

Analisis Kekuatan Tarik dan Mikrostruktur Komposit Berbasis Limbah Plastik HDPE dan PP dengan Filler Ampas Singkong

Wawan Trisnadi Putra^{1*}, Nanang Suffiadi Akhmad², Munaji³, Kuntang Winangun⁴,
Arie Mastiko Aji⁵, Chaesar Deserendy Dwiprasetya⁶

*Email corresponding author: wawantrisnadi@umpo.ac.id

^{1,2,3,4,5,6} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Ponorogo
Jl. Budi Utomo No. 10 Siman, Ponorogo 63471

Article history: Received: 14 Agustus 2024 | Revised: 25 April 2025 | Accepted: 26 April 2025

Abstract. *This study aims to evaluate the mechanical properties and microstructure of a composite based on HDPE and PP plastic waste with cassava pulp as a filler. The method involves hot press molding at 220°C and 25 bar, tensile testing following ASTM D638 standards, and microstructural analysis using a 40x optical microscope. Eight different compositions were tested to determine the optimal formulation. The specimen composed of 60% HDPE, 30% PP, and 10% cassava pulp exhibited the highest tensile strength among the mixed waste samples, reaching 16.026 MPa. Microstructural observations also revealed relatively homogeneous material distribution. In contrast, an excessive amount of cassava pulp resulted in the formation of internal voids and reduced tensile strength. The findings suggest that a balanced ratio of HDPE-PP with natural fillers offers potential as an environmentally friendly alternative composite material.*

Keywords - Composite; HDPE; PP; Cassava Pulp; Tensile Strength

Abstrak. *Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sifat mekanik dan mikrostruktur komposit berbasis limbah plastik HDPE dan PP dengan penambahan filler ampas singkong. Metode yang digunakan meliputi pencetakan menggunakan hot press dengan suhu 220°C dan tekanan 25 bar, serta pengujian tarik sesuai standar ASTM D638 dan analisis struktur mikro menggunakan mikroskop optik 40x. Delapan variasi komposisi diuji untuk menentukan kombinasi terbaik. Hasil menunjukkan bahwa spesimen dengan komposisi HDPE 60%, PP 30%, dan ampas singkong 10% menghasilkan tegangan tarik tertinggi di antara campuran berbasis limbah, sebesar 16,026 MPa. Struktur mikro pada komposisi tersebut juga menunjukkan distribusi bahan yang relatif homogen. Sebaliknya, peningkatan kadar ampas singkong secara berlebihan menyebabkan terbentuknya rongga udara dan menurunkan kekuatan tarik. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa komposit dengan rasio seimbang HDPE-PP dan filler alami memiliki potensi sebagai material alternatif yang ramah lingkungan.*

Kata Kunci - Komposit; HDPE; PP; Ampas Singkong; Kekuatan Tarik

PENDAHULUAN

Sampah merupakan produk residu dari aktivitas manusia dan proses industri yang umumnya tidak memiliki nilai ekonomis. Berdasarkan bentuk fisiknya, limbah ini dapat diklasifikasikan sebagai padat, cair, atau gas, dan berasal dari berbagai sektor seperti rumah tangga, industri pengolahan, kegiatan komersial, serta pertanian. Dalam manajemen limbah, klasifikasi sampah dilakukan berdasarkan sifat dan komposisinya, meliputi sampah organik (misalnya sisa makanan), sampah anorganik (seperti plastik dan kertas), serta limbah berbahaya (seperti baterai dan limbah medis). Keberadaan sampah merupakan hasil tak terhindarkan dari aktivitas manusia yang terus berlangsung, dan jumlahnya diperkirakan akan meningkat sejalan dengan pertumbuhan populasi. Dengan demikian, persoalan sampah menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari dinamika sosial, ekonomi, dan lingkungan dalam kehidupan masyarakat masa kini [1].

Plastik merupakan salah satu penyumbang utama terhadap pencemaran lingkungan karena sifatnya yang sulit terdegradasi secara alami dan dapat bertahan dalam jangka waktu yang sangat lama. Salah satu strategi yang dinilai paling efektif untuk menangani limbah plastik adalah melalui upaya daur ulang. Peningkatan signifikan dalam penggunaan plastik sekali pakai telah memperparah jumlah limbah, terutama yang berasal dari kantong plastik berbahan dasar polipropilena (PP) dan botol pelumas berbahan *high-density polyethylene* (HDPE). HDPE dikenal memiliki sifat mekanis yang sangat baik, seperti daya tahan terhadap beban, kekakuan struktural, serta ketahanan terhadap suhu tinggi, sehingga dikategorikan sebagai jenis plastik yang relatif aman. Karakteristik tersebut membuat HDPE mampu mengurangi risiko terjadinya perpindahan zat kimia dari kemasan ke produk makanan atau minuman yang dikemas [2].

Plastik secara umum diklasifikasikan ke dalam dua jenis utama, yaitu termoplastik dan termoset. Termoplastik merupakan jenis plastik yang akan melunak saat dipanaskan hingga suhu tertentu dan dapat dibentuk ulang sesuai kebutuhan. Sebaliknya, termoset adalah jenis plastik yang setelah mengalami proses pemanasan dan pencetakan akan menjadi keras secara permanen dan tidak dapat dilelehkan kembali meskipun dipanaskan ulang [3].

Polypropylene merupakan salah satu jenis polimer termoplastik yang memiliki sifat dapat didaur ulang, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai matriks dalam pembuatan komposit papan partikel [4]. Selain menawarkan harga yang ekonomis, *polypropylene* (PP) juga dikenal sebagai termoplastik dengan densitas paling rendah dan titik leleh tertinggi dibandingkan jenis termoplastik lainnya. Material ini bersifat fleksibel maupun kaku, dan dapat diproses menjadi berbagai bentuk kemasan pangan, seperti gelas, wadah makanan, tempat margarin, serta produk plastik lainnya yang umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari [5].

Singkong merupakan salah satu tanaman yang banyak dibudidayakan di Indonesia. Umumnya, pati dari singkong dimanfaatkan sebagai bahan baku tepung tapioka atau sebagai bahan tambahan dalam industri makanan. Sementara itu, limbah padat hasil ekstraksi pati, yang dikenal sebagai onggok, biasanya digunakan sebagai pakan ternak atau dibuang. Namun demikian, onggok memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan alternatif dalam pembuatan plastik *biodegradable*, yang berkontribusi dalam upaya pengurangan pencemaran lingkungan [6].

Komposit merupakan material hasil kombinasi dari dua atau lebih bahan berbeda yang digabungkan untuk memperoleh karakteristik yang lebih unggul dibandingkan masing-masing komponennya secara individu. Secara umum, struktur komposit terdiri dari matriks sebagai bahan pengikat, dan penguat berupa serat, di mana keduanya berkontribusi memberikan sifat mekanik dan fungsional yang saling melengkapi [7].

Penelitian terdahulu yang telah diteliti oleh [8], penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi temperatur terhadap proses pembuatan papan komposit berbahan dasar sekam padi dan limbah plastik HDPE. Proses manufaktur dilakukan menggunakan metode hot press dengan temperatur yang divariasikan pada 170°C, 185°C, 200°C, dan 210°C. Pengujian dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu uji sifat fisis dan uji sifat mekanik, dengan pengujian tarik mengacu pada standar ASTM D638-01. Hasil observasi makroskopis menunjukkan bahwa pada temperatur 210°C, papan komposit memperlihatkan jumlah rongga yang lebih sedikit dibandingkan pada temperatur yang lebih rendah. Namun demikian, peningkatan suhu menyebabkan penurunan pada nilai kekuatan tarik. Nilai kekuatan tarik tertinggi tercatat pada suhu 170°C sebesar 11,630 MPa, sedangkan nilai terendah terjadi pada temperatur 185°C sebesar 8,835 MPa.

Penelitian terdahulu yang telah diteliti oleh [9], penelitian ini bertujuan untuk mengkaji sifat mekanik, khususnya kekuatan tarik, kekuatan lentur (bending), serta struktur makroskopis dari material plastik PET, HDPE, dan campuran PET + HDPE. Berdasarkan hasil pengujian tarik, komposit HDPE dan PET dengan rasio 50:50 menunjukkan nilai tegangan dan regangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan PET murni. Pada pengujian tekan, material HDPE memperlihatkan performa terbaik, sedangkan campuran HDPE+PET menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan PET tunggal. Dalam uji lentur, PET menunjukkan hasil paling rendah dalam hal tegangan lentur dan beban maksimum. Selain itu, penambahan oli ke dalam campuran diketahui turut memengaruhi parameter mekanik seperti tegangan, regangan, tegangan lentur, dan beban maksimum yang dihasilkan [9].

Penelitian terdahulu yang telah diteliti oleh [10], Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi bahan baku alternatif terbaik sebagai substitusi plastik dalam aplikasi kelistrikan, dengan mengevaluasi campuran antara plastik jenis *Polypropylene* (PP) dan tepung sagu. Metode yang digunakan dalam studi ini mencakup tiga jenis pengujian mekanik, yaitu uji tarik, uji dampak, dan uji lentur (bending), guna menentukan komposisi material yang memberikan performa optimal. Empat variasi rasio campuran yang diteliti adalah 100%:0%, 95%:5%, 90%:10%, dan 85%:15%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan tepung sagu ke dalam matriks plastik PP berpengaruh signifikan terhadap peningkatan sifat mekanik, khususnya pada kekuatan tarik, daya tahan terhadap dampak, dan kekuatan lentur [10].

Penelitian terdahulu yang telah diteliti oleh [11], sejumlah penelitian telah dilakukan terkait penggunaan campuran plastik HDPE, PET, dan serat alami seperti serbuk kayu kelapa dalam pembuatan material komposit [9]. Salah satu studi mencampurkan HDPE, PET, dan serbuk kayu kelapa guna menghasilkan material komposit dengan karakteristik mekanik yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat mekanik, khususnya kekuatan tarik, serta mengamati struktur mikro dari material yang dihasilkan. Komposisi yang diuji terdiri dari tiga variasi, yaitu HDPE:PET:serbuk kayu kelapa sebesar 40%:40%:20%, 50%:35%:15%, dan 60%:30%:10%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposisi terbaik diperoleh pada campuran HDPE 60%, PET 30%, dan serbuk kayu kelapa 10%, yang menghasilkan gaya tarik maksimum sebesar 614,5 N dan tegangan sebesar 10,241 N/mm². Sebaliknya, kekuatan tarik terendah ditemukan pada campuran HDPE 40%, PET 40%, dan serbuk kayu kelapa 20%, dengan nilai gaya tarik 96,1 N dan tegangan 1,708 N/mm². Dari hasil pengamatan mikroskopis, diketahui bahwa ketiga material tercampur secara merata, namun masih ditemukan keberadaan rongga dalam spesimen, yang berdampak negatif terhadap kekuatan mekanik komposit [11].

METODE

Pada penelitian ini, HDPE dan PP berperan sebagai matriks utama yang membentuk dasar komposit, sementara serbuk ampas singkong digunakan sebagai filler alami yang diharapkan dapat meningkatkan sifat tertentu dari material. Campuran dibuat dengan metode pencampuran langsung dalam keadaan leleh, menggunakan alat *hot press*, sehingga diharapkan terjadi distribusi serbuk ampas singkong secara merata dalam matriks termoplastik. Namun, karena adanya perbedaan titik leleh dan sifat mekanik antara HDPE dan PP, pencampuran tidak sepenuhnya homogen, seperti yang dikonfirmasi melalui analisis struktur mikro.

Dalam penelitian ini menggunakan beberapa alat yaitu; mesin *hot press* digunakan untuk proses pencetakan komposit menjadi lembaran persegi panjang sesuai desain spesimen uji tarik standar ASTM D638 Tipe IV dengan ukuran panjang sampel 115 mm lebar 19 mm dan tebal 3,2 mm [12], kemudian menggunakan mesin uji tarik menggunakan TRIPOD tipe AEV untuk mengukur kekuatan tarik spesimen komposit, yang terakhir adalah penggunaan mikroskop optik alat ini digunakan untuk melakukan analisis struktur mikro dengan perbesaran 40x untuk melihat campuran antara plastik dengan *filler* ampas singkong. Serta untuk bahan penelitian yang digunakan yaitu cacahan plastik HDPE yang berasal dari botol oli, biji plastik PP murni digunakan untuk menjamin konsistensi dan kemurnian sifat mekanik dari bahan tersebut, yang terakhir adalah serbuk ampas singkong dengan ukuran 60 mesh digunakan sebagai bahan pengisi alami (*filler*).

Pada metode pembuatan spesimen menggunakan 3 komposisi bahan dan terdapat delapan variasi komposisi material dengan kombinasi proporsi HDPE, PP, dan ampas singkong yang berbeda, mulai dari 100% HDPE hingga 100% PP dengan campuran filler antara 5% hingga 15%. Dari ketiga bahan tersebut digunakan persentase campuran yang bisa dilihat pada **Tabel 1**. sebagai berikut:

Tabel 1. Komposisi Campuran Spesimen

Spesimen ke	Komposisi
1	Plastik HDPE murni 100%
2	HDPE 60%, PP 35%, ampas singkong 5%
3	HDPE 60%, PP 30%, ampas singkong 10%
4	HDPE 60%, PP 25%, ampas singkong 15%
5	Plastik PP murni 100%
6	PP 60%, HDPE 35%, ampas singkong 5%
7	PP 60%, HDPE 30%, ampas singkong 10%
8	PP 60%, HDPE 25%, ampas singkong 15%

Proses pembuatan spesimen diawali dengan menyiapkan material utama berupa plastik HDPE, plastik PP, dan ampas singkong. Plastik HDPE terlebih dahulu dipotong menjadi ukuran kecil menggunakan gunting atau cutter agar lebih mudah dicampur dan dilelehkan. Singkong dikupas dan diparut, kemudian hasil parutan dikeringkan secara alami di bawah sinar matahari hingga kadar airnya berkurang secara signifikan. Setelah seluruh bahan dalam kondisi siap, campuran plastik HDPE, biji plastik PP, dan ampas singkong ditakar berdasarkan komposisi yang telah ditentukan, kemudian dicampur secara merata. Campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan pada mesin hot press. Proses pencetakan dilakukan dengan pengaturan suhu sebesar 220°C [13] dan tekanan sebesar 25 bar selama 15 menit. Setelah proses selesai, cetakan dilepas dan didinginkan menggunakan blower untuk mempercepat proses pendinginan. Hasil komposit yang telah terbentuk kemudian dikeluarkan dari cetakan dan dibentuk menjadi spesimen uji. Pembentukan spesimen mengikuti standar dimensi ASTM D638 Tipe IV, yang dilakukan dengan bantuan mal, dipotong menggunakan gerinda tangan, dan dirapikan menggunakan gerinda duduk. Spesimen yang telah selesai diproses selanjutnya digunakan untuk pengujian sifat mekanik, yaitu uji tarik, serta analisis struktur makroskopik dan mikroskopik guna mengevaluasi kualitas material komposit yang dihasilkan. Data dan grafik tegangan dicatat setelah pengujian selesai. Pengujian tarik menghasilkan tegangan, berikut persamaannya:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

- σ = Tegangan (MPa)
- F = Beban yang bekerja dalam arah tegak lurus (N)
- A = Luas penampang awal sebelum dibebani (mm²)

Setelah dilakukan pengujian tarik, sampel yang telah patah dilakukan proses pengujian struktur makro menggunakan kamera *handphone*. Gambar makro diperoleh menggunakan kamera *smartphone* dengan resolusi tinggi. Fokus pada bagian patahan spesimen hasil uji tarik untuk mendeteksi adanya rongga udara atau ketidakraturan pada

permukaan material. Spesimen ditempatkan di bawah pencahayaan langsung untuk meningkatkan visibilitas struktur internal. Kemudian untuk gambar mikro dilakukan pengamatan dengan mikroskop optik untuk melihat distribusi dan keterikatan antar bahan pada level mikroskopis. Permukaan spesimen diampas bertahap menggunakan grit 120 hingga 1000 sebelum diamati dan dilakukan pengambilan gambar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

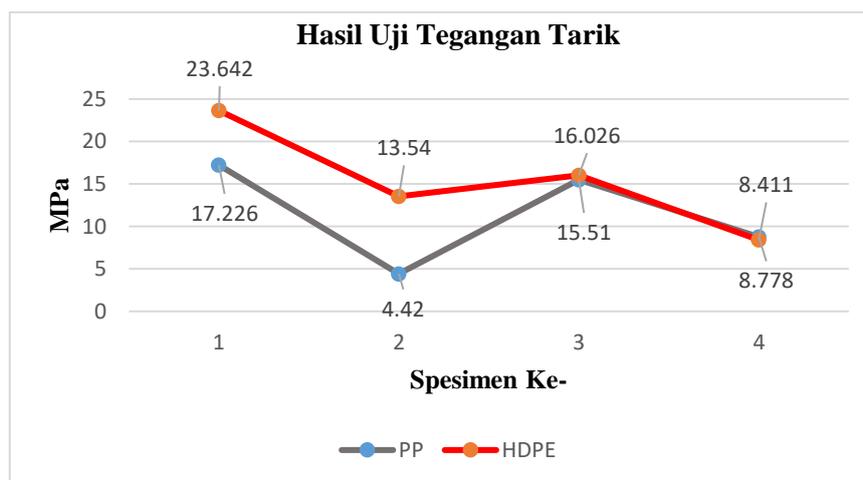
Hasil perhitungan pengujian tarik kemudian dimasukkan kedalam **Tabel 2** dibawah ini:

Tabel 2. Hasil Pengujian Tarik

Spesimen ke	Nilai Tegangan Tarik (MPa)
1	23,642
2	13,540
3	16,026
4	8,411
5	17,226
6	4,420
7	15,510
8	8,778

Hasil Uji Tegangan Tarik

Hasil pengujian yang menunjukkan bahwa variasi komposisi menghasilkan kekuatan yang berbeda pada setiap spesimen. Untuk data hasil uji tarik disajikan pada **Gambar 1** dibawah ini:



Gambar 1. Grafik Hasil Uji Tegangan Tarik

Berdasarkan **Gambar 1 Hasil Uji Tegangan Tarik** yang divisualisasikan dalam grafik, terlihat bahwa spesimen berbahan dasar HDPE 100% menunjukkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 23,642 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa HDPE murni memiliki sifat mekanik yang sangat baik, seperti kekuatan tarik dan fleksibilitas, yang menjadikannya cocok sebagai matriks utama dalam material komposit. Sebaliknya, PP murni memiliki kekuatan tarik sebesar 17,226 MPa, lebih rendah dari HDPE, namun masih tergolong tinggi jika dibandingkan dengan campuran yang mengandung filler organik [14].

Penurunan kekuatan tarik secara signifikan terjadi pada campuran dengan penambahan ampas singkong. Spesimen ke-2 (HDPE 60%, PP 35%, ampas singkong 5%) memperlihatkan penurunan tegangan tarik menjadi 13,54 MPa untuk HDPE dan hanya 4,42 MPa untuk PP. Penurunan ini disebabkan oleh kurangnya ikatan yang kuat antara partikel ampas singkong dengan matriks polimer, yang dapat menimbulkan rongga atau ketidakhomogenan dalam struktur material [15].

Menariknya, pada spesimen ke-3 (HDPE 60%, PP 30%, ampas singkong 10%), terjadi peningkatan kembali pada nilai tegangan tarik, yaitu 16,026 MPa untuk HDPE dan 15,51 MPa untuk PP. Peningkatan ini diduga disebabkan oleh rasio campuran yang lebih seimbang, yang memungkinkan distribusi *filler* lebih merata dan meningkatkan keterikatan antar partikel dalam matriks. Namun, ketika kadar ampas singkong dinaikkan menjadi 15% (spesimen ke-4), kekuatan

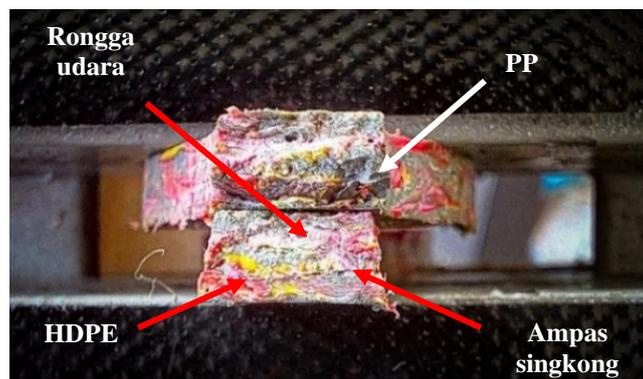
tarik kembali menurun secara signifikan. Nilai untuk HDPE menjadi 8,411 MPa dan PP menjadi 8,778 MPa, menunjukkan bahwa kelebihan kandungan *filler* organik mengganggu keseragaman struktur dan menyebabkan berkurangnya kekuatan mekanik [16].

Hasil ini memperkuat temuan sebelumnya bahwa penggunaan bahan alami seperti ampas singkong dalam komposit plastik harus dikendalikan secara proporsional. Jumlah yang berlebihan dapat menurunkan integritas mekanik karena sifat organik *filler* yang kurang kompatibel dengan polimer sintetik dan kecenderungannya membentuk rongga selama proses hot press [17].

Hasil Uji Struktur Makro

Gambar makro diperoleh menggunakan kamera *smartphone* dengan resolusi tinggi. Fokus pada bagian patahan spesimen hasil uji tarik untuk mendeteksi adanya rongga udara atau ketidakteraturan pada permukaan material. Spesimen ditempatkan di bawah pencahayaan langsung untuk meningkatkan penglihatan struktur internal.

Berikut hasil foto patahan dari sampel dengan nilai tertinggi yaitu pada (HDPE 60%, PP 30%, ampas singkong 10%) dan (PP 60%, HDPE 30%, ampas singkong 10) :

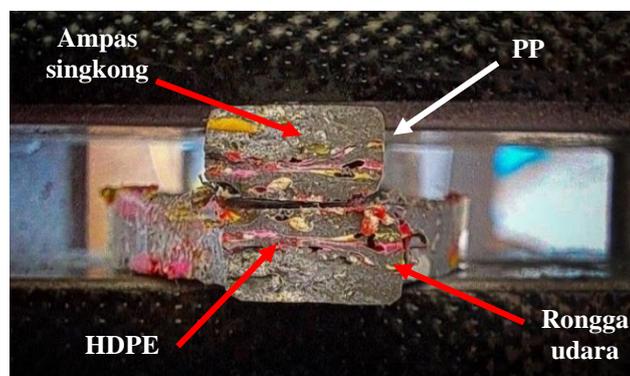


Gambar 2. Spesimen HDPE 60%, PP 30%, Ampas Singkong 10%

Berdasarkan **Gambar 2** di atas menunjukkan hasil pengamatan struktur makro spesimen komposit berbasis HDPE, PP, dan ampas singkong setelah melalui uji tarik. Terlihat dengan jelas bahwa pada bagian tengah spesimen terdapat rongga udara yang menandakan kurang optimalnya proses pematangan selama hot press [18].

Rongga tersebut menjadi titik lemah dalam struktur material karena dapat mengurangi kekuatan tarik secara signifikan. Selain itu, fase HDPE dan PP tampak belum tercampur secara homogen, yang disebabkan oleh perbedaan sifat termal dan mekanik antara keduanya, terutama pada titik leleh yang berbeda. Akibatnya, keduanya tidak mampu membentuk matriks komposit yang seragam. Ampas singkong dalam gambar terlihat lebih banyak berikatan dengan fase PP dibandingkan dengan HDPE, mengindikasikan bahwa PP memiliki afinitas yang lebih baik terhadap filler organik [19].

Namun demikian, ikatan antar komponen masih tergolong lemah, terlebih ketika kandungan ampas singkong terlalu tinggi, yang berpotensi menyebabkan pembentukan rongga dan memicu retakan. Area patahan yang tampak pada gambar ini menunjukkan bahwa kegagalan mekanik terjadi di sekitar zona dengan distribusi material yang tidak merata dan adanya porositas internal. Hal ini memperkuat temuan bahwa keberhasilan pembuatan komposit sangat bergantung pada tingkat homogenitas pencampuran dan efisiensi proses pemanasan [20].



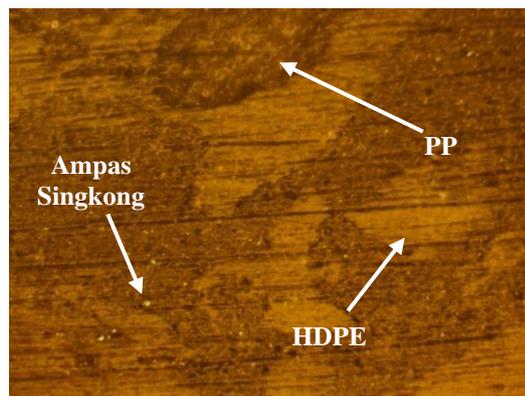
Gambar 3. Spesimen PP 60%, HDPE 30%, Ampas Singkong 10

Berdasarkan **Gambar 3** di atas menunjukkan struktur makro dari spesimen komposit yang terdiri dari HDPE, PP, dan ampas singkong setelah melalui proses uji tarik [21]. Terlihat adanya rongga udara di bagian dalam spesimen, yang mengindikasikan kurang optimalnya proses pematatan selama *hot press*. Rongga ini dapat menjadi titik lemah dalam struktur material karena dapat mengurangi kekuatan tarik secara signifikan. Selain itu, fase HDPE dan PP tampak belum tercampur secara homogen, yang disebabkan oleh perbedaan sifat termal dan mekanik antara keduanya, terutama pada titik leleh yang berbeda. Akibatnya, keduanya tidak mampu membentuk matriks komposit yang seragam [22].

Ampas singkong dalam gambar terlihat tersebar di dalam matriks, dan lebih banyak berasosiasi dengan fase PP. Hal ini sejalan dengan temuan dari [23], yang menjelaskan bahwa polipropilena memiliki afinitas yang lebih baik terhadap filler organik seperti ampas singkong, sehingga cenderung membentuk ikatan yang lebih baik dibandingkan HDPE. Namun demikian, distribusi filler yang tidak merata serta ukuran partikel yang bervariasi masih memicu terbentuknya void atau kekosongan dalam struktur komposit. Akumulasi rongga tersebut pada akhirnya menurunkan performa mekanik komposit, terutama dalam menahan beban tarik. Oleh karena itu, pengendalian terhadap rasio komposisi, metode pencampuran, dan waktu pemanasan sangat krusial untuk menghasilkan material komposit yang stabil dan kuat secara struktural [24].

Hasil Uji Struktur Mikro

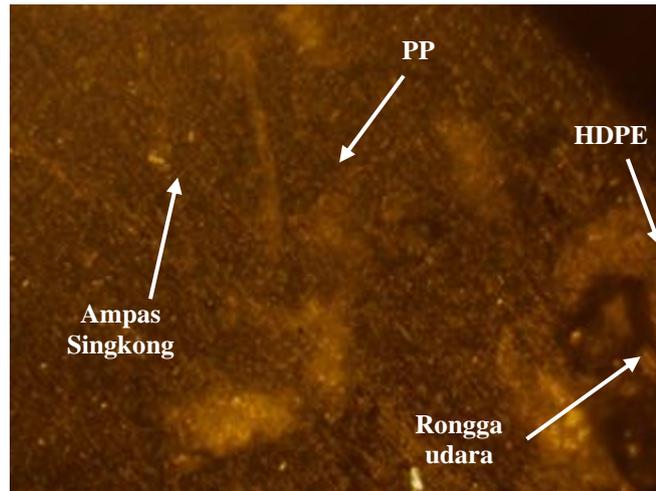
Pengujian mikrostruktur dilakukan untuk mengevaluasi kualitas keterikatan antar komponen dalam komposit yang terdiri dari HDPE, PP, dan ampas singkong. Metode yang digunakan melibatkan mikroskop optik dengan perbesaran 40x yang terhubung ke sistem komputer. Sebelum proses observasi dilakukan, permukaan spesimen terlebih dahulu dipersiapkan melalui tahapan pengamplasan bertingkat menggunakan amplas dengan grit berturut-turut: 120, 220, 400, 600, 800, dan 1000, guna memperoleh permukaan yang halus dan representatif untuk analisis. Pengamatan difokuskan pada dua komposisi campuran yang menunjukkan performa mekanik terbaik, yaitu spesimen dengan perbandingan HDPE 60%, PP 30%, dan ampas singkong 10%, serta PP 60%, HDPE 30%, dan ampas singkong 10%, untuk mempelajari distribusi dan interaksi antar material pada tingkat mikroskopis.



Gambar 4. Spesimen HDPE 60%, PP 30%, ampas singkong 10%

Dari **Gambar 4** di atas memperlihatkan hasil pengamatan struktur mikro dari spesimen komposit dengan komposisi HDPE 60%, PP 30%, dan ampas singkong 10% menggunakan mikroskop optik pada pembesaran 40x. Teridentifikasi secara visual bahwa ketiga komponen utama HDPE, PP, dan ampas singkong tersebar cukup merata, meskipun masih terdapat batas fasa yang jelas antara masing-masing material. Fasa HDPE terlihat menyatu dengan baik, sementara fasa PP menunjukkan distribusi yang menyebar namun belum sepenuhnya homogen. Ampas singkong, sebagai bahan alami berbasis lignoselulosa, tampak terdispersi dalam bentuk partikel kecil yang relatif menyatu dengan matriks, namun beberapa area menunjukkan adanya potensi aglomerasi.

Distribusi material seperti ini mencerminkan bahwa proses pencampuran sudah mendekati homogen, terutama karena ampas singkong masih dalam kadar moderat (10%) dan tidak mendominasi fasa matriks. Penelitian oleh [25], menunjukkan bahwa penggunaan serat atau partikel biomassa dalam jumlah terbatas mampu meningkatkan sifat mekanik komposit tanpa mengganggu kompatibilitas antar fasa, terutama ketika ukuran partikel diatur secara seragam dan proses pencampuran dikontrol dengan baik. Namun, untuk mencapai pencampuran yang lebih ideal, perlu dilakukan modifikasi permukaan pada *filler* atau penambahan *compatibilizer*, seperti *maleic anhydride grafted polymers*, untuk meningkatkan interaksi antar material secara keseluruhan, struktur mikro pada spesimen ini menunjukkan potensi yang baik dalam menghasilkan komposit berkinerja tinggi dengan pendekatan material daur ulang dan biomassa [26].



Gambar 5. Spesimen PP 60%, HDPE 30%, ampas singkong 10

Pada **Gambar 5** menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro spesimen komposit dengan komposisi PP 60%, HDPE 30%, dan ampas singkong 10%, menggunakan mikroskop optik. Terlihat bahwa distribusi ketiga komponen masih belum merata secara sempurna. Fasa PP tampak lebih dominan dalam struktur matriks, sedangkan fasa HDPE hanya tersebar di beberapa bagian dan tidak membentuk ikatan yang homogen. Partikel ampas singkong terdistribusi dalam jumlah sedang, namun terlihat adanya kecenderungan aglomerasi di beberapa titik. Hal yang paling mencolok adalah kehadiran rongga udara yang terdeteksi pada area pengamatan, menunjukkan adanya ketidaksempurnaan dalam proses pencampuran atau pemadatan, yang dapat berkontribusi negatif terhadap kekuatan tarik material secara keseluruhan [27].

Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan proporsi PP dan kehadiran bahan alami seperti ampas singkong dapat memperbesar risiko terbentuknya rongga, terutama jika tidak disertai dengan proses pencampuran yang optimal. Penelitian oleh [28], menemukan bahwa distribusi filler biomassa dalam polimer termoplastik sangat dipengaruhi oleh polaritas matriks dan kompatibilitas antar fasa. Dalam hal ini, meskipun PP memiliki afinitas lebih baik terhadap ampas singkong dibanding HDPE, namun perbedaan sifat reologi dan titik leleh antara kedua polimer dapat menghambat pencampuran sempurna. Ditambah lagi, kehadiran rongga berperan sebagai cacat internal yang mempercepat kegagalan struktur saat menerima beban [29]. Oleh karena itu, pengendalian proses pemanasan dan penerapan agen kompatibilitas menjadi penting untuk meminimalkan defek dan meningkatkan kekompakan komposit [30].

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah plastik HDPE dan PP dengan tambahan filler ampas singkong menghasilkan komposit dengan sifat mekanik dan struktur mikro yang bervariasi tergantung komposisinya. Komposisi HDPE 60%, PP 30%, dan ampas singkong 10% terbukti memberikan performa terbaik dalam hal kekuatan tarik dan distribusi material yang lebih merata. Sementara itu, peningkatan proporsi PP dan *filler* cenderung menurunkan kekuatan akibat pembentukan rongga dan pencampuran yang kurang homogen. Temuan ini menegaskan pentingnya pemilihan rasio bahan yang tepat untuk menghasilkan komposit yang kuat dan stabil. Ke depan, penggunaan *compatibilizer* atau perlakuan permukaan filler disarankan untuk meningkatkan kinerja material secara keseluruhan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Ponorogo yang telah membimbing serta memberikan izin pada penelitian ini.

REFERENSI

- [1] H. P. Putra and Y. Yuriandala, "Studi Pemanfaatan Sampah Plastik Menjadi Produk dan Jasa Kreatif," *J. Sains & Teknologi Lingkungan*, vol. 2, no. 1, pp. 21–31, 2010, doi: 10.20885/jstl.vol2.iss1.art3.
- [2] Abdurahim Sidiq and V. P. E. Prabowo, "PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK HDPE DAN PET DIJADIKAN SEBAGAI PAVING BLOCK DENGAN MENGGUNAKAN MESIN PELEBUR PLASTIK,"

- Progr. Stud. Tek. Mesin Fak. Tek. Univ. Islam Kalimantan MAB*, 2022.
- [3] Astrit Kirana, "Analisis Variasi Komposisi Limbah Plastik Polyethylene Terephthalate, Limbah Polypropylene, dan Serbuk Kayu Gergaji Terhadap Sifat Mekanik Dan Sifat Fisis Sebagai Wood Plastic Composite," *Thesis, Progr. MAGISTER Bid. KEAHLIAN Mater. Inov. Dep. Tek. Mater. Fak. Teknol. Ind. Inst. Teknol. SEPULUH Nop. SURABAYA*, 2018, [Online]. Available: [https://repository.its.ac.id/57640/1/02511650010009_MASTER THESIS.pdf](https://repository.its.ac.id/57640/1/02511650010009_MASTER%20THESIS.pdf)
- [4] A. Dedi Kurniawan, "Pemanfaatan Limbah Serat (Fiber) Buah Kelapa Sawit Dan Plastik Daur Ulang (Polypropylene) Sebagai Material Komposit Papan Partikel (Particle Board)," *J. Renew. Energy Mech.*, vol. 3, no. 02, pp. 60–70, 2020, doi: 10.25299/rem.2020.vol3.no02.4884.
- [5] A. J. Rudend and J. Hermana, "Kajian Pembakaran Sampah Plastik Jenis Polipropilena (PP) Menggunakan Insinerator," *J. Tek. ITS*, vol. 9, no. 2, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v9i2.55410.
- [6] N. Asni, D. Saleh, and N. Rahmawati, "Plastik Biodegradable Berbahan Ampas Singkong dan Polivinil Asetat," *Pros. Semin. Nas. Fis.*, vol. 4, pp. 57–62, 2015.
- [7] D. Handoko, I. Iyus, and A. Manurung, "Analisa Sifat Mekanik Komposit Limbah Limbah Plastik PP (Polypropylene) dan Limbah Serbuk Kayu Durian," *J. Syntax Admiration*, vol. 3, no. 12, pp. 1515–1521, 2022, doi: 10.46799/jsa.v3i12.495.
- [8] A. F. Johari and D. T. Santoso, "Pengaruh Temperatur terhadap Pembuatan Papan Komposit Sekam Padi Berbasis Limbah HDPE menggunakan Metode Hot Press," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 16, no. 1, pp. 17–24, 2021, doi: 10.32497/jrm.v16i1.2036.
- [9] H. Ramagisandy and R. Siswanto, "Analisa Hasil Uji Kekuatan Tarik, Tekan & Struktur Makro Sampah Plastik Jenis Pet, Hdpe, Dan Campuran (Pet+Hdpe)," *Jtam Rotary*, vol. 3, no. 2, pp. 245–258, 2021, doi: 10.20527/jtam_rotary.v3i2.4366.
- [10] F. A. Akbar, "Pengaruh variasi komposit plastik polipropilena dengan teung sagu terhadap sifat ekanik dalam pembuatan service wedge clamp," 2020.
- [11] W. T. Putra, Y. Winardi, and F. Kurniawan, "Pengaruh kekuatan tarik dan struktur mikro dari bahan campuran plastic waste jenis HDPE, PET dan serbuk kayu kelapa," *J. Tek. Juara Aktif Glob. Optimis*, vol. 2, no. 1, pp. 17–25, 2022, [Online]. Available: <https://www.sttibontang.ac.id/jurnal/index.php/jago/article/view/54>
- [12] B. Statements and T. Size, "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics," vol. 14, no. 200, pp. 1–6, 1995.
- [13] M. Iman Mujiarto, ST., "SIFAT DAN KARAKTERISTIK MATERIAL PLASTIK DAN BAHAN ADITIF Iman Mujiarto," *Repository.Uin-Suska.Ac.Id*, 2023, [Online]. Available: [http://repository.uin-suska.ac.id/26740/1/Haki Buku Genealogi Intelektual Melayu Tradisi Pemikiran Islam Abad ke 19 di Kerajaan Riau Lingga.pdf](http://repository.uin-suska.ac.id/26740/1/Haki%20Buku%20Genealogi%20Intelektual%20Melayu%20Tradisi%20Pemikiran%20Islam%20Abad%20ke%2019%20di%20Kerajaan%20Riau%20Lingga.pdf)
- [14] J. Many, M. T. Bwankwot, E. D. Kambai, and J. Shaibu, "The effects of cassava peel content on mechanical properties of low-density polyethylene (LDPE) composites," *Sci. World J.*, vol. 19, no. 2, pp. 375–384, 2024, doi: 10.4314/swj.v19i2.13.
- [15] S. M. L. R. Samarakoon, M. D. Y. Milani, L. D. C. Nayanajith, R. C. W. Arachchige, and C. P. Abeyratne, "Preparation and characterization of Cassava starch/Polybutylene (adipate-co-terephthalate) biodegradable composite film," *Sri Lankan J. Phys.*, vol. 24, no. 1, pp. 34–48, 2023, doi: 10.4038/sljp.v24i1.8124.
- [16] L. Fernanda Sierra Montes, M. Andrea Melaj, M. Cecilia Lorenzo, L. Ribba, and M. Alejandra Garcia, "Biodegradable Composite Materials based on Cassava Starch and Reinforced with Topinambur (*Helianthus tuberosus*) Aerial Part Fiber," *Sustain. Polym. Energy*, vol. 1, no. 1, pp. 10004–10004, 2023, doi: 10.35534/spe.2024.10004.
- [17] S. B. Hosseini, M. Gaff, H. Li, and D. Hui, "Effect of fiber treatment on physical and mechanical properties of natural fiber-reinforced composites: A review," *Rev. Adv. Mater. Sci.*, vol. 62, no. 1, 2023, doi: 10.1515/rams-2023-0131.
- [18] P. Rachtanapun *et al.*, "Effect of Plasma Treatment on Bamboo Fiber-Reinforced Epoxy Composites," *Polymers (Basel)*, vol. 16, no. 7, 2024, doi: 10.3390/polym16070938.
- [19] C. Cazan, M. Cosnita, and A. Duta, "Effect of PET functionalization in composites of rubber–PET–HDPE type," *Arab. J. Chem.*, vol. 10, no. 3, pp. 300–312, 2017, doi: 10.1016/j.arabjc.2015.10.005.
- [20] D. Behera, S. S. Pattnaik, D. Nanda, P. P. Mishra, S. Manna, and A. K. Behera, "A review on bamboo fiber reinforced composites and their potential applications," *Emergent Mater.*, no. August, 2024, doi: 10.1007/s42247-024-00832-9.
- [21] H. T. N. Kuan, M. Y. Tan, Y. Shen, and M. Y. Yahya, "Mechanical properties of particulate organic natural filler-reinforced polymer composite: A review," *Compos. Adv. Mater.*, vol. 30, p. 263498332110075, 2021, doi: 10.1177/26349833211007502.
- [22] C. Onuoha, O. O. Onyemaobi, C. N. Anyakwo, and G. C. Onuegbu, "Effect Of Filler Loading And Particle Size On The Mechanical Properties Of Periwinkle Shell-Filled Recycled Polypropylene Composites," *Am. J.*

- Eng. Res.*, vol. 6, no. 4, pp. 72–79, 2017, [Online]. Available: www.ajer.org
- [23] S. Kuciel, K. Rusin-Żurek, and M. Kurańska, “The Influence of Filler Particle Size on the Strength Properties and Mechanical Energy Dissipation Capacity of Biopoly(Ethylene Terephthalate) BioPET/Eggshell Biocomposites,” *Recycling*, vol. 9, no. 5, 2024, doi: 10.3390/recycling9050088.
- [24] Rohmat, I. Widiastuti, and D. S. Wijayanto, “Characteristics of recycled HDPE/bamboo fibre composite,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1808, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1808/1/012010.
- [25] K. Jarukumjorn, N. Suppakarn, and J. Kluengsamrong, “Mechanical and morphological properties of sisal/glass fiber-polypropylene composites,” *Adv. Mater. Res.*, vol. 47-50 PART 1, no. September, pp. 486–489, 2008, doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.47-50.486.
- [26] A. Albedah, H. S. Abdo, S. M. A. K. Mohammed, B. A. B. Bouiadjra, E. H. Al-Ghurabi, and O. Y. Alothman, “Potential of recycled polypropylene: A study on effect of natural fiber on the morphology and properties of biocomposite,” *J. King Saud Univ. - Sci.*, vol. 36, no. 5, p. 103167, 2024, doi: 10.1016/j.jksus.2024.103167.
- [27] S. J. Kim, J. B. Moon, G. H. Kim, and C. S. Ha, “Mechanical properties of polypropylene/natural fiber composites: Comparison of wood fiber and cotton fiber,” *Polym. Test.*, vol. 27, no. 7, pp. 801–806, 2008, doi: 10.1016/j.polymertesting.2008.06.002.
- [28] I. D. Ibrahim, “Improvement of mechanical and wear behaviour of fiber-reinforced polypropylene composites for the rail industry,” *Hybrid Adv.*, vol. 10, no. December 2024, p. 100457, 2025, doi: 10.1016/j.hybadv.2025.100457.
- [29] M. Mohammed *et al.*, “Interfacial Bonding Mechanisms of Natural Fibre-Matrix Composites: An Overview,” *BioResources*, vol. 17, no. 4, pp. 7031–7090, 2022, doi: 10.15376/BIORES.17.4.MOHAMMED.
- [30] Y. J. Song *et al.*, “Facile Enhancement of Mechanical Interfacial Strength of Recycled Carbon Fiber Web-Reinforced Polypropylene Composites via a Single-Step Silane Modification Process,” *Polymers (Basel)*, vol. 17, no. 4, pp. 1–13, 2025, doi: 10.3390/polym17040483.

Halaman ini sengaja dikosongkan
(This page is intentionally left blank)