu perendaman yang diuji, perendaman selama 9 hari menghasilkan ketangguhan impak tertinggi. Namun, pengamatan visual patahan saja belum cukup untuk memastikan peningkatan kekuatan ikatan antara serat dan matriks.

3.3 Analisis Taguchi Pada material Komposit Hasil Pengujian Ketangguhan

Metode Taguchi digunakan untuk mengevaluasi respons ketangguhan impak berdasarkan variasi waktu perendaman serat dalam larutan NaCl. Karakteristik kualitas *Larger is Better* dipilih karena penelitian bertujuan memperoleh ketangguhan impak yang lebih tinggi. Evaluasi dilakukan menggunakan *Signal-to-Noise Ratio* (S/N Ratio), yang digunakan dalam metode Taguchi untuk menilai respons kualitas dan menentukan kombinasi tingkat faktor yang memberikan kinerja terbaik [15], [16]. Pemilihan karakteristik *Larger is Better* sesuai untuk respons yang dioptimalkan menuju nilai maksimum. Interpretasi hasil tetap dibatasi pada faktor dan tingkat variasi yang diuji, serta harus didukung oleh hasil perhitungan S/N Ratio dan rancangan eksperimen yang digunakan.

Tabel 2. Orthogonal Array L9

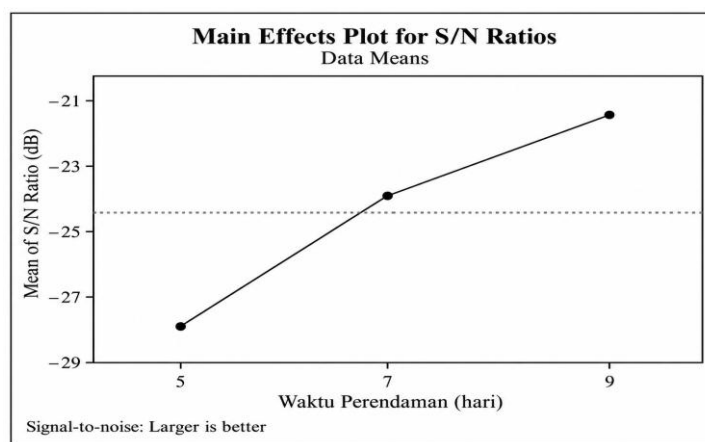
Parameter 1	Parameter 2
1	1
2	1
3	1
1	2
2	2
3	2
1	3
2	3
3	3

Tabel 2 menunjukkan rancangan *Orthogonal Array* L9 dalam metode Taguchi yang terdiri atas sembilan kombinasi percobaan. Setiap baris merepresentasikan satu kombinasi tingkat faktor, sedangkan angka 1, 2, dan 3 menunjukkan tingkat perlakuan yang ditetapkan untuk masing-masing parameter. Rancangan ini digunakan untuk menyusun percobaan secara sistematis dan mengevaluasi pengaruh parameter terhadap respons ketangguhan impak melalui analisis yang sesuai [15]. Namun, penerapan rancangan L9 harus disesuaikan dengan jumlah parameter dan tingkat perlakuan yang benar-benar digunakan dalam penelitian. Oleh karena itu, nama parameter, definisi setiap tingkat, serta hubungan antara rancangan percobaan dan data hasil pengujian perlu dijelaskan secara konsisten agar analisis Taguchi dapat ditelusuri dan dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Tabel 3. Waktu Perendaman dan Data Ketangguhan

spesimen	Waktu Perendaman (Hari)	Toughness (J/mm ²)
1	5	0.020
2	5	0.040
3	5	0.060
1	7	0.050
2	7	0.060
3	7	0.080
1	9	0.080
2	9	0.082
3	9	0.090

Tabel 3 menyajikan rancangan pengujian yang digunakan untuk mengevaluasi pengaruh waktu perendaman serat dalam larutan NaCl terhadap ketangguhan impact komposit. Pengujian dilakukan pada tiga tingkat waktu perendaman, yaitu 5, 7, dan 9 hari, dengan masing-masing tiga spesimen sehingga diperoleh sembilan hasil pengujian. Data menunjukkan bahwa nilai ketangguhan impact pada perendaman 5 hari berkisar antara 0,020–0,060 J/mm², pada 7 hari berkisar antara 0,050–0,080 J/mm², dan pada 9 hari berkisar antara 0,080–0,090 J/mm². Rentang nilai tersebut menunjukkan kecenderungan peningkatan ketangguhan impact pada waktu perendaman yang lebih lama. Data setiap spesimen selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi respons ketangguhan impact dan, apabila analisis Taguchi diterapkan, menghitung *Signal-to-Noise Ratio* (S/N Ratio) dengan karakteristik *Larger is Better* [16].



Gambar 9. Plot Efek Rasio S/N terhadap Waktu Perendaman dan Ketangguhan

Tabel 4. Hasil Perhitungan Rasio S/N Waktu Perendaman terhadap Ketangguhan dengan Karakteristik Larger is Better

Level	Waktu perendaman (hari)	Ketangguhan impact (J/mm ²)	Rasio S/N (dB)	Peringkat
1	5	0,0400	-27,96	3
2	7	0,0633	-23,97	2
3	9	0,0840	-21,51	1

Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 9, nilai rasio S/N ketangguhan impact meningkat seiring bertambahnya waktu perendaman. Pada perendaman 5 hari, nilai S/N sebesar -27,96 dB, kemudian meningkat menjadi -23,97 dB pada 7 hari dan -21,51 dB pada 9 hari. Selisih nilai S/N tertinggi dan terendah (delta) sebesar 6,45 dB. Nilai S/N tertinggi diperoleh pada

perendaman 9 hari, yang menunjukkan bahwa kondisi tersebut menghasilkan ketangguhan impact tertinggi di antara variasi waktu perendaman yang diuji. Interpretasi ini sesuai dengan prinsip metode Taguchi, yaitu pemilihan level dengan rasio S/N tertinggi untuk karakteristik *larger-is-better* [17]. Hasil tersebut juga sejalan dengan nilai ketangguhan impact, yaitu 0,0400 J/mm² pada 5 hari, 0,0633 J/mm² pada 7 hari, dan 0,0840 J/mm² pada 9 hari. Dengan demikian, berdasarkan data yang tersedia, perendaman 9 hari memberikan respons ketangguhan impact terbaik di antara ketiga kondisi pengujian.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian ketangguhan impact, pengamatan struktur patahan, dan analisis rasio S/N terhadap variasi waktu perendaman serat *Sansevieria* dalam larutan NaCl sebagai penguat komposit bermatriks resin epoksi, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pengaruh waktu perendaman terhadap ketangguhan impact. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketangguhan impact komposit meningkat seiring bertambahnya waktu perendaman serat. Nilai ketangguhan impact pada perendaman 5 hari sebesar 0,0400 J/mm², meningkat menjadi 0,0633 J/mm² pada 7 hari, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 0,0840 J/mm² pada 9 hari. Peningkatan ini menunjukkan bahwa, di antara variasi waktu perendaman yang diuji, perendaman 9 hari menghasilkan respons ketangguhan impact terbaik.
2. Karakteristik Morfologi patahan komposit. Berdasarkan pengamatan, mekanisme kerusakan menunjukkan perubahan seiring bertambahnya waktu perendaman. Spesimen tanpa perendaman dan perendaman 5 hari didominasi oleh mekanisme *fiber pull-out*, sedangkan pada perendaman 7 hari mulai terlihat peningkatan *fiber break*. Pada perendaman 9 hari, mekanisme *fiber break* tampak lebih dominan dibandingkan *fiber pull-out*. Perubahan morfologi patahan tersebut mengindikasikan adanya perbedaan mekanisme transfer beban antara serat dan matriks. Namun, peningkatan kekuatan ikatan antarmuka secara kuantitatif masih memerlukan pengujian atau karakterisasi pendukung.
3. Hasil analisis rasio S/N. Berdasarkan karakteristik *Larger Is Better*, nilai rasio S/N meningkat dari -27,96 dB pada perendaman 5 hari menjadi -23,97 dB pada 7 hari dan -21,51 dB pada 9 hari. Rentang perbedaan antara nilai S/N tertinggi dan terendah adalah 6,45 dB. Nilai S/N tertinggi diperoleh pada perendaman 9 hari, sehingga kondisi tersebut menjadi kondisi terbaik di antara tiga variasi waktu perendaman yang dianalisis. Hasil ini mendukung kecenderungan peningkatan ketangguhan impact, tetapi belum cukup untuk menyatakan signifikansi statistik atau mengonfirmasi optimasi Taguchi secara menyeluruh apabila data ulangan dan rancangan faktor belum tervalidasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Murugan and B. Senthil Kumar, "Experimental investigation of mechanical and dynamic mechanical properties of *Sansevieria roxburghiana*/epoxy composite using Taguchi design," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 45, nos. 9–10, pp. 2230–2242, 2026, doi: 10.1177/07316844221099577.
- [2] A. Ramadhani and E. Widodo, "Impact of KOH compound immersion on mechanical properties of *Sansivera* fiber composite," *Indonesian Journal of Innovation Studies*, vol. 23, Jul. 2023, doi: 10.21070/ijins.v22i.930.
- [3] A. G. Adeniyi, S. A. Adeoye, and J. O. Ighalo, "*Sansevieria trifasciata* fibre and composites: A review of recent developments," *International Polymer Processing*, vol. 35, no. 4, pp. 344–354, 2020, doi: 10.3139/217.3914.

- [4] W. Ali, M. Echeverry-Rendón, A. Kopp, C. González, and J. Llorca, "Strength, corrosion resistance and cellular response of interfaces in bioresorbable poly-lactic acid/Mg fiber composites for orthopedic applications," arXiv, 2021.
 - [5] S. V. Pitchumani, V. A. Suthenthira Veerappa, V. Gopalan, T. G. Loganathan, K. Narasingamurthi, and A. Sampath, "Mechanical and vibration characteristics of hybrid natural fibre-reinforced composite using Taguchi grey relational analysis," *Engineering Research Express*, vol. 6, no. 2, Art. no. 025566, 2024, doi: 10.1088/2631-8695/ad5640.
 - [6] G. Kiran, K. Suman, N. Rao, and R. Rao, "A study on the influence of hot press forming process parameters on mechanical properties of green composites using Taguchi experimental design," *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 3, no. 4, 2011, doi: 10.4314/ijest.v3i4.68557.
 - [7] A. Alabi, B. Samuel, M. Peter, and S. Tahir, "Optimization and modelling of the fracture inhibition potential of heat treated doum palm nut fibres in phenolic resin matrix polymer composite: A Taguchi approach," *Functional Composites and Structures*, vol. 4, no. 1, Art. no. 015004, 2022, doi: 10.1088/2631-6331/ac5466.
 - [8] M. Jebran, M. Wāni, and R. Gupta, "Tribological performance evaluation of polytetrafluoroethylene composites under dry sliding and aqueous environments using Taguchi approach and grey relational analysis: Effect of material, test environment and load," *Polymer Composites*, vol. 40, no. 7, pp. 2863–2875, 2019, doi: 10.1002/pc.25113.
 - [9] T. Setyayunita, H. Suryanto, and A. Aminnudin, "The Influence of Sodium Chloride Treatment on the Sisal Fiber Bundle's Properties," *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*, vol. 8, no. 2, 2024.
 - [10] P. Kopparthi, K. Vengalrao, K. Rao, and B. Pathakokila, "Modeling and multi-response optimization of mechanical properties for E-glass/polyester composite using Taguchi-grey relational analysis," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, vol. 235, no. 2, pp. 342–350, 2021, doi: 10.1177/0954408920962592.
 - [11] S. Shafaq, M. Donough, E. Oromiehie, F. Islam, A. Phillips, J. John, et al., "Parametric process optimisation of automated fibre placement (AFP) based AS4/APC-2 composites for mode I and mode II fracture toughness," *Journal of Composite Materials*, vol. 58, no. 27, pp. 2879–2895, 2024, doi: 10.1177/00219983241283598.
 - [12] "Comprehensive investigation of raw and NaOH alkalized sansevieria fiber for enhancing composite reinforcement," *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 9, Art. no. 100546, 2024, doi: 10.1016/j.cscee.2023.100546.
 - [13] T. Setyayunita, H. Suryanto, A. Aminnudin, A. F. Osman, and U. Yanuhar, "Characteristics of sisal-epoxy composite boards with sodium chloride-treated fibers at different treatment temperatures," *Teknomekanik*, vol. 8, no. 1, pp. 38–51, 2025, doi: 10.24036/teknomekanik.v8i1.35572.
 - [14] W. Webo, L. Masu, and M. Maringa, "The impact toughness and hardness of treated and untreated sisal fibre-epoxy resin composites," *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2018, Art. no. 8234106, 2018, doi: 10.1155/2018/8234106.
 - [15] C. G. Simon, F. A. Hardinsi, S. Suluh, F. Paliling, R. Sampelolo, and A. Widyanto, "Enhancing vehicle wheel suspension test equipment through Taguchi method for optimization," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 5, no. 1(125), pp. 15–27, 2023, doi: 10.15587/1729-4061.2023.288476.
 - [16] F. Paliling, C. G. Simon, Z. Sudirman, R. Lazarus, F. R. Bethony, and Z. Jhoy, "Analisis pengaruh kecepatan spindle dan variasi pahat HSS terhadap kekasaran permukaan baja ST
-

-
- 42 dalam proses bubut konvensional dengan metode Taguchi,” *Jurnal CRANKSHAFT*, vol. 7, no. 2, pp. 93–103, 2024, doi: 10.24176/cra.v7i2.12721.
- [17] P. J. Ross, *Taguchi Techniques for Quality Engineering: Loss Function, Orthogonal Experiments, Parameter and Tolerance Design*, 2nd ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1996.
-