

Studi Eksperimen Pengembangan Material Komposit Serat Sabut Buah Pinang Sebagai Penguat Material Alternatif Pembubutan

Suhersan Panggal¹, Musa Bondaris Palungan², Nitha³

^{1,2,3} Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar

Jl. Perintis Kemerdekaan Km 13 No. 28 Daya, Makassar, Indonesia 90243

Email: giogya69@gmail.com, musbop@ukipaulus.ac.id, nithan039@gmail.com

ABSTRAK

Persaingan teknologi manufaktur yang menuntut efisiensi biaya mendorong pengembangan material alternatif ramah lingkungan untuk proses pemesinan. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi potensi penggunaan material komposit serat sabut buah pinang dengan matriks resin *Epoxy DGEBA* dan pengeras *Polyamide* sebagai material alternatif pembubutan konvensional pengganti teflon murni (*Mechanical Grade PTFE*). Menggunakan metode eksperimental (*True Experimental Research*), penelitian ini menguji pengaruh variasi fraksi volume serat (10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%) terhadap sifat mekanik dan kualitas permukaan hasil proses bubut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serat memengaruhi performa mekanik secara fluktuatif. Komposisi fraksi volume serat 30% terbukti menghasilkan performa mekanik yang paling optimal dengan kekuatan tarik sebesar 20,286 MPa, modulus Young sebesar 3667,5 MPa, dan energi impact sebesar 111 Joule. Sebaliknya, pada fraksi serat 50%, terjadi kegagalan akibat kekurangan matriks (*matrix starvation*) yang menurunkan kekuatan tarik secara drastis menjadi 4,1568 MPa dan ketangguhan impact menjadi 92 Joule. Dari segi kemampuan pemesinan, seluruh variasi komposit dapat dibubut, meskipun menghasilkan kekasaran permukaan (R_a 4,055–13,953 μm) yang lebih tinggi dibanding teflon murni karena strukturnya yang heterogen. Secara keseluruhan, komposit serat sabut buah pinang dengan fraksi volume serat 30% merupakan komposisi optimum yang paling efisien secara teknis sebagai bahan alternatif pengerjaan bubut.

Kata kunci: Serat Sabut Pinang, Komposit, Epoxy, Pembubutan, Sifat Mekanik, Kekasaran Permukaan

ABSTRACT

The competition in manufacturing technology that demands cost efficiency encourages the development of environmentally friendly alternative materials for machining processes. This study aims to investigate the potential use of areca nut fiber composite materials with Epoxy DGEBA resin matrix and Polyamide hardener as an alternative material for conventional turning to replace pure Teflon (Mechanical Grade PTFE). Using an experimental method (True Experimental Research), this study tested the effect of variations in fiber volume fraction (10%, 20%, 30%, 40%, and 50%) on the mechanical properties and surface quality of the turning process results. The test results showed that the addition of fibers fluctuatedly affected mechanical performance. The composition of 30% fiber volume fraction was proven to produce the most optimal mechanical performance with a tensile strength of 20.286 MPa, Young's modulus of 3667.5 MPa, and impact energy of 111 Joules. On the other hand, at 50% fiber fraction, failure occurred due to matrix starvation which drastically reduced the tensile strength to 4.1568 MPa and the impact toughness to 92 Joules. In terms of machinability, all variations of the composites can be machined, although they produce a higher surface roughness (R_a 4.055–13.953 μm) than pure Teflon due to their heterogeneous structure. Overall, the areca nut fiber composite with a fiber volume fraction of 30% is the most technically efficient optimum composition as an alternative material for turning.

Keywords: Areca Nut Fiber, Composite, Epoxy, Turning, Mechanical Properties, Surface Roughness

Pendahuluan

Saat ini persaingan teknologi sudah nyata di depan mata dan semakin ketat serta berdampak globalisasi dalam laju perindustrian yang memakai alat-alat modern pada mesin – mesin industri pengoperasian proses produksi khususnya teknik pemesinan proses pembubutan yang mampu menghasilkan produk yang bentuk dan dimensi yang presisi[1]. Operasi proses pembubutan masih digunakan secara masif karena tidak hanya memotong, membentuk material sesuai permintaan pelanggan tetapi juga untuk mendapatkan standar kualitas tertentu, terutama dalam hal penerapan material dan perbandingan berkelanjutan ekonomi[2].

Pada umumnya penggunaan material pembubutan diberbagai penerapan baik secara balai vokasi keteknikan, pendidikan teknik mesin maupun produk sparepart adalah material mild steel, dimana proses produksinya rumit dan harga beli material mahal untuk wilayah Papua sehingga menjadi alternatif pengembangan penggunaan material pembubutan yakni menggunakan material komposit serat alam[3]. Serat kulit/sabut buah pinang merupakan material komposit menawarkan kombinasi sifat mekanik yang baik dengan pengikatnya resin epoxy untuk mengevaluasi tantangan yang timbul selama proses pemotongan dan mengukur kinerja pemesinan[4]. Hasil menunjukkan bahwa material ini dapat dibubut dengan baik mengoptimalkan parameter potong untuk menjaga suhu dalam batas yang aman, sekaligus meningkatkan kualitas pengerjaan[5].

Sebagai upaya mendayagunakan limbah pertanian maka dilakukan perlakuan serat pada studi eksperimental mengenai pengaruh serat kulit buah pinang terhadap sifat mekanik material komposit yang berpotensi menjadi penguat komposit karena memiliki kekuatan dan kekakuan yang baik[6]. Dengan metode *hand lay-up* antara matriks resin *polyester* dan serat dengan volume 10%, 20%, dan 30% [7]. Hasil pengujian tarik, lentur, dan dampak menunjukkan bahwa peningkatan fraksi volume serat meningkatkan kekuatan dan modulus komposit, namun pada fraksi 30% terjadi penurunan kekuatan dampak. Pengamatan mikrostruktur dengan SEM menunjukkan ikatan antarmuka yang baik antara serat dan matriks[8]. Komposit serat kulit buah pinang sangat berpotensi digunakan sebagai bahan alternatif yang kuat dan ringan[9]

Serat alami bersifat hidrofilik dan mengandung lignoselulosa. Hal ini disebabkan karena serat alami banyak mengandung gugus hidroksil[10]. Komposit serat alam seperti serat kulit buah pinang seringkali sulit dibubut karena sifatnya yang *abrasif* dan *anisotropik*[11]. Studi eksperimen ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh parameter pemotongan, yaitu kecepatan potong, laju pemakanan, dan kedalaman potong terhadap kualitas permukaan dan gaya potong saat membubut material komposit serat rami. Eksperimen dilakukan menggunakan mesin bubut CNC dengan variasi parameter tersebut. Hasilnya menunjukkan bahwa kecepatan potong yang tinggi dan laju pemakanan yang rendah menghasilkan kualitas permukaan yang lebih baik dan gaya potong yang lebih kecil. Temuan ini memberikan panduan penting dalam memilih parameter optimal untuk proses pembubutan komposit serat alam, yang dapat diterapkan pada jenis serat lainnya, termasuk serat kulit buah pinang, untuk mencapai proses yang lebih efisien dan ramah lingkungan[12]. Selain sifat mekanik, perilaku tribologi dengan pendekatan pembelajaran mesin, memetakan pengaruh fraksi serat terhadap keausan/koeffisien gesek terhadap tren keausan yang lebih rendah pada konfigurasi tertentu mengindikasikan potensi beban pahat lebih ringan saat pemotongan[13].

Definisi komposit sebagai material yang terdiri dari dua atau lebih fasa penyusun (biasanya penguat/reinforcement) dan matriks yang digabung untuk menghasilkan sifat yang unggul dibandingkan material penyusunnya secara individual [14]. Relevansi klasifikasi komposit dalam penelitian ini menjadi landasan untuk menjelaskan mengapa serat/sabut buah pinang (penguat) dicampur dengan resin epoxy (matriks/pengikat) tambah hardener (pengeras) mampu menciptakan material baru yang membantu memposisikan penelitian ini dalam konteks yang tepat dari aspek kebaruan (*Novelty*)[15]. Tanaman pinang merupakan tanaman yang banyak dijumpai dipelosok Nusantara, sehingga sangat melimpah dengan pemanfaatan limbah serat buah pinang masih terbatas pada industri meubel dan kerajinan rumah tangga yang belum diolah secara teknologi[16]

Reaksi pengerasan epoksi-amina dipelajari secara teoritis menggunakan teori ekspektasi dengan mempertimbangkan perbedaan reaktivitas hidrogen amina primer dan sekunder dan gugus hidroksil sekunder yang dihasilkan ketika amina bereaksi dengan gugus epoksi[17]. Kegunaan matriks untuk bahan komposit yaitu Matrik memegang dan mempertahankan serat pada posisinya[18]. Pada saat pembebanan, merubah bentuk dan mendistribusikan tegangan ke unsur utamanya yaitu serat[19]. Memberikan sifat tertentu, misalnya *ductility*, *toughness*, dan *electrical insulation*[20]. Berperan untuk mendistribusi beban ke serat, dan memperlambat proses kerusakan dari serat yang *brittle*[12]. Memisahkan serat yang satu dengan serat lainnya sehingga mendukung *wettability* serat dengan matrik[21]

Komposit tanpa perlakuan kimia antara resin epoxy dengan serat kulit/sabut buah pinang meski nilai yang dihasilkan lebih rendah menunjukkan uji kuat tarik 4,84 Mpa berdasarkan ASTM D3039, Modulus elastis 114,1 Mpa yang memenuhi standar JIS A5905 sifat tahan korosi juga ringan untuk elastisitas dan tarik serta abrasive rendah tetapi memberikan dasar ekonomis dan studi mesin ramah lingkungan sehingga cocok, layak sebagai spesimen/material uji sederhana untuk material uji pembubutan, terutama untuk pengembangan lebih lanjut[22].

Matriks golongan termoset adalah material yang tidak bisa menjadi lunak kembali walaupun dipanaskan di atas temperatur pembentuknya[19]. Matrik yang umum digunakan pada komposit serat alam yaitu resin jenis Epoksi yang mengandung struktur *oxirene*[8]. Jika resin direaksikan dengan *hardener* akan membentuk polimer *crosslink*[23]. *Hardener* untuk sistem *curing* pada temperatur ruang dengan resin epoksi pada umumnya adalah senyawa poliamid yang terdiri dari dua atau lebih grup amina[24]. *Curing time* sistem epoksi bergantung pada kereaktifan atom hidrogen dalam senyawa amina [25]. Ciri resin epoksi yaitu dua kelompok epoksida dalam struktur molekulnya yang mengandung sebuah atom oksigen terikat dengan dua atom karbon yang terikat oleh ikatan terpisah, dan dikenal sebagai oksiran. Jaringan polimer epoksi umumnya terbentuk dari reaksi poliepoksida (monomer) dengan poliamin (pengeras)[26]. Untuk pengeras terdapat beberapa jenis amina

(*aliphatic amine, cycle aliphatic amine dan aromatic amine*) seperti *methane* (PACM), *1.3-Bisamino methyl cyclohexane* (1.3 BAC) dan *polyaminoamide* (PPA)[15]

Bertolak dari semua hal kemajuan penelitian material diatas diberbagai penerapan baik di balai vokasi keteknikan maupun pendidikan teknik mesin secara geografis wilayah Pulau Papua ujung paling Timur Republik Indonesia muncul implikasi kesenjangan yang titik beratnya tentang kemampuan keterbubutan (*machinability process*) dan keberlanjutan material (*sustainability material*) pada penerapan dan penggunaan material antara teflon murni dengan material komposit serat kulit/sabut buah pinang seperti perlakuan material, proses pemesinan dan kelayakan material dengan berfikir ramah lingkungan dari aspek teknik[13]. Meskipun penelitian mengenai pemanfaatan serat sabut pinang telah banyak dilakukan, sebagian besar studi terdahulu hanya membatasi fokus pada optimasi sifat mekanik statis komposit untuk aplikasi struktural tetap. Hingga saat ini, investigasi mendalam mengenai kemampuan keterbubutan (*machinability*) komposit serat pinang sebagai material alternatif pengganti Teflon murni (*Mechanical Grade PTFE*) masih sangat jarang dilakukan, terutama yang mengkorelasikan fraksi volume serat terhadap kekasaran permukaan dan integritas mekanis pasca-pemesinan. Oleh karena itu, penelitian ini berkontribusi untuk mengisi gap tersebut dengan menganalisis secara komparatif performa mekanik dan kualitas pembubutan konvensional, sehingga dapat memberikan formulasi optimum komposit yang ramah lingkungan sekaligus efisien secara teknis sebagai substitusi material teknik komersial

Metode Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimental, karena penelitian bertujuan untuk mengamati dan mengukur efek dari perubahan variabel bebas (*independent*) yaitu fraksi volume serat mulai 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dan parameter pembubutan (*Cs, f, DoC*) terhadap variabel terikat (*dependent*) yaitu pengujian sifat mekanik (*tensile, impact*) dan kualitas permukaan material komposit serat sabut buah pinang[12].

Metode analisa data disajikan juga dalam bentuk grafik fraksi serat terhadap hasil pengujian sifat mekanik, grafik parameter pembubutan terhadap nilai kekasaran permukaan dan uji ANOVA untuk hasil signifikansi antar variabel serta analisis matematis regresi linier untuk melihat hubungan variabel bebas dan terikat[27].

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 6 bulan dan bertempat di workshop Manufaktur, Balai Pelatihan Vokasi dan Produktivitas (BPVP) Sorong, Papua Barat Daya, Kementerian Ketenagakerjaan RI, Balai Besar Pelatihan Vokasi dan Produktivitas (BBPVP) Makassar, Sulawesi Selatan, Kementerian Ketenagakerjaan RI, workshop Teknik Ilmu Logam, Politeknik Akademi Teknik Industri (ATI) Makassar, Sulawesi Selatan, Kementerian Perindustrian RI.

Bahan Penelitian

Bahan Penelitian terdiri dari bahan serat alam (sabut buah pinang), bahan matriks (*Epoxy berbasis Diglycidyl Ether of Bisphenol A, Hardener*), bahan pembanding (*Polytetrafluoroethylene atau Mechanical Grade PTFE*) dan bahan pendukung (Larutan kimia NaOH, Air bersih RO, Lilin batangan).

Alat Penelitian

- Alat untuk Preparasi dan Pengolahan Material. (Cutter/pisau dan gunting; Hammer mill/karet; Oven listrik; Timbangan Digital Presisi (*Analytical Balance*); Wadah dan gelas kimia; Kertas gosok / amplas grade 400-600; Pipa bahan PVC)
- Alat untuk Pembuatan Spesimen Uji Material. (Cetakan (*Mold*) uji tarik; uji ketangguhan; uji pembubutan; Pengaduk (*Stirrer*) dan kuas; Roller atau Penekan (*cold press*))
- Alat untuk Membentuk Spesimen Uji Material (Mesin gerinda pemotong (*Cutting Grinder*) atau mesin grinding khusus; Mesin Bubut Konvensional; Pahat Bubut (*Cutting Tool*) hss ISO 6)
- Alat untuk Pengujian dan Karakterisasi (Mesin Uji Tarik (*Universal Testing Machine* - UTM); Mesin Uji Ketangguhan (*Impact Tester*); Alat Surface Roughness Tester; Mikroskop Optik Makro pembesaran 50x; Jangka Sorong (*Caliper Vernier*) ketelitian 0,05 mm dan Mikrometer Outside range 0–25 mm)
- Alat Pendukung dan Keselamatan (Alat Pelindung Diri (APD); Exhaust Fan atau Kabinet Asap (*Fume Hood*))

Desain Penelitian

Desain penelitian ini adalah True Experimental Research dengan pendekatan Laboratorium Eksperimen[2]. Penelitian akan menggunakan *Posttest-Only Control Group Design*, di mana kelompok eksperimen (komposit serat sabut buah pinang dengan variasi fraksi) akan diuji dan hasilnya dibandingkan

dengan kelompok kontrol (*teflon murni tipe Polytetrafluoroethylene atau Mechanical Grade PTFE*)[3]. Variabel bebas akan rekayasa secara sistematis untuk mengamati pengaruhnya terhadap variabel terikat

Tahapan Penelitian

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------|
| 1. Preparasi Serat Sabut buah pinang | 7. Pengujian Karakterisasi |
| 2. Preparasi Cetakan | 8. Pengumpulan Data |
| 3. Preparasi Matriks | 9. Analisis Data |
| 4. Preparasi Casting | 10. Validasi Hasil |
| 5. Preparasi Spesimen Material Uji | 11. Penarikan Kesimpulan |
| 6. Eksperimen Pembuatan | 12. Selesai |

Hasil Dan Pembahasan

Hasil Pembuatan Spesimen Uji Material Komposit

Untuk membuat sampel uji maka harus diketahui perbandingan komposisi campuran antara massa resin dengan massa hardener. Resin yang digunakan adalah *Epoxy berbasis Diglycidyl Ether of Bisphenol-A (DGEBA)* dan *hardener jenis Polyamide*. Berikut adalah hasil perbandingan rasio campuran untuk resin dengan Hardener.

Tabel 1. Hasil Perbandingan Rasio Campuran Untuk Resin Dengan Hardener

Fraksi Volume (<i>Fv</i>) %	Volume Serat (<i>Vf</i>) %	Volume Epoxy (<i>VE</i>) %	Volume Hardener (<i>VH</i>)%
10	10	56,7	33,3
20	20	50,4	29,6
30	30	44,1	25,9
40	40	37,8	22,2
50	50	31,5	18,5

Perbandingan Rasio Untuk Cetakan Spesimen Uji Tarik (*Tensile Test*) disajikan pada tabel berikut ini.

Tabel 2. Hasil Perbandingan Rasio Untuk Cetakan Uji Tarik

Fraksi Volume (<i>Fv</i>) %	Volume Serat (<i>Vf</i>) cm^3	Volume Matriks (<i>Vm</i>) cm^3	Massa Serat (<i>Mf</i>) gram	Massa Matriks (<i>Mm</i>) Gram
10	2,6	23,4	3,38	26,91
20	5,2	20,8	6,76	23,92
30	7,8	18,2	10,14	20,93
40	10,4	15,6	13,52	17,94
50	13	13	16,9	14,95

Tabel 3. Hasil Perbandingan Rasio Untuk Cetakan Uji Ketangguhan

Fraksi Volume (<i>Fv</i>) %	Volume Serat (<i>Vf</i>) cm^3	Volume Matriks (<i>Vm</i>) cm^3	Massa Serat (<i>Mf</i>) gram	Massa Matriks (<i>Mm</i>) Gram
10	0,32	2,88	0,416	3,312
20	0,64	2,56	0,832	2,944
30	0,96	2,24	1,6224	2,576
40	1,28	1,92	1,664	2,208
50	1,6	1,6	2,08	1,84

Bentuk cetakan spesimen uji pembubutan yaitu berupa silinder pipa dari bahan PVC dengan hasil komposit pejal. Pipa PVC yang digunakan ukuran diameter 24 mm panjang 80 mm. Berikut Hasil perbandingan rasio untuk cetakan uji pembubutan.

Tabel 4. Hasil Perbandingan Rasio Untuk Cetakan Uji Pembubutan

Fraksi Volume (<i>Fv</i>) %	Volume Serat (<i>Vf</i>) cm^3	Volume Matriks (<i>Vm</i>) cm^3	Massa Serat (<i>Mf</i>) gram	Massa Matriks (<i>Mm</i>) gram
10	3,9	35,1	2,6	40,365
20	7,8	31,2	10,14	35,88
30	11,7	27,3	15,21	31,395
40	15,6	23,4	20,28	26,91
50	19,5	19,5	25,35	22,425

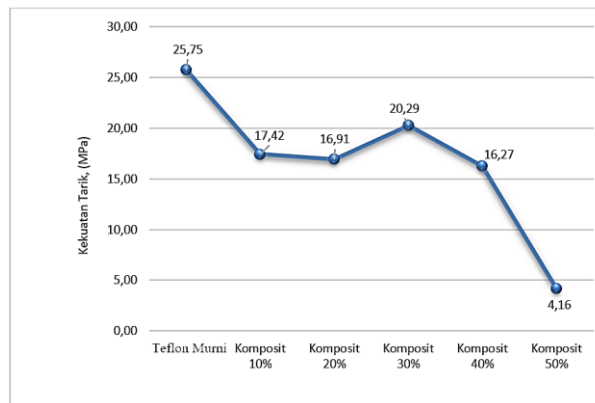
Hasil Pengujian Sifat Mekanik Material Komposit

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dalam menahan beban tarik statis ekstrem. Berdasarkan data pengujian laboratorium, nilai kekuatan tarik (tensile strength / stress at maximum) dan kekakuan material (Young's Modulus) sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil Pengujian Tarik Komposit

No.	Spesimen	Kekuatan Tarik (Stress at Max, MPa)	Modulus Young (MPa)	Regangan Maksimum (Strain, %)
1	Teflon Murni	25,75	1922,5	49,64
2	Komposit 10%	17,42	3313,7	0,82
3	Komposit 20%	16,91	3419,3	0,85
4	Komposit 30%	20,29	3667,5	0,89
5	Komposit 40%	16,27	3403,0	0,81
6	Komposit 50%	4,16	1031,7	0,69

Sumber : Lab. Ilmu Logam Politeknik Akademi Teknologi Industri Makassar



Gambar 1. Grafik Hubungan Fraksi Volume Serat terhadap Kekuatan Tarik

Tabel 6. Hasil Analisis ANOVA Kekuatan Tarik Komposit

Sumber Variasi	Jumlah Kuadrat (SS)	Derajat Kebebasan (df)	Rataan Kuadrat (MS)	F-Hitung	Signifikansi (P-value)	F-Tabel (F-crit)
Antar Kelompok (Serat)	758,1888	5	151,6378	5032,227	0,000	3,1059
Dalam Kelompok (Error)	0,3616	12	0,0301			
Total	758,5504	17				

Berdasarkan Tabel 5, spesimen teflon murni memiliki kekuatan tarik tertinggi sebesar 25,75 MPa dengan elastisitas (*strain*) mencapai 49,64%. Hasil pengujian ini divalidasi menggunakan analisis statistika ANOVA, di mana diperoleh nilai F-hitung sebesar 5032,227 yang jauh lebih besar dari F-tabel (3,105), serta nilai signifikansi (*P-value*) sebesar 0,000 (lebih kecil dari 0,05). Hasil statistik ini membuktikan secara sah dan mutlak bahwa variasi fraksi volume serat memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap kekuatan tarik komposit.

Ketika serat sabut buah pinang ditambahkan ke dalam matriks (fraksi 10% hingga 20%), terjadi penurunan kekuatan tarik awal menjadi 17,42 MPa dan 16,91 MPa. Penurunan ini merupakan fenomena umum pada komposit serat alam akibat belum optimalnya distribusi beban dan munculnya proses pengikatan serat yang memicu konsentrasi tegangan (*stress concentration*). Namun, kekuatan tarik mengalami kenaikan optimal pada fraksi 30% yaitu sebesar 20,29 MPa. Hal ini menandakan bahwa terjadi ikatan antarmuka (*interfacial bonding*) yang paling seimbang antara serat sabut pinang dengan matriks resin Epoxy DGEBA, sehingga transfer tegangan dari matriks ke serat penguat berlangsung secara efektif.

Sebaliknya, pada fraksi 50%, kekuatan tarik turun secara drastis hingga menyisakan 4,16 MPa. Kegagalan ekstrem ini disebabkan oleh kondisi kekurangan matriks (*matrix starvation*), di mana volume resin epoxy tidak lagi mampu membasahi (*wetting*) seluruh permukaan serat yang terlalu padat. Akibatnya, terbentuk cacat kosong (*void*) yang sangat masif di dalam material dan menurunkan integritas strukturnya. Di sisi lain, nilai Modulus Young peningkatan dari 1922,5 MPa (teflon murni) menjadi 3667,5 MPa (Komposit 30%). Hal ini secara ilmiah membuktikan bahwa penambahan serat sabut pinang berhasil meningkatkan sifat kekakuan (*stiffness*) material secara signifikan, meskipun mengorbankan sifat keuletan (*ductility*) turun di bawah 1%.

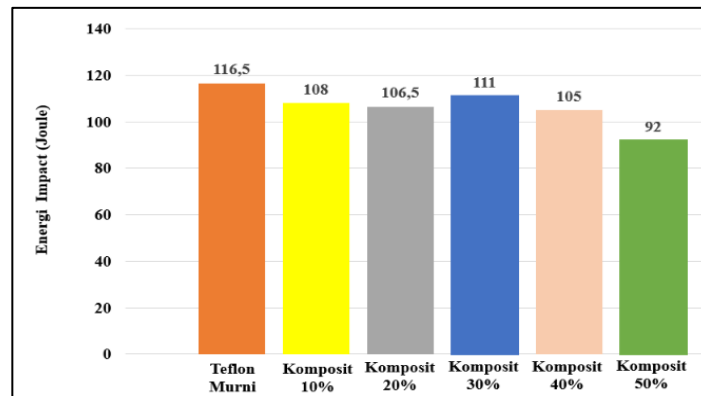
Data Pengujian Uji Ketangguhan (*Impact Test*)

Hasil pengujian impact digunakan untuk mengetahui pengaruh penambahan serat terhadap ketangguhan dengan variasi fraksi volume serat 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Menggunakan metode *Charpy Test* dengan mengacu pada ukuran Standar Internasional spesimen uji impact ISO 179 Tipe 1 ruang lingkup bahan Plastik bentuk sampel dengan takikan. Berdasarkan data pengujian laboratorium maka diperoleh hasil energi impact sebagai berikut;

Tabel 7 Hasil Pengujian Impact Komposit

Komposisi (%)	Energi Impact (J)
Teflon Murni	116,5
10	108
20	106
30	111
40	105
50	92

Sumber : Lab. Ilmu Logam Politeknik Akademi Teknologi Industri Makassar



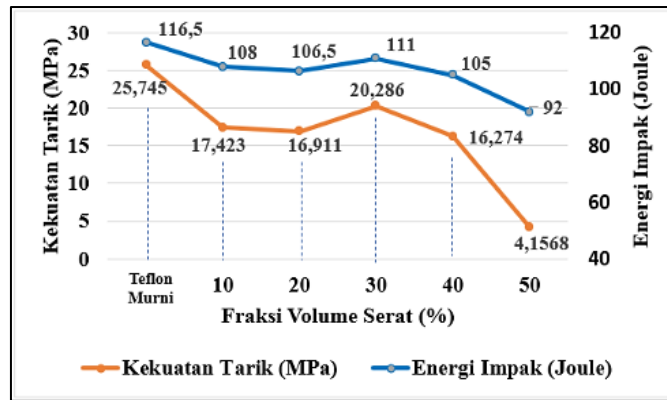
Gambar 2. Grafik Hubungan Fraksi Volume Serat terhadap Energi Impact

Berdasarkan gambar 2 grafik hubungan fraksi volume serat terhadap energi impact maka terlihat sangat jelas bahwa karakteristik ketangguhan impact menunjukkan tren yang serupa dengan pengujian tarik yakni teflon murni sebesar 116,5 Joule, sedangkan pada komposit 10%, 20% ketangguhan turun menjadi 108 Joule, 106,5 Joule ini disebabkan serat yang tidak berikat sempurna dengan resin sebagai jejak awal retakan ketika diberi beban kejut yang merambat cepat melalui cacat tersebut.

Pada komposit dengan fraksi volume 30%, terjadi kenaikan energi serap menjadi 111 Joule. Pada titik ini, mekanisme penguatan komposit bekerja dengan baik dalam jumlah yang pas (30%) mampu menjembatani retakan (*crack bridging*) dan menyerap sebagian besar energi mekanis dari luar sebelum patah terjadi. Tetapi saat komposit volume 40% dan 50%, ketangguhan impact menurun kembali secara kontinu hingga titik terendah 92 Joule. Hal ini menegaskan bahwa penambahan serat dan tingginya porositas (*void*) akibat kekurangan resin perekat melemahkan integritas struktural material, membuat rambatan retak berjalan sangat cepat tanpa hambatan berarti dari matriks.

Analisa Komparatif Korelasi Sifat Tarik dan Ketangguhan Impact

Untuk memahami karakteristik mekanik komposit berbasis serat sabut buah pinang secara menyeluruh, dilakukan analisis pengaruh hubungan erat bersama-sama antara kekuatan tarik (*tensile strength*) dan ketangguhan impact (*work to break*). Hubungan interaktif kedua sifat mekanik ini disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Tren Kekuatan Tarik dan Energi Impact Komposit

Berdasarkan Gambar 3, terlihat sebuah fenomena fisik secara teoritis yang konsisten di mana tren kurva kekuatan tarik dan energi impact bergerak secara selaras dan berbanding lurus seiring perubahan fraksi volume serat. Keselarasan grafik ini mengindikasikan bahwa kinerja mekanik material, baik dalam menahan beban statis aksial (tarik) maupun beban kejut mendadak (impact), dikendalikan oleh mekanisme mikrostruktural yang sama di dalam material komposit yakni fase degradasi awal pada fraksi 10%-20%, fase penguatan maksimum pada fraksi 30% dan fase kegagalan struktur akibat porositas pada fraksi 40%-50%.

Sifat mekanik yang optimal dan stabil pada fraksi 30% dengan nilai kekuatan tarik 20,286, nilai kekakuan Modulus Young mencapai 3667,5 Mpa, nilai ketangguhan beban kejut 111 Joule menjadi indikator krusial bahwa variasi komposisi ini merupakan kandidat terbaik untuk diaplikasikan sebagai material alternatif benda kerja pembubutan konvensional. Kestabilan mekanis tersebut sangat dibutuhkan agar material tidak mudah pecah, retak, atau mengalami defleksi berlebih saat berinteraksi dengan mata pahat bubut.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi fraksi volume serat sabut buah pinang memberikan pengaruh yang nyata terhadap sifat mekanik dan karakteristik pembubutan material komposit. Pengaruh tersebut terlihat pada perubahan nilai kekuatan tarik, energi impact, serta kualitas permukaan hasil pembubutan.

Pada pengujian mekanik, peningkatan fraksi volume serat tidak selalu menghasilkan peningkatan sifat mekanik material. Hal ini terlihat dari nilai kekuatan tarik dan energi impact yang mengalami fluktuasi pada setiap variasi komposisi serat. Komposit dengan fraksi volume serat 30% menghasilkan performa mekanik terbaik dengan nilai kekuatan tarik sebesar 20,286 MPa dan energi impact sebesar 111 Joule. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa pada komposisi serat 30% terjadi distribusi serat dan matriks yang lebih baik dibandingkan variasi lainnya sehingga menghasilkan sifat mekanik yang lebih tinggi.

Sebaliknya, pada komposit dengan fraksi volume serat 50%, terjadi penurunan yang signifikan pada kekuatan tarik hingga mencapai 4,1568 MPa dan energi impact sebesar 92 Joule. Penurunan ini menunjukkan bahwa kandungan serat yang terlalu tinggi dapat menyebabkan distribusi resin menjadi tidak merata, meningkatkan kemungkinan terbentuknya rongga (void), serta menurunkan kualitas ikatan antara serat dan matriks.

Variasi komposisi serat sabut buah pinang memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik komposit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposit dengan fraksi volume serat 30% menghasilkan sifat mekanik terbaik dengan kekuatan tarik sebesar 20,286 MPa dan energi impact sebesar 111 Joule. Sementara itu, peningkatan kandungan serat hingga 50% menyebabkan penurunan sifat mekanik yang cukup signifikan. Dengan demikian, penambahan serat sabut buah pinang memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik dan ketangguhan komposit, dimana komposisi 30% merupakan komposisi yang paling optimal.

Dari aspek pembubutan, peningkatan parameter pemotongan berupa kecepatan putar, gerak makan, dan kedalaman potong cenderung meningkatkan nilai kekasaran permukaan pada seluruh variasi komposit. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa peningkatan beban pemotongan menyebabkan permukaan hasil pembubutan menjadi lebih kasar.

Perbandingan dengan material Teflon murni menunjukkan bahwa seluruh komposit menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh struktur komposit yang bersifat heterogen karena terdiri dari matriks dan serat penguat, sedangkan Teflon memiliki struktur yang lebih homogen sehingga lebih mudah menghasilkan permukaan yang halus setelah proses pembubutan.

Hasil pengamatan morfologi geram menunjukkan bahwa keberadaan serat memengaruhi mekanisme pembentukan geram selama proses pemotongan. Nilai kekasaran permukaan meningkat seiring dengan peningkatan parameter pembubutan dan bertambahnya kandungan serat. Nilai Ra hasil pembubutan berada pada rentang 4,055–13,953 μm untuk material komposit dan 2,049–3,941 μm untuk Teflon murni. Nilai Ra tertinggi diperoleh pada komposit 50% dengan parameter pembubutan 300 RPM, yaitu sebesar 13,953 μm . Hasil

observasi morfologi geram menunjukkan adanya pengaruh serat terhadap mekanisme pembentukan geram selama proses pemotongan.

Selain itu, hasil observasi keausan pahat menunjukkan bahwa peningkatan kandungan serat dan parameter pembubutan berpotensi meningkatkan kontak abrasif antara pahat dan benda kerja. Selain itu, hasil pengamatan visual pahat menunjukkan adanya indikasi keausan setelah digunakan untuk proses pembubutan komposit. Dengan demikian, komposit serat sabut buah pinang memiliki kemampuan untuk dibubut, namun kualitas hasil pembubutan dipengaruhi oleh kandungan serat dan parameter pemotongan yang digunakan.

Hasil eksperimen membuktikan bahwa serat sabut buah pinang memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai material penguat komposit yang dapat dikerjakan menggunakan proses pembubutan konvensional. Namun demikian, diperlukan pemilihan komposisi serat yang tepat agar diperoleh keseimbangan antara sifat mekanik dan kemampuan pemesinan. Berdasarkan seluruh hasil pengujian yang dilakukan, komposisi serat 30% memberikan performa yang paling optimal.

Efisiensi material komposit serat sabut buah pinang sebagai material alternatif pembubutan pada penelitian ini dievaluasi berdasarkan aspek teknis yang meliputi sifat mekanik dan kemampuan pemesinan. Sifat mekanik diwakili oleh hasil pengujian kekuatan tarik dan energi impact, sedangkan kemampuan pemesinan dievaluasi melalui kualitas permukaan hasil pembubutan, morfologi geram, dan kondisi keausan pahat.

Berdasarkan hasil pengujian tarik, komposit dengan fraksi volume serat 30% menghasilkan kekuatan tarik tertinggi di antara seluruh variasi komposit, yaitu sebesar 20,286 MPa. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan komposit 10%, 20%, 40%, dan 50%, meskipun masih berada di bawah material tanpa serat yang memiliki kekuatan tarik sebesar 25,745 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan serat sabut buah pinang hingga fraksi volume tertentu mampu meningkatkan kemampuan material dalam menahan beban tarik.

Hasil pengujian impact menunjukkan kecenderungan yang sama. Komposit dengan fraksi volume serat 30% memiliki energi impact sebesar 111 Joule, yang merupakan nilai tertinggi di antara seluruh variasi komposit yang diuji. Nilai tersebut menunjukkan bahwa komposisi serat 30% memberikan keseimbangan yang baik antara kekuatan dan ketangguhan material.

Dari aspek pemesinan, hasil pengujian kekasaran permukaan menunjukkan bahwa seluruh variasi komposit masih dapat dibubut menggunakan mesin bubut konvensional dan pahat HSS. Namun demikian, peningkatan kandungan serat hingga 50% menyebabkan peningkatan nilai kekasaran permukaan yang cukup signifikan. Pada parameter pembubutan tertinggi, komposit 50% menghasilkan nilai R_a sebesar 13,953 μm , yang merupakan nilai tertinggi selama penelitian.

Apabila ditinjau secara keseluruhan, komposit dengan fraksi volume serat 30% menunjukkan performa yang paling seimbang antara sifat mekanik dan kemampuan pembubutan. Komposisi tersebut menghasilkan kekuatan tarik dan energi impact yang relatif tinggi, serta masih menghasilkan kualitas permukaan yang lebih baik dibandingkan komposit dengan kandungan serat 40% dan 50%.

Berdasarkan hasil dalam eksperimen ini, efisiensi teknis ditentukan berdasarkan keseimbangan antara sifat mekanik dan kemampuan pemesinan material. Komposisi yang memiliki kekuatan tarik dan energi impact relatif tinggi serta masih menghasilkan kualitas pembubutan yang baik dianggap sebagai komposisi yang paling efisien dapat dinyatakan bahwa komposit serat sabut buah pinang dengan fraksi volume serat 30% merupakan komposisi optimum yang paling efisien secara teknis untuk digunakan sebagai material alternatif pembubutan.

Simpulan

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa serat sabut buah pinang memiliki potensi yang sangat baik untuk dimanfaatkan sebagai material penguat komposit dalam aplikasi proses pembubutan konvensional. Variasi fraksi volume serat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik serta karakteristik pemesinan material tersebut. Peningkatan kandungan serat tidak selalu linier dengan kekuatan mekanik material karena adanya fluktuasi pada tiap komposisi. Komposit dengan fraksi volume serat sebesar 30% terbukti memberikan performa yang paling seimbang, stabil, dan optimum, dengan pencapaian kekuatan tarik tertinggi sebesar 20,286 MPa serta energi impact sebesar 111 Joule. Sebaliknya, penambahan serat yang berlebihan hingga 50% justru memicu cacat berupa kekosongan struktur (*void*) akibat kekurangan resin (*matrix starvation*), sehingga menurunkan integritas struktural material secara drastis. Ditinjau dari aspek pemesinan, meskipun struktur komposit yang heterogen menghasilkan nilai kekasaran permukaan (R_a) yang lebih tinggi dibandingkan dengan material kontrol teflon murni yang homogen, variasi fraksi serat 30% tetap menunjukkan kemampuan keterbubutan yang baik dengan kualitas permukaan yang jauh lebih halus dibandingkan fraksi 40% dan 50%. Oleh karena itu, komposisi serat 30% ditetapkan sebagai formulasi paling efisien secara teknis untuk dikembangkan sebagai material alternatif benda kerja pembubutan yang ramah lingkungan.

Daftar Pustaka

- [1] M. R. Putri, I. D. Faryuni, and N. Nurhasanah, "Pabrikasi Papan Komposit Berbahan Dasar Sabut Pinang (*Areca catechu* L.) dan Sabut Kelapa (*Cocos nucifera* L.)," *Prism. Fis.*, vol. 7, no. 3, p. 223, 2020, doi: 10.26418/pf.v7i3.36780.
- [2] D. Wibisono, "Analisis Overall Equipment Effectiveness (OEE) Dalam Meminimalisasi Six Big Losses Pada Mesin Bubut (Studi Kasus di Pabrik Parts PT XYZ)," *J. Optimasi Tek. Ind.*, vol. 3, no. 1, pp. 7–13, 2021, doi: 10.30998/joti.v3i1.6130.
- [3] P. ilham Raharja, I. B. Suardika, and W. H. Galuh, "Analisis Sistem Perawatan Mesin Bubut Menggunakan," *Ind. Inov.*, vol. 2019, no. September 2019, pp. 39–48, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.36040/industri.v12i1>
- [4] F. Paunda, K. Imad, A. Muhyi, O. Sumardi, and S. Rojikin, "Kekuatan Tarik Komposit Hybrid Bermatrik," *Nozzle J. Mech. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 12–18, 2022.
- [5] F. S. Patulak, M. B. Palungan, U. Kristen, and I. Paulus, "Pengembangan Roll Burnishing dengan Penambahan Bola Bearing pada Kualitas Permukaan Hasil Pembubutan Mild Steel ST37," vol. 7, no. 1, pp. 6–13, 2025.
- [6] Z. I. Makruf, W. Afnison, and B. Rahim, "A Study on the utilization of areca nut husk fiber as a natural fibre reinforcement in composite applications: A systematic literature review," *J. Eng. Res. Lect.*, vol. 3, no. 1, pp. 18–28, 2024, doi: 10.58712/jerel.v3i1.123.
- [7] M. Akbar, J. Jalaluddin, F. Faisal, S. Suryati, and M. Muhammad, "Pembuatan Briket dari Sabut Kelapa Kombinasi Sabut Pinang dengan Perekat Tepung Tapioka sebagai Bahan Bakar Alternatif," *Chem. Eng. J. Storage*, vol. 5, no. 04, pp. 423–434, 2025, doi: 10.29103/cejs.v5i04.19153.
- [8] J. S. Binoj, M. Jaafar, B. B. Mansingh, and R. Raghu, "Viscoelastic and heat-resistant behavior of surface-treated areca fruit husk fiber-reinforced polymer composites," *Iran. Polym. J.*, vol. 32, no. 7, pp. 841–853, 2023, doi: 10.1007/s13726-023-01169-6.
- [9] S. N. Sidabutar and B. Maryanti, "Eksperimen Kekuatan Material Komposit Serat Pinang Dan Pelepah Pisang Terhadap Uji Impact," *Al Jazari J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 23–27, 2024, doi: 10.31602/al-jazari.v9i1.14445.
- [10] M. B. Palungan and M. Muslimin, "Tension Strength and Fiber Morphology of Agave Cantala Roxb Leaves due to Liquid Smoke Immersion Treatment," *Adv. Mater. Sci. Eng.*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/4653384.
- [11] V. Alagumalai, V. Rajamanickam, H. G. Mohamed, I. A. Badruddin, M. N. Bashir, and R. A. Mensah, "Optimisation of areca nut husk-derived cellulose nanofibers for enhancing the mechanical properties of epoxy composites using response surface methodology," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–13, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-11415-x.
- [12] M. B. Renaldi and A. Mahyudin, "Pengaruh Penambahan Serat Pinang Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Papan Beton Ringan dengan Fly ash Sebagai Filler," *J. Fis. Unand*, vol. 12, no. 4, pp. 584–590, 2023, doi: 10.25077/jfu.12.4.584-590.2023.
- [13] Septio Novanto, Sehonon, and Ferry Setiawan, "Pengaruh Perendaman NaCl Dan NaOH Pada Pembuatan Komposit Serat Pinang Dengan Metode Vacuum Bagging," *J. Appl. Mech. Eng. Renew. Energy*, vol. 2, no. 2, pp. 47–51, 2022, doi: 10.52158/jamere.v2i2.359.
- [14] A. J. Sankarathil, R. Rosari, V. S. Joseph, S. Jannet, and A. A. Mathew, "Chopped Areca Nut Fibers as Filler in Epoxy Matrix: Mechanical and Tribological Studies," *Trends Sci.*, vol. 20, no. 12, 2023, doi: 10.48048/tis.2023.7155.
- [15] M. I. Achmad *et al.*, "Studi eksperimental variasi ketinggian pengasapan serat pinang dan serat sabut kelapa untuk meningkatkan sifat mekanik komposit hybrid," vol. 10, pp. 21–34, 2026.
- [16] R. Ruzuqi and V. D. Waas, "Analisis Kekuatan Tarik Dan Impak Material Komposit Polimer Dalam Aplikasi Fiberboat," *ALE Proceeding*, vol. 4, pp. 121–126, 2021, doi: 10.30598/ale.4.2021.121-126.
- [17] R. A. Nabawi, S. Syahril, and H. Abral, "Loading-dependent mechanical performance of alkali-treated areca nut husk fiber reinforced polyester composites modified with *Uncaria gambir* extract," *Teknomekanik*, vol. 8, no. 2, pp. 243–251, 2025, doi: 10.24036/teknomekanik.v8i2.52472.
- [18] H. Aulia and A. Mahyudin, "Pengaruh Persentase Fly Ash terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Papan Beton Ringan dengan Filler Serat Sabut Pinang," *J. Fis. Unand*, vol. 13, no. 4, pp. 452–458, 2024, doi: 10.25077/jfu.13.4.452-458.2024.
- [19] J. S. Binoj *et al.*, "Taguchi's Optimization of Areca Fruit Husk Fiber Mechanical Properties for Polymer Composite Applications," *Fibers Polym.*, vol. 23, no. 11, pp. 3207–3213, 2022, doi: 10.1007/s12221-022-0365-2.
- [20] K. S M, "The Mechanical Characterization of Recycled Milled Basalt Fiber Fillers on Flexural Properties of Natural Fiber Reinforced Polymer Composites for Sustainable Developments and High-Performance Industrial Applications," *Int. J. Sci. Res. Eng. Manag.*, vol. 09, no. 05, pp. 1–9, 2025, doi:

10.55041/ijssrem49119.

- [21] I. Y. Purba and A. Yulia, "RAET : Research in Agricultural Engineering and Technology Pengaruh biodegradable foam serat sabut buah pinang dan tapioka dengan penambahan polyvinyl alcohol (PVA)," vol. 1, no. 1, pp. 16–25, 2026.
- [22] Sumiyanto, H. Achyadi, and D. Hardianto, "Pengembangan Material Komposit Berbasis Polimer Menggunakan Serat Alami," *Tek. Mesin*, vol. 26, no. 2, p. 1, 2024.
- [23] S. Reports, "Scientific Reports Article in Press An investigation into the physico-chemical characteristics and performance of surface- treated areca fibers IN AR IN," 2025.
- [24] M. Sasi Kumar, M. MakeshKumar, A. Gopinath, B. Krishna Varun, and V. Sinchana Shri, "Mechanical, morphological, elemental and thermal analysis of bio-hybrid epoxy composites reinforced with Areca husk fiber and seed filler," *Polym. Bull.*, vol. 83, no. 5, p. 225, 2026, doi: 10.1007/s00289-026-06291-y.
- [25] S. Gao, J. Xu, F. Fu, Z. Huang, J. F. Demonceau, and J. Yang, "Mechanistic-data-driven modeling of multi-material composite columns: Toward intelligent lightweight design," *Eng. Struct.*, vol. 352, p. 122134, 2026, doi: 10.1016/j.engstruct.2026.122134.
- [26] P. B. Anand *et al.*, "Synthesis and Characterization of Mechanical Properties of Dammar Gum-Epoxy Bio-Composites with Areca Nut Husk and Banana Fiber as Reinforcements for Biomedical Applications," *J. Chem. Eng. Japan*, vol. 57, no. 1, p., 2024, doi: 10.1080/00219592.2024.2438111.
- [27] P. Agustiar, W. Pracoyo, and F. Azharul, "Analisa Sifat Mekanik Bahan Komposit Polimer Diperkuat Lembaran Serat Buah Pinang Akibat Beban Tarik Ade," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 2, no. 2, pp. 131–139, 2021.