

Artikel Penelitian (Teknik Mesin)

Pengaruh Penambahan Pelepah Pisang terhadap Kekuatan Impak Komposit Serabut Kelapa Menggunakan Metode *Vacuum*

Muhamad Choirul Anam, Muhammad Budi Haryono^{*}, Hisyam Ma'mun

Fakultas Teknik dan Informatika, Program Studi Teknik Mesin Universitas PGRI Semarang, Semarang, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 27 Juni 2026

Revisi Akhir: 20 Juli 2026

Diterbitkan Online: 30 Juli 2026

KATA KUNCI

Komposit *Hybrid*

Pelepah Pisang

Polyester

Serabut Kelapa

Uji Impak

KORESPONDENSI^(*)

E-mail: muhammadbudiharyono@upgris.ac.id

A B S T R A K

Komposit *hybrid* berbasis serat alam menjadi salah satu alternatif material ramah lingkungan yang banyak dikembangkan karena memiliki ketersediaan melimpah, biaya produksi relatif rendah, serta sifat mekanik yang baik. Namun, pemanfaatan kombinasi serabut kelapa dan pelepah pisang sebagai penguat komposit masih memerlukan kajian, khususnya terhadap pengaruh variasi kandungan serat pelepah pisang terhadap ketangguhan impak komposit. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan serat pelepah pisang terhadap ketangguhan impak komposit *hybrid* serabut kelapa bermatriks *polyester* yang difabrikasi menggunakan metode *hand lay-up*. Pemanfaatan serat alam sebagai bahan penguat komposit menjadi alternatif yang menjanjikan karena bersifat ramah lingkungan, ekonomis, dan mudah diperoleh. Pada penelitian ini, serat serabut kelapa dan pelepah pisang diberi perlakuan alkalisasi menggunakan larutan NaOH 10% selama 2 jam untuk meningkatkan ikatan antarmuka antara serat dan matriks. Proses pembuatan komposit dilakukan dengan metode *hand lay-up* dengan variasi kandungan serat pelepah pisang sebesar 10%, 20%, dan 30%, baik dengan maupun tanpa penggunaan *vacuum*. Pengujian impak dilakukan berdasarkan standar ASTM ISO 179. Hasil penelitian menunjukkan nilai densitas tertinggi diperoleh variasi 20% pelepah pisang dengan metode *vacuum* sebesar 3,32 g/cm³ sedangkan nilai terendah diperoleh pada variasi 20% tanpa *vacuum* sebesar 2,41 g/cm³. Penggunaan *vacuum* mampu meningkatkan harga impak komposit dibandingkan metode tanpa *vacuum*. Harga impak tertinggi diperoleh pada variasi 20% pelepah pisang dengan metode *vacuum* sebesar 0,222 J/mm², sedangkan harga impak terendah diperoleh pada variasi 30% tanpa *vacuum* sebesar 0,148 J/mm². Peningkatan ketangguhan impak terjadi karena proses *vacuum* mampu mengurangi terbentuknya *void* dan meningkatkan kualitas ikatan antara serat dan matriks. Berdasarkan hasil penelitian, komposisi 20% pelepah pisang dengan metode *vacuum* merupakan variasi yang paling optimal untuk menghasilkan komposit dengan ketangguhan impak terbaik.

PENDAHULUAN

Komposit berbasis serat alam saat ini semakin banyak diteliti sebagai alternatif material yang lebih ramah lingkungan. Hal ini didukung oleh ketersediaan bahan baku yang melimpah, biaya produksi yang relatif rendah, serta bobot material yang lebih ringan dibandingkan beberapa material konvensional. Serat pelepah pisang dan serabut kelapa merupakan contoh serat alam yang berpotensi digunakan sebagai penguat komposit karena memiliki karakteristik mekanik yang cukup baik. Selain meningkatkan nilai guna limbah pertanian, pemanfaatan kedua serat tersebut juga dapat mendukung pengembangan material berkelanjutan dan mengurangi ketergantungan terhadap serat sintetis. Ketergantungan industri manufaktur Indonesia terhadap material tak terbarukan dan bahan baku impor masih menjadi tantangan besar, terutama karena beban biaya produksi yang bisa membengkak hingga 37,56%. Angka ini bukan sekadar statistik, melainkan urgensi bagi pengembangan material teknik yang lebih ekonomis dan berkelanjutan. Analisis mengenai efisiensi teknis dan ekonomis pada penggunaan komposit sebenarnya telah menjadi perhatian serius dalam berbagai industri, termasuk

pada struktur kapal. Namun, transisi menuju material yang benar-benar ramah lingkungan memerlukan eksplorasi lebih dalam terhadap limbah serat lokal[1].

Pemanfaatan serat alam seperti serabut kelapa dan pelepah pisang hadir sebagai solusi strategis untuk menciptakan material biokomposit dengan densitas rendah. Kombinasi limbah batang pisang dan tempurung kelapa mampu memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat fisis dan mekanis papan partikel. Dalam sistem komposit, penggunaan matriks *polyester* sering dipilih karena kemudahan proses manufakturnya serta biaya yang lebih terjangkau dibandingkan resin *epoxy*. Meski demikian, penggunaan serat tunggal sering kali memberikan kekuatan mekanik yang terbatas, sehingga diperlukan sistem *hybrid* untuk mengevaluasi peningkatan karakteristik mekaniknya. Masalah klasik yang sering ditemui pada biokomposit adalah lemahnya ikatan antarmuka akibat lapisan lilin alami pada permukaan serat yang menghambat adhesi resin. Untuk menyiasati hal ini, proses alkalisasi menggunakan larutan NaOH 10% selama 2 jam menjadi langkah krusial untuk mengasamkan permukaan serat dan menciptakan mekanisme *interlocking* mekanik yang lebih kokoh. Perlakuan alkali ini terbukti efektif dalam memodifikasi permukaan serat alam, seperti pada serat tebu, untuk meningkatkan kekuatan bending meski terkadang memberikan pengaruh yang berbeda pada ketangguhan impact jika serat menjadi terlalu getas.

Penelitian mengenai komposit serabut kelapa telah banyak dilakukan, demikian pula komposit berbasis serat pelepah pisang. Namun, penelitian yang mengombinasikan kedua serat tersebut dalam bentuk komposit *hybrid* menggunakan metode *hand lay-up*. Meskipun penelitian mengenai komposit berbasis serabut kelapa maupun pelepah pisang telah banyak dilakukan, sebagian besar penelitian hanya berfokus pada penggunaan satu jenis serat alam atau pengaruh perlakuan kimia terhadap sifat mekanik komposit. Penelitian yang mengombinasikan serabut kelapa dan pelepah pisang dalam bentuk komposit *hybrid* serta mengkaji pengaruh metode *vacuum* terhadap ketangguhan impact masih relatif terbatas. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi kandungan serat pelepah pisang terhadap ketangguhan impact komposit *hybrid* serabut kelapa pelepah pisang bermatriks *polyester*, dengan menawarkan kebaruan melalui penerapan metode *vacuum* untuk meningkatkan kualitas ikatan serat matriks serta meminimalkan cacat *void*.

TINJAUAN PUSTAKA

Komposit Serat Alam

Komposit merupakan material yang tersusun dari dua atau lebih komponen berbeda yang dikombinasikan untuk menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan material penyusunnya secara terpisah. Secara umum, komposit terdiri atas matriks sebagai pengikat dan serat sebagai penguat. Penggunaan serat alam sebagai penguat komposit semakin berkembang karena memiliki keunggulan berupa bobot ringan, ramah lingkungan, mudah diperoleh, serta biaya produksi yang relatif rendah dibandingkan serat sintesis. Selain itu, serat alam bersifat terbarukan dan mampu mengurangi dampak lingkungan akibat limbah industri berbasis bahan sintesis. Oleh karena itu, komposit serat alam banyak dimanfaatkan pada bidang otomotif, konstruksi, perkapalan, dan berbagai aplikasi teknik ringan [2].

Serabut Kelapa sebagai Bahan Penguat Komposit

Serabut kelapa merupakan salah satu serat alam yang berasal dari lapisan mesokarp buah kelapa. Serat ini memiliki kandungan lignin yang relatif tinggi sehingga memiliki ketahanan terhadap kelembapan, kemampuan menyerap energi benturan yang baik, serta sifat elastis yang cukup tinggi. Karakteristik tersebut menjadikan serabut kelapa berpotensi digunakan sebagai bahan penguat komposit. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penambahan serabut kelapa dapat meningkatkan ketangguhan dan kemampuan komposit dalam menyerap energi impact. Namun demikian, penggunaan serabut kelapa sebagai penguat tunggal masih memiliki keterbatasan, terutama pada kekuatan mekanik tertentu, sehingga diperlukan kombinasi dengan serat alam lainnya untuk memperoleh sifat yang lebih optimal[3].

Serat Pelepah Pisang sebagai Bahan Penguat Komposit

Pelepah pisang merupakan limbah pertanian yang memiliki kandungan selulosa cukup tinggi sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai penguat komposit. Serat pelepah pisang memiliki sifat mekanik yang baik, terutama pada kekuatan tarik dan kekakuan material[4]. Pemanfaatan pelepah pisang sebagai bahan penguat tidak hanya meningkatkan nilai ekonomis limbah pertanian, tetapi juga mendukung konsep material berkelanjutan. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan serat pisang dalam jumlah tertentu dapat meningkatkan kemampuan komposit dalam

mendistribusikan beban dan menahan deformasi. Namun, peningkatan fraksi serat yang terlalu tinggi dapat menyebabkan distribusi resin menjadi kurang merata sehingga berpotensi menurunkan sifat mekanik komposit.

Komposit Hybrid Serabut Kelapa dan Pelepah Pisang

Komposit *hybrid* merupakan komposit yang menggunakan lebih dari satu jenis serat sebagai bahan penguat. Penggabungan serabut kelapa dan pelepah pisang diharapkan mampu mengombinasikan keunggulan masing-masing serat sehingga menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik. Serabut kelapa berperan meningkatkan ketangguhan dan kemampuan menyerap energi benturan, sedangkan pelepah pisang berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan dan kekakuan material[5]. Kombinasi kedua serat tersebut dapat menghasilkan efek sinergis yang meningkatkan performa komposit dibandingkan penggunaan serat tunggal. Namun, keberhasilan pembentukan komposit *hybrid* sangat dipengaruhi oleh distribusi serat, fraksi volume serat, serta kualitas ikatan antara serat dan matriks.

Perlakuan Alkalisasi Serat

Salah satu kendala utama dalam pembuatan komposit serat alam adalah rendahnya adhesi antara serat dan matriks akibat adanya lapisan lignin, *hemiselulosa*, pektin, dan zat lilin pada permukaan serat. Untuk meningkatkan kualitas ikatan antarmuka, serat alam umumnya diberi perlakuan alkalisasi menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH). Perlakuan ini berfungsi menghilangkan sebagian lapisan pengotor pada permukaan serat sehingga permukaan menjadi lebih kasar dan mampu meningkatkan mekanisme penguncian mekanis (*mechanical interlocking*) dengan matriks. Akibatnya, transfer beban dari matriks ke serat menjadi lebih efektif dan sifat mekanik komposit dapat meningkat[6].

Metode Vacuum dalam Fabrikasi Komposit

Metode *vacuum* merupakan salah satu teknik fabrikasi komposit yang bertujuan mengurangi jumlah udara yang terperangkap selama proses pencetakan. Penggunaan tekanan *vacuum* membantu resin mengalir lebih merata ke seluruh bagian serat sehingga meningkatkan impregnasi resin dan mengurangi pembentukan rongga udara (*void*). Keberadaan *void* merupakan salah satu faktor utama yang dapat menurunkan kualitas komposit karena menjadi titik konsentrasi tegangan dan inisiasi retak. Oleh karena itu, penerapan *vacuum* berpotensi meningkatkan densitas, kualitas ikatan serat-matriks, serta sifat mekanik komposit, termasuk kekuatan impact dan ketangguhan material [7].

Pengujian Impact pada Material Komposit

Pengujian impact merupakan metode untuk mengetahui kemampuan material dalam menyerap energi benturan sebelum mengalami kerusakan atau patah. Pada material komposit, harga impact dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis serat, komposisi serat, kualitas ikatan serat-matriks, distribusi serat, serta keberadaan *void* di dalam struktur komposit. Semakin baik ikatan antara serat dan matriks serta semakin sedikit cacat internal yang terbentuk, maka kemampuan material dalam menyerap energi benturan akan semakin tinggi [8]. Oleh karena itu, pengujian impact sering digunakan untuk mengevaluasi ketangguhan komposit dan menentukan komposisi material yang paling optimal untuk aplikasi teknik.

METODOLOGI

Penelitian ini memanfaatkan dua jenis serat alam sebagai penguat, yaitu serat pelepah pisang dan serabut kelapa yang diperoleh dari limbah perkebunan lokal. Panjang serat yang digunakan 7cm, Matriks yang digunakan adalah resin *polyester* tak jenuh (*unsaturated polyester*) tipe *orthophthalic* yang dikombinasikan dengan katalis MEKPO (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*) sebagai agen pengeras. Untuk perlakuan kimia, digunakan kristal NaOH teknis yang dilarutkan menjadi konsentrasi 10%.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi cetakan impact, timbangan digital, *neraca* pegas, amplas, *gelas beaker*, kuas roll, *magnetic stirrer*, aseton cair, aluminium *foil* dan mesin uji impact. Bahan utama terdiri dari serat pelepah pisang dan serabut kelapa sebagai penguat, serta resin *Polyester Yukalac* BQTN 157-EX dengan campuran katalis *Methyl Ethyl Ketone Peroxide* (MEKPO) sebagai matriks.

Tahap alkalisasi merupakan tahapan krusial untuk memastikan kompatibilitas antara serat dan matriks. Serat pelepah pisang dan serabut kelapa terlebih dahulu dibersihkan dari kotoran fisik dan dikeringkan pada suhu ruangan. Selanjutnya, serat direndam dalam larutan NaOH 10% selama durasi tepat 2 jam.

Selama proses perendaman, observasi dilakukan untuk memastikan seluruh bagian serat terendam sempurna guna memaksimalkan penghilangan lapisan lignin dan *hemiselulosa*. Setelah 2 jam, serat dibilas menggunakan air mengalir hingga mencapai pH netral, kemudian dikeringkan kembali tanpa terkena sinar matahari langsung untuk mencegah serat menjadi terlalu getas (*brittle*). Langkah ini sejalan dengan prosedur yang dilakukan oleh para peneliti sebelumnya untuk meningkatkan tegangan tarik pada komposit serat alam melalui modifikasi permukaan.

Proses pembuatan spesimen menggunakan metode *hand lay-up* dengan tahapan spesifik sebagai berikut:

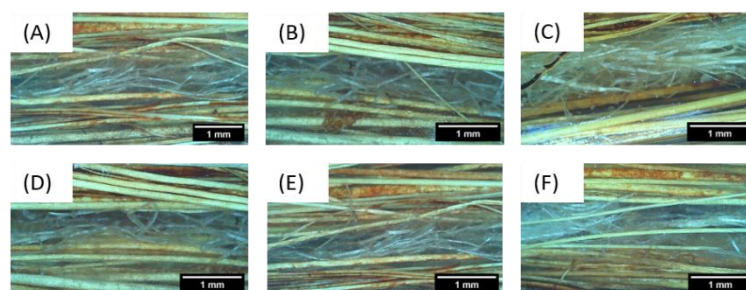
1. Persiapan Cetakan: Permukaan cetakan dibersihkan dan dilapisi dengan *mirror glaze* untuk memudahkan proses pelepasan spesimen setelah mengeras.
2. Pencampuran Matriks: Resin *polyester* dicampur dengan katalis MEKPO sesuai perhitungan fraksi volume yang telah ditentukan dengan rasio 5:1. Resin *polyester* dan katalis dicampur menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 230 rpm selama 1 menit
3. Penyusunan Serat: Serat dijemur di bawah sinar matahari, setengah bagian campuran resin dituangkan ke dalam cetakan, kemudian serat disusun dengan orientasi lurus searah.
4. Setelah penyusunan serat selesai, cetakan dimasukkan ke dalam *vacuum* dan dilakukan proses pemvakuman selama 10 menit pada tekanan 20 cmHg untuk mengurangi udara yang terperangkap di dalam lapisan komposit sehingga dapat meminimalkan terbentuknya *void* serta meningkatkan impregnasi resin ke dalam serat.
5. Pematatan: Sisa resin dituangkan kembali, lalu diratakan menggunakan kuas roll untuk menekan gelembung udara keluar guna meminimalisir terjadinya cacat *void* di dalam komposit.
6. Curing: Cetakan ditutup, diberi pemberat, dan dibiarkan hingga mengering secara sempurna pada temperatur kamar sebelum dikeluarkan.

Setelah selesai pembuatan, semua spesimen diampelas menggunakan kertas amplas nomor 320, dan dihaluskan menggunakan kertas amplas ukuran 2000, lalu dilakukan *compound* menggunakan *compound rubbing*, lalu spesimen difoto menggunakan *Taffware* mikroskop digital G-1000, lalu spesimen diuji densitas menggunakan timbangan digital, timbangan pegas, lalu sebagai langkah terakhir dilakukan uji Impak. Pengujian impak dilakukan dengan tiga kali pengulangan (*triplo*) untuk setiap variasi rasio dan data yang disajikan merupakan nilai rata-rata dari pengujian tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengamatan Foto Makro

Pengamatan foto makro dilakukan untuk mengetahui kondisi permukaan komposit, distribusi serat, serta keberadaan cacat seperti *void* pada setiap variasi rasio pelepah pisang dan metode fabrikasi yang digunakan. Untuk mendukung hasil pengujian impak, dilakukan pengamatan foto makro pada sebelum patah dan sesudah patah pada permukaan patahan spesimen setelah pengujian. Hasil pengamatan sebelum patah pada Gambar berikut ini. Spesimen (a) 10% tanpa *vacuum* (b) 20% tanpa *vacuum* (c) 30% tanpa *vacuum* (d) 10% dengan *vacuum* (e) 20% dengan *vacuum* (f) 30 % dengan *vacuum*. Pengamatan makro dilakukan untuk mendukung hasil pengujian impak dan mengidentifikasi karakteristik patahan yang terjadi pada spesimen. Melalui pengamatan ini dapat diketahui pengaruh metode fabrikasi terhadap keberadaan *void*, fenomena *fiber pull-out*, serta kualitas ikatan antarmuka antara serat dan matriks.



Gambar 1. Gambar Foto Makro

Pada spesimen 10% pelepah pisang tanpa *vacuum* (a), susunan serat tampak belum sepenuhnya tertutupi oleh matriks sehingga masih ditemukan celah antarserat yang berpotensi menjadi titik konsentrasi tegangan ketika komposit menerima beban. Pada variasi 20% pelepah pisang tanpa *vacuum* (b), distribusi serat terlihat lebih merata dan kontak antara serat dengan matriks relatif lebih baik dibandingkan variasi 10%. Kondisi ini mengindikasikan adanya peningkatan

kemampuan matriks dalam membasahi serat sehingga ikatan antarmuka yang terbentuk menjadi lebih efektif. Namun demikian, beberapa indikasi *void* masih terlihat pada permukaan komposit. Sementara itu, pada variasi 30% pelepah pisang tanpa *vacuum* (c), jumlah serat yang semakin tinggi menyebabkan susunan serat menjadi lebih rapat sehingga aliran resin ke seluruh bagian komposit menjadi kurang optimal. Akibatnya, potensi terbentuknya *void* dan daerah yang tidak terimpregnasi resin meningkat, yang dapat menurunkan kualitas struktur komposit.

Berbeda dengan spesimen tanpa *vacuum*, spesimen yang dibuat menggunakan metode *vacuum*, yaitu variasi 10% (d), 20% (e), dan 30% (f) pelepah pisang, menunjukkan struktur permukaan yang lebih homogen. Penggunaan *vacuum* selama proses fabrikasi mampu mengurangi udara yang terperangkap di dalam laminasi sehingga resin dapat mengalir dan mengisi ruang antar serat secara lebih merata. Kondisi tersebut menyebabkan jumlah *void* yang terbentuk menjadi lebih sedikit dibandingkan spesimen tanpa *vacuum*.

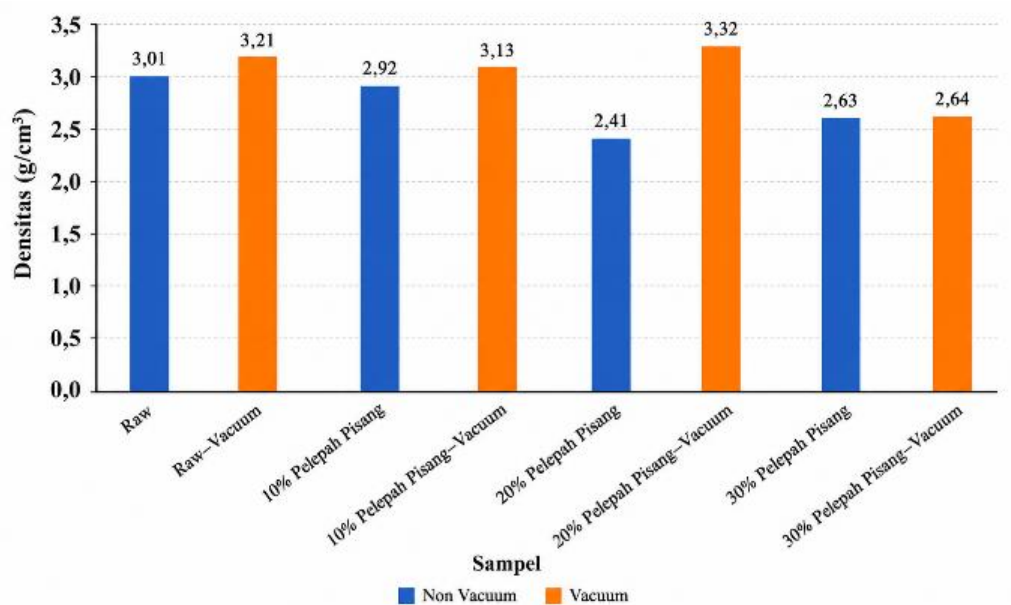
Pada variasi 10% pelepah pisang dengan *vacuum* (d), distribusi resin terlihat lebih seragam dan ikatan antara serat dengan matriks tampak lebih baik dibandingkan spesimen tanpa *vacuum*. Selanjutnya, pada variasi 20% pelepah pisang dengan *vacuum* (e), diperoleh struktur komposit yang paling homogen dengan penyebaran serat yang relatif merata dan indikasi *void* yang sangat minim. Kondisi ini menunjukkan bahwa komposisi tersebut menghasilkan keseimbangan yang optimal antara jumlah serat penguat dan kemampuan matriks dalam membasahi permukaan serat. Adanya keseimbangan tersebut memungkinkan terbentuknya ikatan antarmuka yang lebih kuat sehingga transfer beban dari matriks ke serat dapat berlangsung secara efektif.

Pada variasi 30% pelepah pisang dengan *vacuum* (f), meskipun jumlah *void* masih lebih sedikit dibandingkan spesimen tanpa *vacuum*, peningkatan fraksi serat menyebabkan terjadinya penumpukan serat (*fiber agglomeration*) pada beberapa bagian komposit. Kondisi tersebut berpotensi menghambat distribusi resin secara sempurna dan menyebabkan penurunan kualitas ikatan antarmuka antara serat dan matriks. Akibatnya, kemampuan komposit dalam mendistribusikan beban secara merata dapat berkurang.

Secara keseluruhan, hasil pengamatan foto makro menunjukkan bahwa penggunaan *vacuum* memberikan pengaruh positif terhadap kualitas struktur komposit. Proses *vacuum* mampu mengurangi pembentukan *void*, meningkatkan homogenitas distribusi resin, serta memperbaiki kualitas ikatan antara serat dan matriks. Selain itu, variasi kandungan pelepah pisang sebesar 20% menunjukkan struktur mikro yang paling baik dibandingkan variasi lainnya, ditandai dengan distribusi serat yang merata, minimnya *void*, dan impregnasi resin yang lebih optimal.

Hasil Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui tingkat kepadatan komposit yang dihasilkan pada setiap variasi rasio serat pelepah pisang serta metode fabrikasi yang digunakan. Nilai densitas pada Raw (komposit dengan penguat 30% serabut kelapa) Tanpa *vacuum* 3,01 g/cm³, penambahan pelepah pisang 10% nilai densitas turun menjadi 2,92 g/cm³, namun penambahan pelepah pisang 20% nilai densitas semakin menurun hingga 2,41 g/cm³, tetapi penambahan 30% nilai densitas sedikit naik dari 2,41 g/cm³ menjadi 2,63 g/cm³. penggunaan *vacuum* meningkatkan semua nilai densitas seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. nilai densitas tertinggi 20% *vacuum* sebesar 3,32 g/cm³. Densitas merupakan salah satu parameter penting dalam karakterisasi material komposit karena dapat memberikan gambaran mengenai struktur internal material, tingkat kerapatan susunan penyusun komposit, serta keberadaan rongga (*void*) yang terbentuk selama proses manufaktur. Perbedaan rasio serat dan matriks maupun metode fabrikasi yang diterapkan dapat memengaruhi distribusi serat, ikatan antarfasa, dan jumlah porositas pada komposit sehingga berdampak pada nilai densitas yang diperoleh. Hasil pengujian densitas pada masing-masing spesimen kemudian dibandingkan untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi dan metode fabrikasi terhadap karakteristik kepadatan material komposit. Adapun hasil pengujian densitas untuk seluruh variasi spesimen ditampilkan pada Gambar 2.

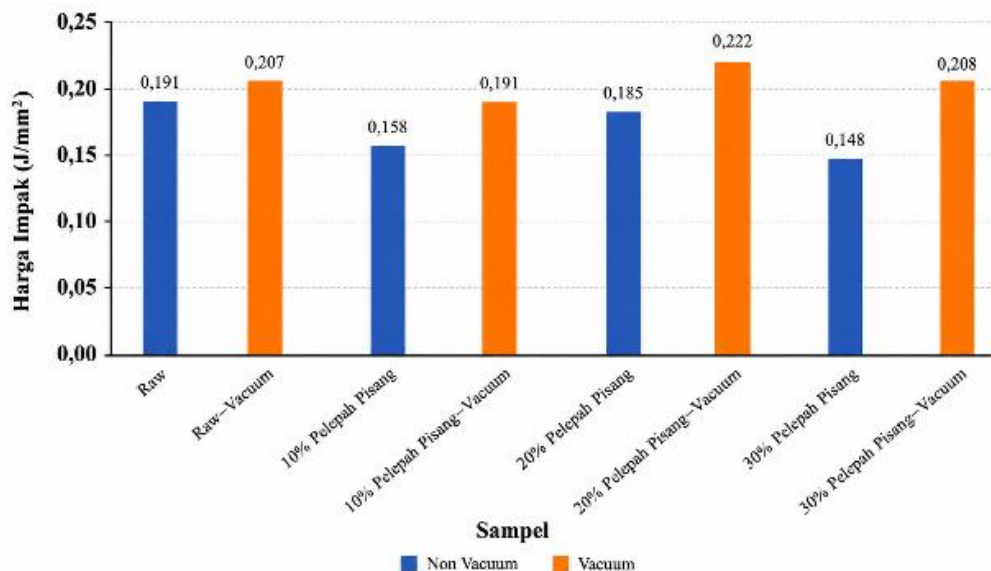


Gambar 2. Grafik Perbandingan Densitas Komposit *Hybrid* Serabut Kelapa–Pelepah Pisang

Berdasarkan hasil pengujian densitas, diperoleh perbedaan nilai densitas pada setiap variasi rasio pelepah pisang. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa komposisi serat dan metode fabrikasi berpengaruh terhadap tingkat kepadatan material komposit yang dihasilkan. Pada seluruh variasi rasio, spesimen yang diproduksi menggunakan metode *vacuum* memiliki nilai densitas yang lebih tinggi dibandingkan spesimen tanpa *vacuum*. Hal ini menunjukkan bahwa proses *vacuum* mampu mengurangi jumlah rongga udara (*void*) yang terbentuk selama proses fabrikasi sehingga struktur komposit menjadi lebih padat. Peningkatan nilai densitas menunjukkan bahwa resin mampu mengisi ruang antar serat secara lebih optimal sehingga menghasilkan ikatan antarmuka yang lebih baik antara serat dan matriks. Dengan berkurangnya *void*, kualitas komposit meningkat dan sifat mekaniknya cenderung menjadi lebih baik dibandingkan komposit yang dibuat tanpa proses *vacuum*.

Hasil Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui kemampuan material komposit dalam menyerap energi benturan yang diberikan sebelum mengalami kerusakan atau kegagalan. Pengujian ini merupakan salah satu metode penting dalam karakterisasi sifat mekanik komposit karena dapat menggambarkan ketahanan material terhadap beban kejut atau beban yang bekerja secara tiba-tiba. Harga impak yang diperoleh menunjukkan besarnya energi yang mampu diserap oleh material selama proses patah, sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi tingkat ketangguhan (*toughness*) komposit. Kemampuan penyerapan energi benturan dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti rasio serat dan matriks, kualitas ikatan antarmuka antara serat dan matriks, distribusi serat di dalam komposit, serta metode fabrikasi yang digunakan. Oleh karena itu, hasil pengujian impak pada setiap variasi spesimen dibandingkan untuk menganalisis pengaruh komposisi dan metode pembuatan terhadap ketahanan benturan material komposit. Hasil pengujian impak untuk seluruh variasi spesimen ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Harga Impak Komposit *Hybrid* Serabut Kelapa–Pelepah Pisang

Berdasarkan data hasil uji impak *Charpy* pada komposit serabut kelapa–pelepah pisang bermatriks *polyester*, diperoleh nilai energi impak yang berbeda pada setiap variasi komposisi serat dan metode fabrikasi. Harga impak pada spesimen Raw (komposit dengan penguat 30% serabut kelapa) tanpa *vacuum* sebesar 0,191 J/mm². Penambahan 10% pelepah pisang menurunkan harga impak menjadi 0,158 J/mm². Namun penambahan 20% pelepah pisang menaikkan harga impak dari 0,158 J/mm² menjadi 0,185 J/mm². Akan tetapi harga impak turun kembali menjadi 0,148 J/mm² setelah penambahan 30% pelepah pisang. Penggunaan *vacuum* dapat meningkatkan harga impak pada semua sampel seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. nilai tertinggi pada penelitian ini ditunjukkan pada sampel penambahan 20% pelepah pisang sebesar 0,222 J/mm².

Penggunaan *vacuum* mampu mengurangi jumlah udara yang terperangkap selama proses fabrikasi sehingga cacat berupa *void* dapat diminimalkan. Berkurangnya *void* menyebabkan ikatan antara matriks *polyester* dan serat penguat menjadi lebih baik sehingga energi benturan yang diterima material dapat diserap secara lebih efektif. Metode *vacuum* mampu meningkatkan impregnasi resin ke dalam serat serta mengurangi pembentukan *void* sehingga sifat mekanik komposit meningkat[9]. Pada spesimen tanpa *vacuum*, peningkatan kandungan pelepah pisang dari 10% ke 20% menunjukkan kenaikan harga impak. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan pelepah pisang mampu meningkatkan kemampuan material dalam menyerap energi benturan karena serat pelepah pisang memiliki karakteristik yang dapat membantu distribusi tegangan saat terjadi impak. Penambahan serat pisang pada komposit dapat meningkatkan kemampuan material dalam menahan beban selama komposisinya masih berada pada rentang optimum [10]. Namun, pada komposisi 30% tanpa *vacuum* terjadi penurunan harga impak yang cukup signifikan. Penurunan ini diduga disebabkan oleh distribusi serat yang kurang homogen serta meningkatnya kemungkinan terbentuknya aglomerasi serat dan *void* yang menyebabkan konsentrasi tegangan pada daerah tertentu sehingga material lebih mudah mengalami patah saat menerima beban kejut. *Void* dapat menjadi titik inisiasi retak dan menurunkan kemampuan komposit dalam menahan beban mekanik [11]. Sementara itu, pada spesimen yang dibuat menggunakan metode *vacuum*, peningkatan harga impak masih terlihat hingga komposisi 20% pelepah pisang. Komposisi ini menghasilkan harga impak tertinggi karena tercipta keseimbangan antara jumlah serat penguat dan kemampuan matriks dalam membasahi serat secara optimal. Ketika kandungan pelepah pisang ditingkatkan menjadi 30%, harga impak mengalami sedikit penurunan meskipun masih lebih tinggi dibandingkan spesimen tanpa *vacuum*. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serat yang terlalu banyak dapat menyebabkan berkurangnya dominasi matriks sebagai pengikat sehingga transfer beban menjadi kurang efektif. Peningkatan fraksi volume serat di atas komposisi optimum dapat menurunkan kekuatan impak akibat berkurangnya kemampuan matriks dalam membasahi serat secara sempurna serta menurunnya kualitas ikatan antarmuka serat dan matriks[12].

Berdasarkan data hasil uji impak *Charpy* pada komposit serabut kelapa–pelepah pisang bermatriks *polyester*, diperoleh nilai energi impak yang berbeda pada setiap variasi komposisi serat dan metode fabrikasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen dengan metode *vacuum* menghasilkan harga impak yang cenderung lebih tinggi dibandingkan spesimen tanpa *vacuum*. Nilai rata-rata impak tertinggi diperoleh pada variasi 20% *vacuum* dengan nilai sebesar 0,222 J/mm²,

sedangkan nilai terendah terdapat pada variasi 30% tanpa *vacuum* sebesar 0,148 J/mm². Perbedaan harga impact tersebut menunjukkan bahwa proses *vacuum* berpengaruh terhadap peningkatan ketangguhan komposit.

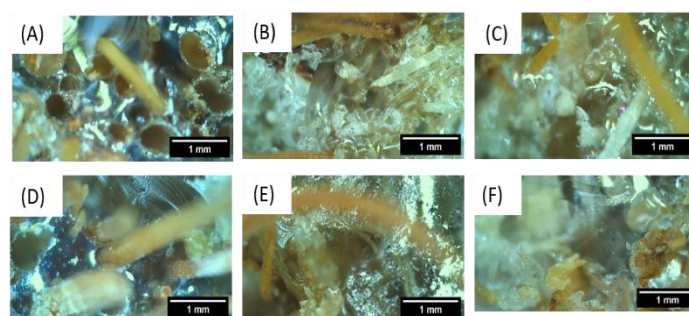
Penggunaan metode *vacuum* mampu mengurangi jumlah udara yang terperangkap selama proses fabrikasi sehingga cacat berupa *void* dapat diminimalkan. Berkurangnya *void* menyebabkan ikatan antara matriks *polyester* dan serat penguat menjadi lebih baik sehingga energi benturan yang diterima material dapat diserap secara lebih efektif. Metode *vacuum* mampu meningkatkan impregnasi resin ke dalam serat serta mengurangi pembentukan *void* sehingga sifat mekanik komposit meningkat [4].

Pada spesimen tanpa *vacuum*, peningkatan kandungan pelepah pisang dari 10% ke 20% menunjukkan kenaikan harga impact. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan pelepah pisang mampu meningkatkan kemampuan material dalam menyerap energi benturan karena serat pelepah pisang memiliki karakteristik yang dapat membantu distribusi tegangan saat terjadi impact. Penambahan serat pisang pada komposit dapat meningkatkan kemampuan material dalam menahan beban selama komposisinya masih berada pada rentang optimum. Namun, pada komposisi 30% tanpa *vacuum* terjadi penurunan harga impact yang cukup signifikan. Penurunan ini diduga disebabkan oleh distribusi serat yang kurang homogen serta meningkatnya kemungkinan terbentuknya aglomerasi serat dan *void* yang menyebabkan konsentrasi tegangan pada daerah tertentu sehingga material lebih mudah mengalami patah saat menerima beban kejut. *Void* dapat menjadi titik inisiasi retak dan menurunkan kemampuan komposit dalam menahan beban mekanik [13]. Sementara itu, pada spesimen yang dibuat menggunakan, peningkatan harga impact masih terlihat hingga komposisi 20% pelepah pisang. Komposisi ini menghasilkan harga impact tertinggi karena tercipta keseimbangan antara jumlah serat penguat dan kemampuan matriks dalam membasahi serat secara optimal. Ketika kandungan pelepah pisang ditingkatkan menjadi 30%, harga impact mengalami sedikit penurunan meskipun masih lebih tinggi dibandingkan spesimen tanpa *vacuum*. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serat yang terlalu banyak dapat menyebabkan berkurangnya dominasi matriks sebagai pengikat sehingga transfer beban menjadi kurang efektif. Peningkatan fraksi volume serat di atas komposisi optimum dapat menurunkan kekuatan impact akibat berkurangnya kemampuan matriks dalam membasahi serat secara sempurna serta menurunnya kualitas ikatan antarmuka serat dan matriks.

Untuk mendukung hasil pengujian impact, dilakukan pengamatan makro pada permukaan patahan spesimen setelah pengujian. Hasil pengamatan ditunjukkan pada Gambar 4. Pengamatan makro dilakukan untuk mendukung hasil pengujian impact dan mengidentifikasi karakteristik patahan yang terjadi pada spesimen. Melalui pengamatan ini dapat diketahui pengaruh metode fabrikasi terhadap keberadaan *void*, fenomena *fiber pull-out*, serta kualitas ikatan antarmuka antara serat dan matriks

Analisis Foto Patahan

Analisis foto patahan dilakukan untuk mengidentifikasi dan memahami mekanisme kegagalan yang terjadi pada spesimen komposit setelah dilakukan pengujian impact. Pengamatan terhadap permukaan patahan memberikan informasi penting mengenai perilaku material saat menerima beban benturan, termasuk pola kerusakan yang terbentuk selama proses patah. Melalui analisis ini dapat diketahui berbagai jenis kegagalan yang mungkin terjadi, seperti patahnya serat (*fiber breakage*), terlepasnya serat dari matriks (*fiber pull-out*), retak pada matriks (*matrix cracking*), delaminasi, maupun terbentuknya rongga yang berkontribusi terhadap proses kegagalan material. Karakteristik permukaan patahan juga dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas ikatan antara serat dan matriks serta efektivitas metode fabrikasi yang digunakan dalam pembuatan komposit. Selain itu, hasil analisis foto patahan dapat mendukung interpretasi data hasil pengujian impact dengan memberikan gambaran mengenai penyebab perbedaan kemampuan penyerapan energi pada setiap variasi spesimen. Adapun hasil pengamatan dan analisis permukaan patahan spesimen setelah pengujian impact ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Foto Patahan Spesimen Setelah Pengujian Impact

Berdasarkan hasil pengamatan pada permukaan patahan, spesimen tanpa menggunakan metode *vacuum* menunjukkan adanya fenomena *fiber pull-out*, retak matriks (*matrix cracking*), serta keberadaan *void* yang relatif lebih banyak. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa ikatan antar muka antara serat dan matriks belum terbentuk secara optimal sehingga transfer beban menjadi kurang efektif. Sebaliknya, spesimen yang dibuat menggunakan metode *vacuum* menunjukkan permukaan patahan yang lebih homogen dengan jumlah *void* yang lebih sedikit. Fenomena *fiber pull-out* juga lebih sedikit ditemukan, yang mengindikasikan bahwa ikatan antara serat dan matriks lebih kuat dibandingkan spesimen tanpa *vacuum*.

Berkurangnya jumlah *void* menyebabkan energi benturan dapat diserap dan didistribusikan secara lebih merata ke seluruh bagian material sebelum terjadi patah. Hal ini menjadi salah satu faktor yang menyebabkan harga impact pada spesimen *vacuum* lebih tinggi dibandingkan spesimen tanpa *vacuum*. Hasil pengamatan ini sejalan dengan penelitian Seid dan Adimass yang menyatakan bahwa keberadaan *void*, *fiber pull-out*, dan lemahnya ikatan antarmuka merupakan mekanisme kegagalan utama pada komposit serat alam yang dapat menurunkan ketangguhan impact material [14]. Proses fabrikasi berbasis *vacuum* mampu mengurangi cacat internal dan meningkatkan kualitas ikatan serat-matriks sehingga performa mekanik komposit menjadi lebih baik [15].

Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa variasi kandungan serat pelepah pisang berpengaruh terhadap nilai harga impact komposit *hybrid*. Pada kedua metode fabrikasi, yaitu tanpa *vacuum* maupun menggunakan *vacuum*, nilai harga impact mengalami peningkatan dari variasi 10% menuju 20%, kemudian menurun pada variasi 30%. Hal tersebut menunjukkan bahwa komposisi pelepah pisang sebesar 20% merupakan komposisi optimum yang mampu meningkatkan kemampuan komposit dalam menyerap energi benturan. Selain itu, penggunaan *vacuum* menghasilkan nilai harga impact yang lebih tinggi dibandingkan tanpa *vacuum* pada setiap variasi karena mampu mengurangi pembentukan *void* sehingga distribusi resin dan ikatan antarmuka serat-matriks menjadi lebih baik.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode mampu meningkatkan kualitas komposit *hibrid* serabut kelapa dan pelepah pisang. Selain mengurangi cacat *void*, proses *vacuum* juga meningkatkan kontak antar fase sehingga mekanisme kegagalan seperti *fiber pull-out* dan retak matriks dapat diminimalkan. Proses fabrikasi komposit yang dikombinasikan dengan metode *vacuum* mampu menghasilkan distribusi resin yang lebih merata serta meningkatkan kualitas ikatan antara serat dan matriks sehingga sifat mekanik material menjadi lebih baik. Dengan demikian, komposisi 20% pelepah pisang menggunakan metode *vacuum* dapat dianggap sebagai komposisi optimum karena menghasilkan nilai ketangguhan impact tertinggi dibandingkan variasi lainnya. Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi serat alam dan penerapan proses *vacuum* berpotensi menghasilkan material komposit yang lebih tangguh dan layak digunakan sebagai alternatif material ramah lingkungan untuk aplikasi teknik. Penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena karakterisasi material hanya dilakukan melalui pengujian impact dan pengamatan makro permukaan patahan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh penambahan serat pelepah pisang terhadap ketangguhan impact komposit *hybrid* serabut kelapa bermatriks *polyester* dengan metode *vacuum*, dapat disimpulkan bahwa:

Variasi kandungan serat pelepah pisang dan metode fabrikasi berpengaruh terhadap karakteristik fisik dan mekanik komposit yang dihasilkan. Hasil pengamatan foto makro menunjukkan bahwa penggunaan *vacuum* menghasilkan distribusi resin yang lebih merata, jumlah *void* yang lebih sedikit, serta kualitas ikatan antarmuka serat-matriks yang lebih baik dibandingkan spesimen tanpa *vacuum*. Hasil pengujian densitas menunjukkan bahwa seluruh spesimen yang dibuat menggunakan metode *vacuum* memiliki nilai densitas lebih tinggi dibandingkan spesimen tanpa *vacuum*. Nilai densitas tertinggi diperoleh pada variasi 20% pelepah pisang dengan metode *vacuum* sebesar 3,32 g/cm³ sedangkan nilai terendah diperoleh pada variasi 20% tanpa *vacuum* sebesar 2,41 g/cm³. Peningkatan densitas tersebut mengindikasikan berkurangnya rongga udara (*void*) dan meningkatnya kepadatan struktur komposit akibat impregnasi resin yang lebih optimal ke dalam susunan serat. Hasil pengujian impact menunjukkan bahwa penggunaan *vacuum* mampu meningkatkan ketangguhan impact komposit pada seluruh variasi kandungan pelepah pisang. Harga impact tertinggi diperoleh pada variasi 20% pelepah pisang dengan metode *vacuum* sebesar 0,222 J/mm², sedangkan harga impact terendah diperoleh pada variasi 30% pelepah pisang tanpa *vacuum* sebesar 0,148 J/mm². Kondisi ini menunjukkan bahwa komposisi 20% pelepah pisang merupakan komposisi optimum dalam meningkatkan kemampuan komposit menyerap energi benturan. Analisis foto patahan menunjukkan bahwa spesimen tanpa *vacuum* memiliki jumlah *void*, *fiber pull-out*, dan *matrix cracking* yang lebih banyak dibandingkan spesimen *vacuum*. Sebaliknya, spesimen yang dibuat menggunakan *vacuum* menunjukkan

permukaan patahan yang lebih homogen dengan ikatan serat–matriks yang lebih baik sehingga mampu menyerap dan mendistribusikan energi benturan secara lebih efektif.

Secara keseluruhan, penerapan metode *vacuum* terbukti mampu meningkatkan kualitas komposit *hybrid* serabut kelapa–pelepeh pisang melalui pengurangan *void*, peningkatan densitas, perbaikan kualitas ikatan antarmuka, serta peningkatan ketangguhan impak. Variasi 20% pelepeh pisang dengan metode *vacuum* merupakan komposisi paling optimal dan berpotensi dikembangkan sebagai material komposit ramah lingkungan untuk aplikasi teknik ringan yang membutuhkan kemampuan penyerapan energi benturan yang baik.

Adapun saran penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan variasi kandungan serat pelepeh pisang yang lebih beragam dengan interval komposisi yang lebih kecil, sehingga dapat diperoleh komposisi optimum yang lebih akurat dalam meningkatkan sifat mekanik komposit *hybrid* serabut kelapa–pelepeh pisang.
2. Pengujian sifat mekanik lainnya perlu dilakukan secara lebih komprehensif, meliputi uji tarik, uji lentur, uji tekan, dan uji kekerasan, sehingga karakteristik komposit yang dihasilkan dapat dievaluasi secara menyeluruh dan mendukung pengembangan aplikasinya pada berbagai bidang teknik.
3. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji pengaruh parameter proses *vacuum*, seperti variasi tekanan *vacuum* dan durasi pemvakuman, terhadap kualitas struktur komposit, nilai densitas, serta sifat mekanik yang dihasilkan, sehingga efektivitas proses fabrikasi dapat diketahui secara lebih mendalam.
4. Perlu dilakukan pengujian terhadap ketahanan lingkungan komposit, seperti uji penyerapan air, ketahanan terhadap kelembapan, dan ketahanan terhadap pengaruh cuaca (*weathering resistance*), guna mengevaluasi performa material dalam kondisi penggunaan yang sesungguhnya.
5. Penelitian selanjutnya juga dapat mempertimbangkan penggunaan jenis matriks yang berbeda, seperti resin epoksi maupun bioresin, untuk membandingkan pengaruh jenis matriks terhadap kualitas ikatan serat–matriks, pembentukan *void*, serta peningkatan sifat mekanik komposit *hybrid* berbasis serat alam.

Dengan demikian, hasil penelitian yang diperoleh diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan material komposit serat alam yang memiliki performa mekanik lebih baik, ramah lingkungan, serta berpotensi diaplikasikan pada berbagai kebutuhan rekayasa dan industri

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. P. Anas and M. Mora, “Analisis Pengaruh Variasi Massa Papan Partikel Berlapis dari Batang Pisang dan Tempurung Kelapa Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Papan Partikel Perekat Resin Epoksi,” *J. Fis. Unand*, vol. 9, no. 1, pp. 60–66, 2020, doi: 10.25077/jfu.9.1.60-66.2020.
- [2] D. Edbert, N. Siagian, M. Hakiem, S. Putra, and I. Artikel, “NATURAL FIBER AS AN ENVIRONMENTALLY FRIENDLY COMPOSITE MATERIAL,” vol. 5, no. 1, pp. 55–60, 2024.
- [3] N. Rino, G. Pandiangan, A. A. Rosidah, and H. Irawan, “Sifat Daya Serap Air dan Kekuatan Tarik Komposit Epoksi Berpenguat Serat Sabut Kelapa,” no. Senastitan Iv, pp. 2–8, 2024.
- [4] H. Istiqlalayah, I. P. Lokantara, and A. Tohari, “Pengaruh Penambahan Serat Pelepeh Pisang Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Serat Tebu Bermatrik Polyester,” vol. 7, no. 2, pp. 232–242, 2024.
- [5] N. D. Pramusinta and T. Widayatno, “ANALISIS KEKUATAN MATERIAL KOMPOSIT HYBRID BERPENGUAT SERAT SABUT KELAPA DAN SERAT KULIT JAGUNG MENGGUNAKAN METODE HAND LAY UP,” vol. 3, pp. 448–453, 2024.
- [6] N. Hadi, S. Sulardjaka, and N. Iskandar, “ANALISIS PENGARUH PERLAKUAN NAOH DAN ASETIL ANHIDRAT TERHADAP KEKUATAN REKAT DAN KEKUATAN LENTUR KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT RAMI DENGAN MATRIKS GONDORUKEM,” *J. Tek. MESIN*, vol. 12, no. 3, pp. 166–171, 2024.
- [7] F. Setiawan, “JOURNAL OF APPLIED MECHANICAL TANAMAN MENDONG MENGGUNAKAN METODE VACUUM,” vol. 2, no. 2, pp. 36–41, 2022.
- [8] A. Badrussalam and V. R. Nurussyifa, “UJI IMPAK KOMPOSIT SERAT ALAM ECENG GONDOK DAERAH INDRAMAYU DENGAN MATRIKS POLYESTER YUKALAC C-108,” vol. 26, no. 2, pp. 12–17, 2024.
- [9] Y. N. Febriyanto *et al.*, “PENGARUH FRAKSI VOLUME KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT KARBON–PELEPAH PISANG TERHADAP UJI IMPAK DAN UJI MAKRO,” *J. Tek. Mesin Unesa*, 2026.
- [10] A. V Kiruthika, “A review of leaf fiber reinforced polymer composites,” *J. Eng. Appl. Sci.*, pp. 1–31, 2024, doi: 10.1186/s44147-024-00365-2.
- [11] U. S. Pawar, S. S. Chavan, D. D. Mohite, and Y. V Thorat, “Development of lightweight and high-strength natural fiber hybrid composites using Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding process,” *Mater. Today Proc.*, 2024,

- doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2024.05.096>.
- [12] S. W. Prakoso and T. H. Ningsih, "PENGARUH PERENDAMAN NAOH DAN FRAKSI VOLUME SERAT TEBU TERHADAP KEKUATAN BENDING DAN IMPAK KOMPOSIT DENGAN Matrik POLYESTER," *J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 03, pp. 27–34, 2021.
- [13] A. J. Zulfikar, M. Y. Yaakob, and R. Syah, "Application of E-Glass Jute Hybrid Laminate Composite With Curved Shape on Compressive Strength of Cylindrical Column Concrete," *J. Appl. Eng. Technol. Sci*, vol. 5, no. 1, pp. 184–196, 2023.
- [14] A. M. Seid and S. A. Adimass, "Review on the impact behavior of natural fiber epoxy based composites," *Heliyon*, vol. 10, no. 20, 2024.
- [15] N. F. Yudha, S. Hastuti, and R. F. Listyanda, "PENGARUH LAMA CURING MATERIAL KOMPOSIT SERAT KARBON TERHADAP KEKUATAN MEKANIK DENGAN METODE PEMBUATAN KOMBINASI HAND LAY-UP DAN VACUUM BAGGING," *AutoMech J. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 01, 2025.