

Karakteristik Uji Tarik dan Struktur Makro *Plastic Waste* dan Serat Bambu

Wawan Trisnadi Putra^{1,*}, Fadelan¹, Munaji¹, Kuntang Winangun¹, Chaesar Deserendy Dwiprasetya¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Ponorogo
Jl. Budi Utomo, No.10, Kel. Ronowijayan, Kec. Ponorogo, Kab. Ponorogo, Jawa Timur, 63471
Email korespondensi: wawantrisnadi@umpo.ac.id

Abstrak

Plastik banyak digunakan dalam pembungkus makanan, minuman, dan perabotan rumah tangga. Penelitian ini menggunakan bahan berupa cacahan plastik HDPE, biji plastik PET, dan serat bambu ori. Komposisi campuran yang digunakan berdasarkan fraksi berat spesimen seberat 65 gram bahan campuran. Matriks utama campuran adalah HDPE; PET ditambahkan untuk meningkatkan kekakuan; dan serat bambu sebagai penguat alami yang memperkuat ikatan antar komponen. Hasil uji tarik menunjukkan nilai rata-rata tertinggi pada komposisi spesimen 1, yaitu 533,37 N dengan tegangan tarik 27,77 MPa. Pada komposisi spesimen 5, diperoleh nilai rata-rata uji tarik 409,33 N dan tegangan tarik 21,31 MPa. Karena sifat HDPE yang lebih kuat untuk mengikat serat bambu, kekuatan tarik serat bambu akan meningkat seiring dengan penurunan kadar PET. Hasil uji makro menunjukkan banyak gelembung udara terjebak di tengah sampel uji tarik yang tidak terlihat dari permukaan. Plastik PET tidak terlalu tercampur pada sampel, sementara serat bambu tercampur rata pada sampel uji.

Kata kunci: limbah plastik hdpe, plastik pet, serat bambu, uji tarik

Abstract

Plastics are widely used in wrapping food, drinks, and household furniture. This research uses materials in the form of shredded HDPE plastic, PET plastic seeds, and ori bamboo fiber. The composition of the mixture used is based on the weight fraction of a 65 gram specimen of mixed material. The main matrix of the mixture was HDPE; PET was added to increase stiffness; and bamboo fiber, as a natural reinforcement that strengthens the bond between components. Which strengthens the bond between the components. Results tensile test results showed the highest average value in specimen composition 1, which is 533.37 N with a tensile stress of 27.77 MPa. In specimen composition 5, the average value of the tensile test was 409.33 N and a tensile stress of 21.31 MPa. Due to the stronger nature of HDPE to bind the bamboo fibers, the tensile strength of the bamboo fibers will increase as the PET content decreases. With decreasing PET content. Macro test results showed that many air bubbles were trapped in the center of the tensile test sample which were not visible from the surface. not visible from the surface. PET plastic is not well mixed in the sample, while the bamboo fibers were well mixed in the test sample.

Keywords: hdpe plastic waste, pet plastic, bamboo fiber, tensile test

1. Pendahuluan

Plastik banyak digunakan dalam pembungkus makanan, minuman, dan perabotan rumah tangga. Ini dilakukan karena bahan tersebut kuat, tahan lama, dan mudah dibeli. Jadi, kita harus tahu jenis sampah apa yang mudah terurai dan apa yang tidak mudah terurai. Beberapa jenis sampah anorganik atau tidak mudah terurai, seperti plastik, kaca, besi, dan lainnya, tidak dapat terurai dalam waktu yang singkat, dan ini dapat menyebabkan masalah di lingkungan. Selain itu, kita sering melihat sampah menumpuk di pinggir jalan, tepian sungai, atau tempat lain yang tidak seharusnya menjadi tempat sampah [1].

Keberlangsungan penelitian dari awal selalu mengalami peningkatan yang terus dilakukan, sehingga mendapatkan keterbaruan dari penelitian

sebelumnya, pada komposisi bahan yang digunakan berupa variabel tetap yaitu plastik jenis HDPE sebesar 60%, dan variabel bebas yaitu plastik PET, dan serat bambu yang dimulai dari 10%, 20%, dan 30%.

Keterbaruan selanjutnya yang membedakan dari penelitian sebelumnya adalah adanya spesimen murni tanpa campuran serat dengan komposisi HDPE 100%, PET 100% sebanyak 6 sampel, tujuan dibuat dengan komposisi 100% plastik tanpa campuran serat, yaitu untuk membandingkan kekuatan antara plastik murni dengan plastik berpenguat serat bambu yang ada didalamnya.

Selanjutnya keterbaruan pada alat dan suhu pelelehan material yang penulis gunakan, yaitu dengan suhu pelelehan 220°C. Pada penelitian terdahulu dalam proses pembuatan sampel uji tarik digunakan alat

injection molding, disini penulis menggunakan alat baru berupa *hot press* yang bisa diatur dalam pengepresan bahan hingga tekanan maksimum 20 Ton. Kemudian pada penelitian kali ini penulis menggunakan beban pengepresan yang digunakan pada alat *hot press* yaitu sebesar 25 bar, dari penelitian terdahulu yang awalnya menggunakan *injection molding* yang tidak bisa diatur penekanannya untuk meminimalisir terjadinya gelembung pada spesimen/sampel yang dibuat.

Kemudian pada sampel uji tarik yang ada pada penelitian sebelumnya menggunakan standar bertipe ASTM D 638-2, pada penelitian kali ini, penulis menggunakan standar ASTM D 638-4 dikarenakan keterbatasan alat yang ada pada laboratorium.

Penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh [2], untuk menguji karakteristik mekanik komposit berbahan matriks HDPE (murni dan daur ulang) dengan serat bambu. Prosesnya meliputi pemanasan hingga 160–175°C, pengolahan serat bambu dengan perendaman NaOH 5%, pengeringan, dan pengujian kekuatan mekanis menggunakan alat uji RAY-RAN sesuai standar ASTM D 638. Hasilnya, komposit rHDPE-serat bambu memiliki kekuatan tarik 8,764 MPa dan modulus Young 52,0152 MPa, sementara komposit vHDPE-serat bambu menunjukkan kekuatan tarik 9,3312 MPa dan modulus Young 94,8468 MPa. Komposit dengan matriks HDPE murni memiliki sifat mekanik yang lebih unggul dibanding matriks HDPE daur ulang, dengan variasi geometri matriks memengaruhi hasilnya.

Penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh [3], untuk menyelidiki pengaruh pola anyaman (plain, twill, random) pada uji tarik dan bending komposit serat bambu apus dengan matriks resin polyester. Serat bambu diproses menggunakan larutan NaOH 5% untuk membersihkan permukaannya, dan komposit dicetak dengan pelapis Glaze Mirror. Pengujian tarik dilakukan menggunakan mesin Simadzu AGS-X dengan kecepatan tarik 10 mm/menit. Hasil menunjukkan pola anyaman berpengaruh signifikan terhadap kekuatan mekanik, di mana anyaman plain memiliki kekuatan tarik tertinggi (20,234 N/mm²), sementara anyaman random terendah (3,450 N/mm²).

Penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh [4], untuk meneliti pengaruh suhu terhadap kekuatan tarik komposit HDPE berserat bambu. Komposisi bahan terdiri dari 241 gram HDPE dan 9 gram anyaman bambu, diuji dengan standar ASTM D 3039 pada suhu 200°C hingga 300°C. Hasil menunjukkan bahwa penambahan serat bambu meningkatkan modulus elastisitas, tegangan, dan regangan spesimen. Kekuatan tarik menurun seiring kenaikan suhu, sementara suhu rendah menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi.

Penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh [5], untuk mengkaji sifat mekanik plastik daur ulang

HDPE dengan penguat serat bambu melalui uji tarik berdasarkan standar ASTM D 3039. Sampel dicetak menggunakan mesin Hot Press pada suhu 290°C, 300°C, dan 310°C, dengan masing-masing cetakan berukuran 20 x 20 cm dan berat plastik 24,1 gram serta serat bambu 9 gram. Hasil menunjukkan kekuatan tarik tertinggi 9,7 MPa pada 290°C, menurun menjadi 8,9 MPa pada 300°C, dan terendah 4,8 MPa pada 310°C. Interaksi yang kurang baik antara HDPE dan serat bambu menyebabkan pelepasan ikatan pada struktur makro.

Penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh [6], bertujuan untuk menghasilkan komposit berbasis kaca dan serat bambu sebagai penguat untuk menggantikan plastik pada aplikasi otomotif. Komposit dibuat dengan metode lay-up menggunakan matriks polimer Yukalac 157-EX BQTN dan fraksi volume serat 0%, 2%, 2,5%, dan 3%. Pengujian tarik dilakukan sesuai standar ASTM D 638M-84 M-1. Hasil menunjukkan bahwa penambahan serat bambu haur dan fiberglass 3% menghasilkan kekuatan tarik terbaik sebesar 53,581 MPa dan modulus elastisitas 87,452 MPa. Komposit ini layak sebagai alternatif material otomotif, seperti pengganti plastik polioksimetilen untuk bumper depan mobil.

Dua negara yang berkontribusi paling besar terhadap sampah plastik global adalah China dan Indonesia. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan melaporkan bahwa Indonesia menghasilkan 175.000 ton sampah setiap hari, atau 64 juta ton per tahun [7].

Plastik adalah polimer unik yang terdiri dari monomer, yang disebut sebagai homopolimer, dan kopolimer, yang terbentuk ketika monomernya berbeda [8]. Plastik terdiri dari dua jenis yaitu : Termoplastik dan Termosetting. Termoplastik dapat meleleh ketika dididihkan pada suhu tertentu. Sedangkan Termosetting, adalah plastik yang tidak meleleh lagi ketika dipanaskan [9].

Bahan plastik juga sering dibuat menjadi barang sekali pakai, maka dari itu sangat banyak ditemukan pemakaian material dari bahan plastik yang sering dipakai dalam pembuatan botol air minum (PET), serta botol-botol oli bekas kendaraan, dan botol shampoo (HDPE) [10].

HDPE, atau polietilena densitas tinggi, adalah bahan yang aman untuk digunakan karena dapat menghentikan kemasan makanan dan minuman yang terbuat dari HDPE bereaksi secara kimiawi dengannya. Pada Tabel 1. menunjukkan sifat mekanik dari plastik jenis HDPE. Kualitas material HDPE tahan terhadap suhu tinggi dan memiliki kekuatan, kekerasan, dan keburaman yang lebih baik. Meskipun plastik PET (polietilena tereftalat) sering digunakan sebagai bahan dasar untuk kemasan botol, disarankan agar botol PET/PETE hanya digunakan sekali saja [11].

Tabel 1. Sifat Mekanik Plastik HDPE

Sifat Mekanik	Nilai
Kekuatan Tarik (MPa)	33,10
Titik Leleh (°C)	130

Sumber : [12].

Plastik PET, yang merupakan jenis plastik termosetting yang tahan panas, tidak dapat meleleh. Jika polimer ini rusak atau pecah, itu tidak dapat disambungkan atau diperbaiki lagi. Pada **Tabel 2**, menunjukkan sifat mekanik dari plastik jenis PET. Plastik PET termasuk kedalam Polimer termosetting memiliki ikatan silang yang mudah dibentuk saat dipanaskan, yang membuatnya keras dan kaku. Semakin banyak ikatan silang yang ada pada polimer, semakin kaku dan mudah patah. Saat polimer dipanaskan lagi, ikatan silang antar rantai polimer akan rusak atau lepas [13].

Tabel 2. Sifat Mekanik Plastik PET

Sifat Mekanik dan Fisika	Nilai/Satuan
Kekuatan Tarik	48-72 (MPa)
Modulus Elastisitas	2760-4140 (MPa)
Regangan/Perpanjangan	50-300%

Sumber : [13].

Komposit, merupakan material baru yang dapat digunakan untuk banyak hal. Ini termasuk dinding kedap suara, bilah turbin angin, dan bagian dalam mobil dan motor. Material pembentuk terdiri dari matriks dan bahan penguat. Resin polyester adalah matriks yang paling umum, tetapi karena sifatnya yang getas, perlu ditambahkan serat untuk meningkatkan kekuatan. Komposit telah banyak dikembangkan terutama melalui penelitian, dengan tujuan menghasilkan material yang ringan, berkualitas tinggi, murah, dan mudah diperoleh [14].

Bambu adalah tanaman dari keluarga Gramineae yang dapat beregenerasi secara alami, dengan tunas baru tumbuh beberapa bulan setelah panen. Tidak seperti pohon yang hanya dipanen setahun sekali, bambu dapat dipanen setiap tahun dan mencapai usia dewasa dalam 4-5 tahun. Di Indonesia, bambu duri (*Bambusa Blumeana*) adalah jenis yang umum, tumbuh subur di iklim tropis dan tepian sungai. Buluh hijau bambu ini digunakan untuk kerajinan, bangunan, dan peralatan memasak, sementara cabang berduri tumbuh menyatu dari bagian tengah buluh, dengan daun berhias titik bersilia. Rumpun bambu terdiri dari 20-70 batang dengan ukuran 1x2 m² hingga 6x8 m². Panjang batang bambu mencapai 18-21,5 meter dengan 56-63 ruas, di mana panjang ruas bervariasi: pangkal 16,5-24,5 cm, tengah 30-47 cm, dan ujung 40-49 cm. Diameter batang berkisar 7,0-8,9 cm (pangkal), 8,6-9,8 cm (tengah), dan 6,6-7,6 cm (ujung). Komposisi kimia bambu duri meliputi selulosa (47,81%), holoselulosa (63,32%), lignin (24,43%), pentosan (17,35%), pati (18,34%), kadar air (8,47%), abu (2,20%), dan silika (0,727%), dengan larutan alkohol benzena (9,68%),

air (11,39%), air panas (13,96%), dan NaOH 1% (29,62%) [15] [16] [17].

Serat bambu memiliki sifat mekanik yang ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Sifat Mekanik Serat Bambu

Nama Serat	Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)	Massa (gr/cm ³)
Serat Bambu	140-800	33	0,6-0,8

Sumber : [18].

Sampah plastik HDPE sering ditemukan pada botol oli, pemutih, dan pembersih lantai, sementara plastik PET banyak terdapat pada botol air mineral, sirup, dan kemasan bening, yang umum didaur ulang. Bambu ori (*Bambusa Blumeana*) berumur 3-5 tahun, yang melimpah di tepian sungai dan kebun, dapat dimanfaatkan sebagai penguat dalam campuran plastik. Berdasarkan studi literatur, belum ada pengujian campuran limbah HDPE, PET, dan serat bambu menggunakan uji tarik serta analisis struktur makro dan mikro, sehingga penelitian eksperimental ini dilakukan di Laboratorium Universitas Muhammadiyah Ponorogo.

2. Metode

Pada metode pembuatan spesimen menggunakan 3 komposisi bahan, yaitu plastik HDPE, plastik PET dan Serat Bambu. Dari ketiga bahan tersebut digunakan persentase campuran sebagai berikut :

Tabel 4. Komposisi Campuran Spesimen

Spesimen ke-	Komposisi
1.	HDPE 100%
2.	PET 100%
3.	HDPE 60%, PET 30%, Serat Bambu 10%
4.	HDPE 60%, PET 20%, Serat Bambu 20%
5.	HDPE 60%, PET 10%, Serat Bambu 30%

Dari **Tabel 4** diatas, merupakan komposisi spesimen untuk 5 campuran dengan jumlah sampel yang akan dibuat dengan total 15 sampel dengan komposisi berulang sebanyak 3 kali. Tujuan dibuatnya perbandingan plastik HDPE yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan lainnya dikarenakan komposisi HDPE yang tinggi tersebut dapat memperkuat sifat dari komposit yang dibuat [19].

Untuk perbandingan campuran pembuatan spesimen dengan menggunakan standar ASTM D638 tipe IV dengan panjang sampel 115 mm lebar 19 mm dan tebal 3,2 mm [20], dengan menggunakan mesin merek TRIPOD AEV (*Electric Double Column Vertical Test Stand*) pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui

keuletan suatu bahan serta mengetahui sifat dari material tersebut.

Pembuatan spesimen dimulai dengan mempersiapkan plastik HDPE, plastik PET, dan serutan bambu. Botol oli bekas dicacah, biji plastik PET disiapkan, dan serutan bambu direndam 7-14 hari, dipukul, disikat, lalu dikeringkan 1-2 hari. Cacahan plastik, biji PET, dan serat bambu dicampur sesuai komposisi, lalu dicetak menggunakan mesin hot press pada suhu 220°C dan tekanan 25 bar selama 15 menit. Setelah itu, cetakan dibuka hati-hati, hasilnya ditandai dan dipotong sesuai standar ASTM D 638 Tipe IV. Spesimen siap untuk uji tarik dan analisis struktur makro.

Pengujian tarik dilakukan dengan menyiapkan alat, bahan, dan mencatat ukuran spesimen. Setelah memastikan kondisi mesin uji siap, spesimen dijepit pada grip chuck dengan skala perpanjangan diatur nol. Pengujian berlangsung hingga spesimen patah, kemudian hasil patahan, lebar, dan tebal spesimen diukur. Data dan grafik tegangan dicatat setelah pengujian selesai. Pengujian tarik menghasilkan 3 jenis perhitungan, yaitu tegangan, regangan, dan modulus elastisitas, berikut persamaan ke tiga nya :

Berikut rumus persamaan tegangannya :

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

Dimana :

σ = Tegangan (MPa)

F = Beban yang bekerja dalam arah tegak lurus (N)

A = Luas penampang awal sebelum dibebani (mm²)

Berikut rumus regangan dalam hukum hooke :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \quad (2)$$

Dimana :

ε = Regangan

ΔL = Pertambahan panjang benda kerja (mm)

L_0 = Panjang awal (mm)

Berikut persamaan modulus elastisitasnya :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

Dimana :

E = Modulus elastisitas (MPa)

σ = Tegangan (MPa)

ε = Regangan (%)

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 ketidakteraturan pada permukaan material. Spesimen ditempatkan di bawah pencahayaan langsung untuk meningkatkan visibilitas struktur internal.

3. Hasil dan Pembahasan

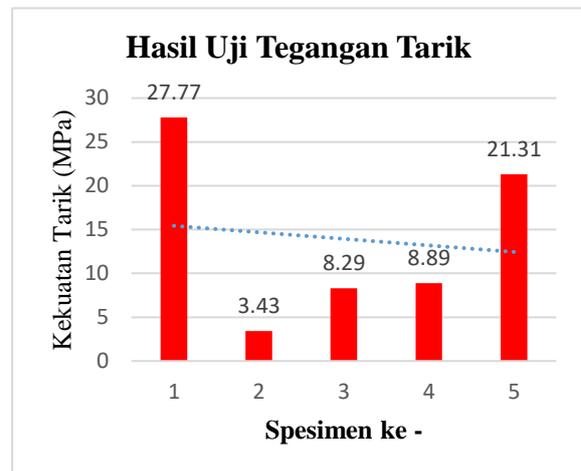
Hasil perhitungan semua jenis pengujian setelah dilakukan kemudian dirangkum kedalam tabel 4 dibawah ini.

Tabel 5. Hasil Pengujian Tarik, Regangan dan Modulus Elastisitas

Spesimen ke-	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan	Modulus elastisitas (MPa)
1.	27,77	0,015	2185,57
2.	3,43	0,000	0,00
3.	8,29	0,029	292,84
4.	8,89	0,013	732,18
5.	21,31	0,018	1329,25

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 grafik tegangan tarik **Gambar 1**, spesimen 1 (HDPE 100%) memiliki nilai tertinggi 27,77 MPa, menunjukkan sifat HDPE yang ulet dan kuat. Sebaliknya, spesimen 2 (PET 100%) menurun drastis ke 3,43 MPa karena sifat PET yang mudah rusak saat dipanaskan ulang [13].

Spesimen 3 (HDPE 60%, PET 30%, Serat Bambu 10%) meningkat ke 8,29 MPa berkat penurunan PET dan penambahan serat bambu. Spesimen 4 (HDPE 60%, PET 20%, Serat Bambu 20%) naik lagi ke 8,89 MPa karena lebih banyak serat bambu yang memperkuat ikatan material [21].

Spesimen 5 (HDPE 60%, PET 10%, Serat Bambu 30%) mencapai nilai tertinggi pada campuran, yaitu 21,31 MPa. Hal ini disebabkan oleh dominasi HDPE yang ulet, penurunan PET menjadi 10%, dan peningkatan serat bambu hingga 30%, yang secara signifikan memperkuat material.

Penurunan komposisi PET dari 100% menjadi 30%, 20%, dan 10%, serta penambahan HDPE 60% dan

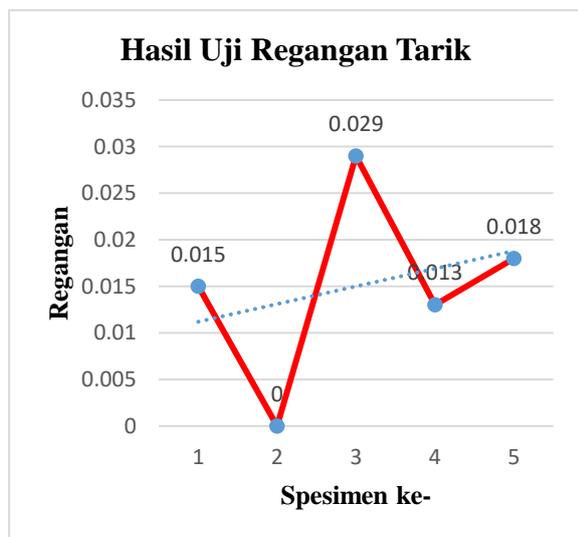
serat bambu 10%, 20%, dan 30% secara signifikan meningkatkan kekuatan tarik material. PET yang awalnya getas menjadi lebih kuat dengan kontribusi HDPE dan serat bambu [22]. Komposisi HDPE 60%, PET 10%, dan serat bambu 30% menghasilkan nilai tegangan tarik tertinggi, yaitu 21,31 MPa.

Spesimen HDPE murni memiliki kekuatan tarik tertinggi dibandingkan spesimen lainnya. Dengan penambahan serat bambu secara bertahap meningkatkan kekuatan tarik pada campuran, terutama pada spesimen ke-5, dengan komposisi HDPE 60%, PET 10%, dan Serat Bambu 30%. Kandungan PET yang tinggi pada spesimen ke-2 menyebabkan penurunan drastis karena sifatnya yang getas, tetapi pengurangan PET diimbangi dengan serat bambu dan HDPE meningkatkan kekuatan tarik.

Kekuatan tarik spesimen campuran mencapai nilai optimal pada komposisi dengan dominasi HDPE dan serat bambu, menunjukkan kombinasi yang mendukung sifat mekanik material.

Hasil Uji Regangan Tarik

Dari hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk grafik seperti grafik 2 dibawah ini :



Gambar 2. Grafik Hasil Uji Regangan

Berdasarkan grafik uji regangan Gambar 2, spesimen 1 (HDPE 100%) memiliki nilai regangan tertinggi sebesar 0,015, menunjukkan fleksibilitas dan kekuatan. Sebaliknya, spesimen 2 (PET 100%) memiliki regangan 0, karena sifatnya yang getas.

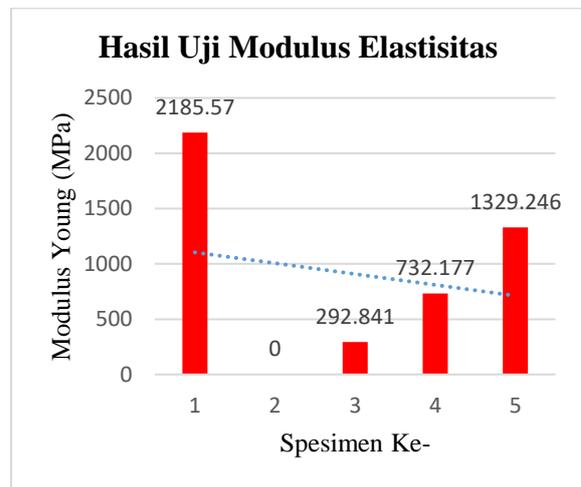
Pada campuran, spesimen 3 (HDPE 60%, PET 30%, Serat Bambu 10%) mencapai regangan tertinggi 0,029, menunjukkan elastisitas terbaik. Spesimen 4 (HDPE 60%, PET 20%, Serat Bambu 20%) mengalami penurunan regangan menjadi 0,013, sedangkan spesimen 5 (HDPE 60%, PET 10%, Serat Bambu 30%) meningkat menjadi 0,018.

Fluktuasi nilai regangan pada spesimen campuran menunjukkan pengaruh proporsi PET dan Serat Bambu. Kombinasi komponen ini saling memengaruhi sifat mekanik material, dengan dominasi salah satu bahan meningkatkan nilai regangan dan memengaruhi karakteristik tarik material.

HDPE murni memiliki elastisitas yang baik, sedangkan PET murni sangat getas, maka dengan dilakukan penambahan serat bambu dalam campuran HDPE dan PET secara umum dapat meningkatkan nilai regangan, dengan komposisi HDPE 60%, PET 30%, Serat Bambu 10% menunjukkan hasil terbaik. Kemudian, nilai regangan cenderung fluktuatif, dipengaruhi oleh perubahan komposisi PET dan serat bambu, di mana dominasi serat bambu dapat menurunkan elastisitas jika terlalu banyak [23].

Hasil Uji Modulus Elastisitas

Dari hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk grafik seperti grafik 3 dibawah ini :



Gambar 3. Hasil Uji Modulus Elastisitas

Berdasarkan grafik modulus elastisitas Gambar 3, spesimen 1 (HDPE 100%) memiliki nilai tertinggi sebesar 2185,57 MPa karena sifat HDPE yang elastis. Sebaliknya, spesimen 2 (PET 100%) memiliki nilai terendah, yaitu 0 MPa, karena sifatnya yang getas [13].

Pada spesimen campuran, spesimen 3 (HDPE 60%, PET 30%, Serat Bambu 10%) memiliki modulus elastisitas 292,841 MPa. Spesimen 4 (HDPE 60%, PET 20%, Serat Bambu 20%) menunjukkan peningkatan menjadi 732,177 MPa. Spesimen 5 (HDPE 60%, PET 10%, Serat Bambu 30%) mencapai nilai tertinggi untuk campuran, yaitu 1329,246 MPa, menunjukkan peran penting HDPE dan serat bambu dalam meningkatkan modulus elastisitas [24].

HDPE murni pada spesimen 1 menunjukkan modulus elastisitas tertinggi karena sifat elastis alaminya. PET murni pada spesimen 2 menghasilkan modulus elastisitas 0 MPa, menunjukkan ketidakmampuannya

menahan deformasi. Penambahan serat bambu secara bertahap pada spesimen campuran meningkatkan modulus elastisitas, dengan komposisi HDPE 60%, PET 10%, Serat Bambu 30% pada spesimen 5 mencapai nilai optimal. Tren menunjukkan bahwa kombinasi serat bambu dan HDPE memberikan kontribusi positif terhadap modulus elastisitas, sementara pengurangan PET memperbaiki sifat elastis material.

Hasil Uji Struktur Makro

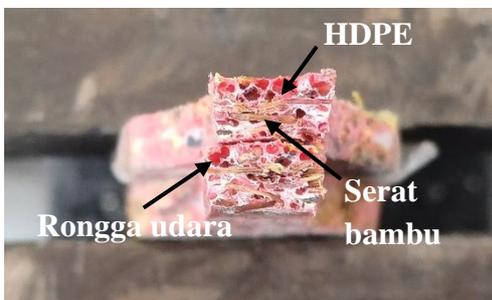
Gambar makro diperoleh menggunakan kamera *smartphone* dengan resolusi tinggi. Fokus pada bagian patahan spesimen hasil uji tarik untuk mendeteksi adanya rongga udara atau ketidakrataan pada permukaan material. Spesimen ditempatkan di bawah pencahayaan langsung untuk meningkatkan penglihatan struktur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

Berikut hasil foto patahan dari sampel dengan nilai tertinggi.

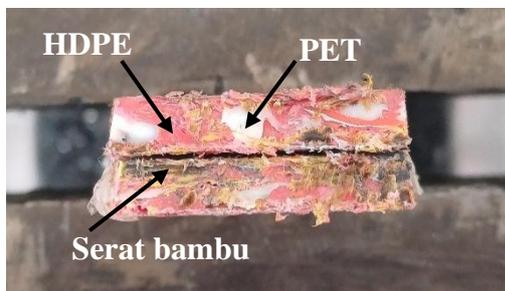


Gambar 4. Foto Uji Makro Spesimen 1

Pada Gambar 4 Foto Uji Makro Spesimen 1 yaitu HDPE 100% terlihat dari kamera bahwa ada sedikit gelembung/rongga pada patahan sampel, pada foto patahan sampel HDPE diatas cenderung padat, namun masih terdapat sedikit gelembung/rongga yang terperangkap dibagian tengah spesimen, tetapi hal ini tidak berdampak signifikan terhadap nilai kekuatan tarik dari spesimen tersebut dikarenakan sifat plastik HDPE sendiri yang ulet dan kuat.



(a)



(b)

Gambar 5. Foto Uji Makro Spesimen 5

Pada foto spesimen 5 (a) dan (b) Gambar 5, yaitu dengan komposisi HDPE 60%, PET 10%, Serat Bambu 30%, terlihat dari kamera bahwa ada gelembung/rongga pada patahan sampel, walaupun masih terdapat rongga udara didalam sampel, tetapi antara plastik HDPE, PET maupun serat bambu dapat tercampur rata pada seluruh bagian sampel yang mengakibatkan naiknya grafik uji tegangan dibandingkan komposisi HDPE 60%, PET 20%, Serat Bambu 20%.

Hal ini didukung juga oleh turunnya komposisi PET yang awalnya 20%, turun menjadi 10% dan dipengaruhi juga oleh naiknya komposisi serat bambu yang awalnya 20%, lalu naik menjadi 30% hal ini sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik suatu material yang dilakukan penambahan serat didalamnya, dengan memberi lebih banyak serat dibandingkan plastik PET.

Faktor utama yang menyebabkan gelembung udara dalam material komposit adalah proses pembuatan yang tidak sempurna dan sifat alami bahan yang digunakan. Kehadirannya memengaruhi kekuatan tarik, keseragaman, dan ketahanan material. Dengan memodifikasi serat bambu dan mengoptimalkan tekanan, suhu, dan waktu pemrosesan, risiko pembentukan rongga udara diminimalkan. Ini meningkatkan kualitas mekanik material komposit [25] [26].

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa material komposit berbasis HDPE dengan penambahan serat bambu memiliki potensi meningkatkan kekuatan tarik, terutama pada komposisi HDPE 60%, PET 10%, dan serat bambu 30% yang mencapai tegangan tarik 21,31 MPa. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa spesimen HDPE 100% memiliki kekuatan tarik tertinggi (27,77 MPa), sementara PET 100% memiliki kekuatan tarik terendah (3,43 MPa) karena sifatnya yang lebih getas.

Penambahan serat bambu dalam jumlah lebih besar membantu meningkatkan daya tahan material, tetapi juga menyebabkan terjebaknya gelembung udara, yang berpotensi menurunkan keseragaman struktur dan ketahanan material dalam jangka panjang. Penggunaan metode hot press pada suhu 220°C dan tekanan 25 bar memberikan hasil pencampuran yang lebih baik dibandingkan *injection molding*, meskipun masih ditemukan rongga udara di bagian dalam spesimen. Secara keseluruhan, kombinasi HDPE dan serat bambu lebih optimal dibandingkan dengan PET,

tetapi untuk meningkatkan kualitas mekanik lebih lanjut, diperlukan optimasi dalam kontrol tekanan, suhu, dan teknik manufaktur guna mengurangi porositas dan meningkatkan homogenitas material.

Daftar Pustaka

- [1] F. C. Anam, "Analisa Campuran Limbah Plastik HDPE, LDPE dan Getah Alam Terhadap Uji Tarik Dan Struktur Mikro," Universitas Muhammadiyah Ponorogo, 2023. [Online]. Available: http://eprints.umpo.ac.id/10926/14/SKRIPSI_FULL_TEXT.pdf
- [2] 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.
- [3] M. A. Abd Kadir, Aminur Aminur, "Pengaruh pola anyaman terhadap kekuatan tarik dan bending komposit berpenguat serat bambu," vol. 6, no. 1, pp. 9–18, 2014.
- [4] E. S. Laksana Putra Hutagaol, Sobron Yamin Lubis, "JUTIN: Jurnal Teknik Industri Terintegrasi Analisis High Density Polyethylene Berserat Bambu terhadap Kekuatan Tarik dengan Variasi Temperature Melting Komposit Polimer," vol. 6, no. 1, pp. 313–320, 2023, doi: 10.31004/jutin.v6i1.16418.
- [5] S. D. Mochamad Fauzan, Sobron M Yamin Lubis, "KARAKTERISTIK KOMPOSIT HDPE RECYCLE BERPENGUAT SERAT BAMBU UNTUK PANEL BOARD FURNITURE," vol. 7, no. 8, 2022.
- [6] R. Raliannoor and D. Rahmalina, "Pengaruh Fraksi Volume Penguat 2, 2,5 Dan 3% Serat Bambu Haur Dan Fiberglass Terhadap Kekuatan Tarik Matriks Poliester," *Info-Teknik*, vol. 20, no. 2, p. 141, 2020, doi: 10.20527/infotek.v20i2.7710.
- [7] Risma Dwi Arisona, "Pengelolaan Sampah 3R (Reduce, Reuse, Recycle) Pada Pembelajaran Ips Untuk Menumbuhkan Karakter Peduli Lingkungan," vol. 3, pp. 39–51, 2018, doi: <https://doi.org/10.36840/ulya.v3i1.150>.
- [8] Nursalam and A. . Fallis, "Dasar Teori Sampah Plastik," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2020.
- [9] 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
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] A. NURHIDAYAT, "PENGARUH FRAKSI VOLUME PADA PEMBUATAN KOMPOSIT HDPE LIMBAH-CANTULA DAN BERBAGAI JENIS PEREKAT DALAM PEMBUATAN LAMINATE," *Digilib.Uns.Ac.Id*, 2013, [Online]. Available: <https://digilib.uns.ac.id/dokumen/detail/14350%0Ahttps://digilib.uns.ac.id/dokumen/download/14350/MjcxNDc=/Novel-Perempuan-Berkalung-Sorban-karya-Abidah-El-Khalieqy-dan-Pintu-karya-Fira-Basuki-kajian-intertekstualitas-dan-nilai-pendidikan-abstrak.pdf>
- [13] S. Anang, W. Sujana, Sibut, and K. A. Widi, "Peran Abu Sekam Padi Pada Komposit Polimer Jenis Pet," *J. "FLYWHEEL"*, vol. 8, no. 1, pp. 15–24, 2017.
- [14] I. M. Asyrofi, "PENGARUH CAMPURAN PLASTIK WASTE LDPE, DAN PET BERMATRIK RESIN POLYESTER TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO," *University Muhammadiyah Ponorogo*, 2022. [Online]. Available: http://eprints.umpo.ac.id/9287/10/full_text.pdf
- [15] Firdaus, "Potensi Pemanfaatan Bambu di Kecamatan Baraka Kabupaten Enrekang Sulawesi Selatan," *Progr. Stud. Kehutan. Fak. Pertan. Univ. Muhammadiyah Makassar*, pp. 20–23, 2018.
- [16] N. Fathiya, M. H. Qariza, S. A. Nazhifah, and H. Diah, "Karakteristik Morfologi dan Pemanfaatan Bambu Duri (Bambusa blumea) di Wilayah Pesisir Desa Jambo Timu, Kecamatan Blang Mangat, Kota Lhokseumawe," *J. Jeumpa*, vol. 9, no. 2, pp. 767–776, 2022, doi: 10.33059/jj.v9i2.6314.
- [17] S. R. Sutardi *et al.*, *Seri Paket Iptek Informasi Sifat Dasar dan Kemungkinan Penggunaan 10 Jenis Bambu*. 2015.
- [18] D. F. Rochman and M. A. Irfai, "PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN KOH TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO KOMPOSIT HIBRID SERAT RAMI DAN SERAT BAMBU," vol. Volume 08, pp. 111–118, 2020.
- [19] 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>
- [20] B. Statements and T. Size, “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics,” vol. 14, no. 200, pp. 1–6, 1995.
- [21] 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.
- [22] I. Widiastuti, H. C. Saputra, S. S. Wisnu Kusuma, and B. Harjanto, “Mechanical and thermal properties of recycled high-density polyethylene/bamboo with different fiber loadings,” *Open Eng.*, vol. 12, no. 1, pp. 151–156, 2022, doi: 10.1515/eng-2022-0010.
- [23] 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.
- [24] A. L. Juwono, “Bamboo Fibers, Fabrication of Bamboo Fiber reinforced Composites, and their Mechanical Properties- A Review,” *Int. J. Emerg. Trends Eng. Res.*, vol. 8, no. 6, pp. 2346–2359, 2020, doi: 10.30534/ijeter/2020/24862020.
- [25] 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.
- [26] 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.