

ANALISIS KARAKTERISTIK KOMPOSIT PULP KERTAS DAN SERABUT KELAPA UNTUK PEMBUATAN BAHAN BAKU KERTAS RAMAH LINGKUNGAN

¹⁾Pratiwi, ²⁾ Lydia Rohmawati, ³⁾Evi Suaebah

1) Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: pratiwi.21038@mhs.unesa.ac.id

2) Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: lydiarohmawati@unesa.ac.id

3) Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: evisuaebah@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik komposit pulp kertas daur ulang dan serat kelapa sebagai bahan baku pembuatan kertas ramah lingkungan. Proses penelitian mencakup persiapan pulp kertas dari kertas bekas dan serat kelapa yang diproses menjadi serbuk, yang kemudian dicampur dengan berbagai rasio massa (0:100, 20:80, 30:70, dan 40:60). Pengujian dilakukan untuk mengukur tebal, gramatur, daya serap air, dan kekuatan tarik kertas dengan mengacu pada standar (SNI 7274:2008) dan (SNI-ISO-1924-2-2016). Hasil uji tebal kertas menunjukkan bahwa perbedaan rasio massa tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap tebal kertas, sebagian besar hasil komposit memiliki tebal rata-rata 0.13 mm. Pengujian selanjutnya berupa uji gramatur yang memberikan hasil sebesar 108 – 200 g/mm², dari dua uji tersebut dapat digunakan untuk menghitung nilai bulk kertas. Hasil perhitungan bulk kertas menyatakan bahwa semua sampel telah memenuhi standart (SNI 7274:2008) yang memiliki nilai dibawah 1.5 cm³/gr. Komposisi serat kelapa dan pulp kertas (20:80) pada penelitian ini memiliki kuat tarik sebesar 2.73 kN/m dan daya regang 1.37% menjadi pilihan komposisi rasio paling optimal sesuai standar (SNI-ISO-1924-2-2016). Penambahan serat kelapa pada pulp kertas dapat meningkatkan kekuatan tarik melalui efek penguatan, sedangkan pada rasio serat yang lebih tinggi (>30), terjadi penurunan kualitas akibat distribusi serat yang tidak merata dan ikatan yang lemah dalam pulp kertas. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat dijadikan alternatif produk kertas daur ulang yang ekonomis yang memiliki karakteristik yang sesuai dengan standar yang telah ditentukan.

Kata Kunci: Kertas Daur Ulang, Serat Kelapa, Komposit, Uji Tarik, Sifat Mekanik, Daya Serap.

Abstract

This study aims to analyze the characteristics of recycled paper pulp and coconut fiber composites as raw materials for environmentally friendly paper production. The research process includes the preparation of paper pulp from waste paper and coconut fibers processed into powder, which is then mixed in various mass ratios (0:100, 20:80, 30:70, and 40:60). Tests were conducted to measure the thickness, grammage, water absorption, and tensile strength of the paper, referring to the standards (SNI 7274:2008) and (SNI-ISO-1924-2-2016). The paper thickness test results indicate that variations in mass ratio do not significantly affect the paper thickness, with most composite samples having an average thickness of 0.13 mm. The grammage test results ranged from 108 to 200 g/mm², and these two tests were used to calculate the paper bulk value. The bulk calculation results show that all samples met the SNI 7274:2008 standard, which requires a bulk value below 1.5 cm³/g. The 20:80 composition of coconut fiber and paper pulp in this study exhibited a tensile strength of 2.73 kN/m and an elongation of 1.37%, making it the most optimal ratio according to the SNI-ISO-1924-2-2016 standard. The addition of coconut fiber to paper pulp enhances tensile strength through a reinforcement effect, while higher fiber ratios (>30) result in a decline in quality due to uneven fiber distribution and weak bonding within the paper pulp. Therefore, the findings of this study provide an economical alternative for recycled paper products that meet the specified standards.

Keywords: Recycled Paper, Coconut Fiber, Composite, Tensile Test, Mechanical Properties, Absorbency.

I. PENDAHULUAN

Dengan bertambah modernnya zaman, kebutuhan akan kertas di Indonesia semakin meningkat. Hal ini dikarenakan adanya perkembangan ilmu dan teknologi (IPTEK). Pertumbuhan industri kertas di Indonesia semakin meningkat tiap tahunnya. Saputra & Fauzi (2022) dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa limbah yang paling banyak ditemukan terdapat pada produksi kertas. Setiap tahun, Indonesia memproduksi sekitar 67.8 juta ton sampah, dengan 8.1 juta ton di antaranya berupa limbah kertas. Selain itu, volume sampah kertas mengalami peningkatan sebesar 1% setiap dua tahun. Namun berdasarkan pernyataan Departemen Kehutanan kebutuhan kayu yang semakin menipis akibat digunakan sebagai bahan baku pulp (Paskawati et al., 2020). Untuk itu, perlu sebuah alternatif lain yaitu dengan penggunaan bahan baku yang berasal dari bahan non kayu, salah satunya adalah sabut kelapa. Limbah dari sabut kelapa, ternyata bisa dimanfaatkan dalam pembuatan pulp, karena sabut kelapa ini memiliki kandungan selulosa yang diperlukan dalam pembuatan pulp kertas.

Kelapa merupakan tanaman yang sering dijumpai di seluruh wilayah Indonesia dan termasuk tanaman multiguna, sebab semua bagiannya dapat dimanfaatkan dalam kehidupan manusia (Elfaleh et al., 2023). Mulai dari ujung daun hingga akar, semuanya dapat dimanfaatkan tanpa terkecuali (Setiyani & Yulistiana, 2023). Produktivitas perkebunan kelapa di Indonesia semakin meningkat, seiring dengan lajunya pertumbuhan penduduk yang semakin pesat sementara kebutuhan kayu sebagai bahan bangunan juga semakin meningkat. Indonesia merupakan salah satu daerah penghasil limbah sabut kelapa terbesar di dunia. Data terbaru tahun 2022, ekspor kelapa beserta produk turunannya mengalami peningkatan dengan total mencapai 2.104.745.299 kg (Setiyani & Yulistiana, 2023). Sabut kelapa merupakan hasil samping dari tanaman kelapa dan merupakan bagian yang terbesar dari buah kelapa, yaitu sekitar 35% dari bobot buah kelapa. Potensi produksi sabut kelapa yang sedemikian besar belum dimanfaatkan sepenuhnya untuk kegiatan produktif yang dapat meningkatkan nilai tambahnya (Wiyanto et al., 2017)

Permintaan kertas di seluruh dunia semakin meningkat dari tahun ke tahun. Isu pelestarian lingkungan mendorong pemanfaatan lebih banyak dari pulp kertas dan bahan selulosa alternatif non kayu (Saputra & Fauzi, 2022). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Setiyani & Yulistiana, 2023; Saputra & Fauzi, 2022; Apriani & Malik, 2019) alternatif bahan pengganti selain serat alam dalam pembuatan kertas dapat menggunakan pulp yang terbuat dari kertas bekas serta dikompositkan dengan serabut kelapa. Penelitian sebelumnya belum menambahkan parameter uji kekuatan tarik (*tensile strength*) terhadap hasil komposit kertas. Selain itu, distribusi serat komposit pulp kertas dan serat hanya terdapat pada beberapa komposisi. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan pengembangan komposisi dari alternatif dalam pembuatan kertas, seperti komposit bahan ampas serabut kelapa dan pulp kertas bekas. Pengembangan komposisi komposit dan pengujian (*tensile strength*) dilakukan untuk mengetahui hasil terbaik dari komposisi masing-masing kertas daur ulang dengan komposit campuran pulp kertas dan serabut kelapa dan karakteristik kekuatan tarik pada masing-masing nilai komposit.

II. METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Material Program Studi Fisika Universitas Negeri Surabaya dengan proses eksperimen seperti yang terdapat pada diagram-diagram penelitian berikut ini :

Proses awal dalam pembuatan komposit kertas berbasis pulp dimulai dengan pembuatan pulp kertas dari bahan kertas bekas. Seperti ditunjukkan pada Gambar 1, kertas bekas dipotong kecil-kecil, kemudian direndam dalam air distilasi selama 24 jam untuk melunakkannya. Setelah itu, kertas direndam diblender hingga menjadi pulp kertas. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan bahan dasar yang mudah dicampur dengan serat kelapa saat tahap pencetakan lembaran kertas.



Gambar 1 Ilustrasi Pembuatan Pulp Kertas

Proses pengolahan serat kelapa menjadi bubuk halus (cocopeat) dilakukan melalui beberapa tahap seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pertama, serat kelapa dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100°C selama 50 menit, lalu dihancurkan hingga menjadi bubuk. Bubuk sabut kelapa ini kemudian dicampur dengan larutan asam asetat 4% dalam gelas ukur berkapasitas 3000 mL, dan dipanaskan kembali dalam oven pada suhu 120°C selama 4 jam. Setelah proses pemanasan, campuran dicuci menggunakan air distilasi untuk menghilangkan sisa asam dan kotoran, lalu dilakukan proses filtrasi untuk memperoleh sedimen bubuk sabut kelapa yang siap digunakan sebagai bahan komposit.



Gambar 2 Ilustrasi Pembuatan Cocopeat



Gambar 3 Fabrikasi Komposit Kertas Ramah Lingkungan (Pulp Kertas dan *Cocopeat*)

Tahap selanjutnya adalah proses fabrikasi komposit pulp kertas dan bubuk sabut kelapa seperti ditunjukkan pada **Gambar 3**. Pada tahap ini, bubur kertas dicampur dengan sedimen *cocopeat* sesuai dengan rasio komposisi tertentu. Campuran tersebut kemudian dituangkan ke dalam cetakan untuk membentuk lembaran komposit dan dikeringkan hingga mengeras. Setelah proses pengeringan, lembaran komposit yang dihasilkan diuji untuk mengetahui sifat fisik dan mekaniknya. Pengujian meliputi uji ketebalan, uji *gramatur* (berat per satuan luas), uji daya serap air (Cobb60), dan uji tarik (*tensile test*) untuk menilai kekuatan mekanik material. Rangkaian proses ini bertujuan untuk menghasilkan komposit kertas yang ramah lingkungan dengan performa fisik dan mekanik yang optimal.

B. Variabel Operasional Penelitian

Variabel penelitian diantaranya variabel kontrol yaitu konsentrasi larutan asam asetat 4%. Variabel manipulasi yaitu variasi persen berat serabut kelapa dan pulp kertas (0:100, 20:80, 30:70 dan 40:60). Variabel respon yaitu nilai karakteristik uji tebal, uji tarik, uji gramatur, dan uji Cobb60.

C. Teknik Pengumpulan Data

Pengambilan data dengan metode riset eksperimen melalui penelitian kuantitatif, yaitu data hasil pengukuran dari uji tebal, gramatur, dan daya serap oleh Laboratorium Material Program Studi Fisika Universitas Negeri Surabaya, Serta penelitian kuantitatif, yaitu data hasil pengukuran uji tarik oleh Universitas Brawijaya yang dilakukan selama 3 bulan penelitian.

D. Teknik Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang telah dihimpun kemudian dikelompokkan sesuai dengan beberapa parameter pengukuran yang dilakukan secara pengukuran tunggal untuk setiap variasi komposit mekanik kertas sebagai hasil identifikasi karakteristik mekanik komposit kertas yang dihasilkan seperti sebagai berikut :

Pengujian tebal kertas jarak tegak lurus antara kedua permukaan kertas, diukur pada kondisi standar. Alat yang digunakan, yaitu mikrometer dengan ketelitian 0.01mm. Prosedur penelitian mengacu kepada SNI

(7274:2008) dengan alat penunjuk nilai tebal dipastikan pada posisi nol. Selanjutnya, sampel ditempatkan di antara kaki penekan dan landasan. Setelah itu, kaki penekan diturunkan secara perlahan-lahan sampai menyentuh permukaan sampel. Kemudian dibaca dan dicatat nilai tebal dari sampel pada skala mikrometer. Kaki penekan dinaikkan dan dilakukan pengukuran tebal untuk contoh uji yang lainnya.

Nilai uji tarik ini digunakan guna untuk mencari nilai standart Bulk kertas menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Bulk (cm}^3/\text{gr)} = \frac{\text{tebal (mm)}}{\text{gramatur } (\frac{\text{g}}{\text{m}^2})} \times 1000 \text{ (BSN, 2008)} \quad (1)$$

Selanjutnya Uji Gramatur adalah massa lembaran kertas dalam gram dibagi dengan satuan luasnya dalam meter persegi, diukur pada kondisi standar. Alat yang digunakan yaitu: neraca analitik, penggaris, dan gunting. Prosedur penelitian mengacu kepada SNI (7274:2008) yaitu sampel dipotong dengan ukuran 10 cm x 10 cm. Kemudian diukur luas potongan sampel dan ditimbang massa dari potongan sampel. Pengujian sampel diulangi 10 kali. Gramatur kertas dihitung dengan rumus berikut ini :

$$G = \frac{a}{A} \quad (\text{Sundari et al., 2020}) \quad (2)$$

Keterangan :

G = Gramatur lembaran (g/ m²);

A = Massa lembaran yang diuji (g); dan

a = Luas lembaran yang diuji (m²)

Adapula uji serap air (Cobb60) Prosedur penelitian ini mengacu kepada standar SNI (7274:2008) yang menetapkan bahwa sampel kertas harus dipotong dengan ukuran 10cm x 10cm, pastikan sampel dalam keadaan kering sebelum pengujian. Setelah itu, sampel ditimbang untuk mencatat massa awalnya sebelum disemprotkan dengan air secara merata menggunakan semprotan air. Waktu kontak antara sampel dengan air diukur selama 60 detik. Air yang terserap oleh sampel akan diukur dengan menimbang kembali sampel setelah proses penyerapan selesai. Selisih massa awal dan massa akhir sampel kemudian digunakan untuk menghitung jumlah air yang diserap oleh sampel tersebut :

$$\eta_{\text{penyerapan}} = \frac{M_i - M_0}{A} \times 100\% \quad (\text{Sundari et al., 2020}) \quad (3)$$

Keterangan :

$\eta_{\text{penyerapan}}$ = banyaknya air yang dapat diserap (%);

M₀ = Massa lembaran kering (g);

M_i = Massa lembaran setelah ditetesi air selama 60 detik (g)

a = Luas lembaran yang diuji (m²)

Selanjutnya, dilakukan Uji Ketahanan Tarik yang bertujuan untuk mengetahui sejauh mana lembaran kertas mampu menahan gaya tarik yang diberikan secara berlawanan pada kedua ujungnya. Pengujian ini dilaksanakan dalam kondisi standar agar hasil yang diperoleh dapat dibandingkan secara objektif dan konsisten. Alat yang digunakan adalah *Universal Testing Machine* (UTM) yang berfungsi memberikan tekanan tarik dengan kontrol terukur. Prosedur pengujian mengikuti acuan SNI 1924-2-2016, di mana sampel kertas terlebih dahulu ditempatkan dengan hati-hati di bawah *topplate* UTM. Setelah itu, sampel dikunci menggunakan mekanisme *handwheel* dengan cara diputar hingga posisi benar-benar kuat dan stabil, sehingga tidak ada kemungkinan kuncian terlepas saat gaya tarik bekerja. Selanjutnya, proses pengukuran dilakukan, dan nilai ketahanan tarik sampel ditentukan berdasarkan perhitungan dengan menggunakan rumus berikut.:

$$\sigma_T^b = \frac{F_T}{b} \quad (\text{Iso, 2016}) \quad (4)$$

Keterangan:

σ_T^b = Ketahanan tarik (kN/m);

F_T = Gaya beban (N); dan

b = Lebar awal sampel uji (mm)

Jika diperlukan, indeks tarik σ_T^W juga dapat dihitung untuk memberikan informasi lebih lanjut tentang ketahanan tarik material berdasarkan beratnya. Indeks tarik dinyatakan dalam satuan kilonewton meter per kilogram (kN m/kg) dan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma_T^W = \frac{1000 \times \sigma_T^b}{w} \quad (\text{Iso, 2016}) \quad (5)$$

Dimana :

W adalah gramatur atau berat spesifik material dalam satuan gram per meter persegi (g/m²).

Daya regang saat putus (ϵ_T) dihitung menggunakan rumus :

$$(\epsilon_T) = \frac{\delta}{l} \times 100 \quad (\text{Iso, 2016}) \quad (6)$$

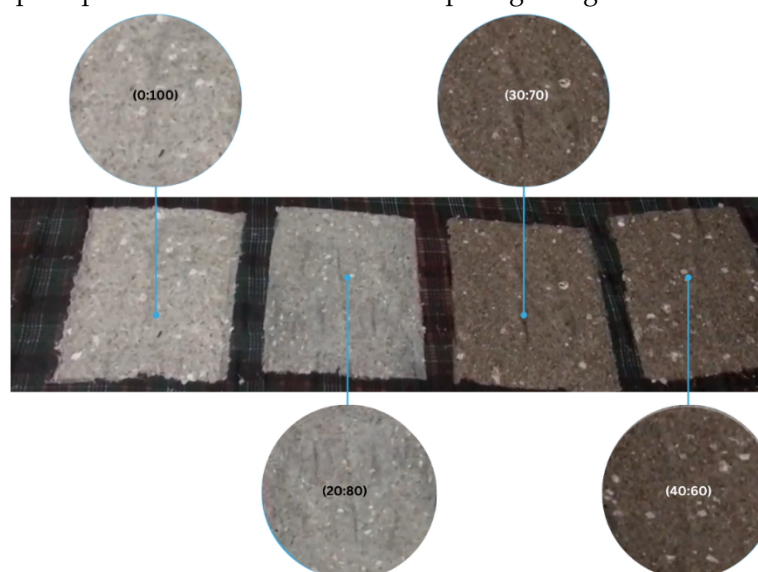
Dimana :

δ adalah elongasi saat putus dalam mm, asumsikan dari nilai M_x (Maximum);

l adalah panjang awal sampel uji (180mm)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada produk komposit berpenguat serat alam berupa serabut kelapa dilakukan pengeringan di suhu ruang yang bertujuan untuk dapat mengikat pulp kertas dan serabut kelapa dengan sempurna. Komposit berpenguat serat alam pada penelitian ini memiliki bentuk persegi dengan sisi ukuran A5 (14.8 cm x 21 cm).



Gambar 4 Komposit Setelah Pengeringan

Berdasarkan pengujian komposit penambahan pulp serabut kelapa pada komposit pulp daur ulang kertas dapat meningkatkan kekuatan dan kualitas kertas, Data hasil pengujian komposit pulp kertas bekas dan pulp serabut kelapa dapat dilihat pada analisis dibawah ini :

A. Uji Tebal Kertas

Tabel 1 Hasil Pengujian Tebal Kertas Komposit

Nama Uji	Sampel	SNI (7274:2008)	Hasil
Uji Tebal Kertas	0 : 100	-	0.13 mm
	20 : 80		0.12 mm
	30 : 70		0.13 mm
	40 : 60		0.13 mm

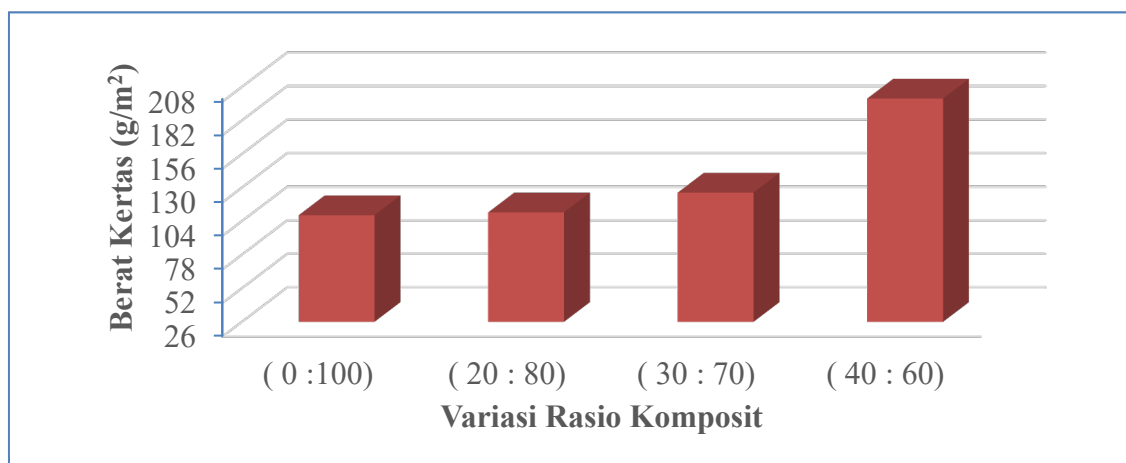
Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi rasio massa material tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap ketebalan kertas yang dihasilkan. Dalam pengujian ini, yang dilakukan dengan mengacu pada SNI 7274:2008 dan menggunakan mikrometer dengan ketelitian 0.01 mm, sebagian besar sampel memiliki ketebalan rata-rata 0.13 mm, kecuali pada rasio (20:80) yang sedikit lebih tipis dengan ketebalan 0.12 mm. Konsistensi ketebalan ini menunjukkan bahwa proses pencetakan dan pembentukan kertas berjalan dengan kontrol yang baik, sehingga variasi dalam komposisi material tidak menyebabkan fluktuasi yang berarti dalam parameter ini. Dengan demikian, semua sampel kertas yang diuji telah memenuhi cara pengujian standar ketebalan yang ditetapkan dalam SNI 7274:2008, dan perbedaan rasio massa tidak berdampak signifikan terhadap karakteristik ketebalan kertas yang dihasilkan.

B. Uji Gramatur Kertas

Tabel 2 Hasil Pengujian Gramatur Kertas Komposit

Nama Uji	Sampel	SNI (7274:2008)	Hasil
Uji Gramatur	0 : 100	26 – 210 g/m ²	108.6 g/m ²
	20 : 80		110.8 g/m ²
	30 : 70		126.1 g/m ²
	40 : 60		199.0 g/m ²

Hasil pengujian menunjukkan bahwa gramatur kertas bervariasi sesuai dengan perubahan rasio massa material, dengan nilai yang meningkat seiring dengan bertambahnya proporsi salah satu komponennya. Pada rasio (0:100), gramatur tercatat sebesar 108.6 g/m², sedangkan pada rasio (40:60), gramatur meningkat signifikan hingga mencapai 199.0 g/m². Pola ini menunjukkan bahwa komposisi material berpengaruh langsung terhadap berat kertas yang dihasilkan. Berdasarkan SNI 7274:2008, gramatur kertas yang baik berada dalam rentang 26–210 g/m², dan seluruh sampel yang diuji memenuhi standar ini. Variasi gramatur ini menunjukkan bahwa perubahan komposisi material tidak menyebabkan penyimpangan di luar batas yang ditetapkan, sehingga kertas yang dihasilkan tetap sesuai dengan standar kualitas.



Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Gramatur pada Komposit

Pengujian gramatur dan ketebalan kertas dilakukan untuk menganalisis karakteristik bulk kertas, yang kemudian dibandingkan dengan standar SNI 7274:2008. Berdasarkan persamaan (1), perhitungan nilai bulk menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 3 Hasil Pengujian Bulk Kertas Komposit

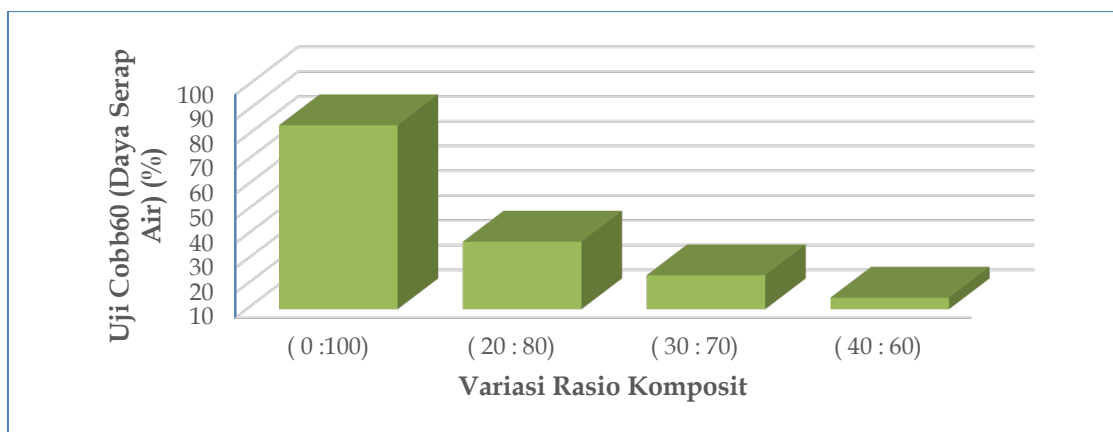
Nama Uji	Sampel	SNI (7274:2008)	Hasil
Uji Bulk	0 : 100	Maks 1.5 cm ³ /gr	1.2 g/m ²
	20 : 80		1.1 g/m ²
	30 : 70		1.0 g/m ²
	40 : 60		0.7 g/m ²

Berdasarkan hasil uji bulk, semua sampel memenuhi standar SNI 7274:2008 yang menetapkan batas maksimum 1.5 cm³/g. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi nilai bulk mencerminkan perbedaan dalam struktur dan kepadatan serat kertas. Sampel dengan bulk tertinggi (1.2 cm³/g) memiliki struktur yang lebih longgar dan berpori, menjadikannya lebih fleksibel tetapi juga lebih mudah robek. Sementara itu, sampel dengan bulk lebih rendah (0.7 cm³/g) memiliki struktur yang lebih padat, meningkatkan kekuatan mekanis dan ketahanan terhadap sobekan, namun berpotensi lebih kaku. Berdasarkan hasil uji tebal, gramatur, dan bulk, rasio (20:80) atau (30:70) dengan bulk 1.0 – 1.1 cm³/g merupakan pilihan yang paling sesuai untuk kertas yang digunakan dalam dokumen. Rasio ini menghasilkan kertas dengan keseimbangan antara ketebalan, kekuatan, dan fleksibilitas, sehingga nyaman untuk pencetakan dan penulisan. Dengan struktur serat yang cukup padat, kertas ini lebih tahan terhadap sobekan dan tidak mudah melengkung, menjadikannya ideal untuk keperluan administratif, buku, atau dokumen resmi. Oleh karena itu, rasio (20:80) atau (30:70) dapat dijadikan rasio utama dalam produksi kertas dokumen yang berkualitas.

C. Uji Cobb60 (Daya Serap Air)

Tabel 4 Hasil Pengujian Cobb60 Kertas Komposit

Nama Uji	Sampel	SNI (7274:2008)	Hasil
Uji Cobb60 (Kadar Air)	0 : 100	Min (6.0 – 9.0)%	200 g/m ² (84.2%)
	20 : 80		152 g/m ² (37.2%)
	30 : 70		156 g/m ² (23.7%)
	40 : 60		170 g/m ² (14.6%)

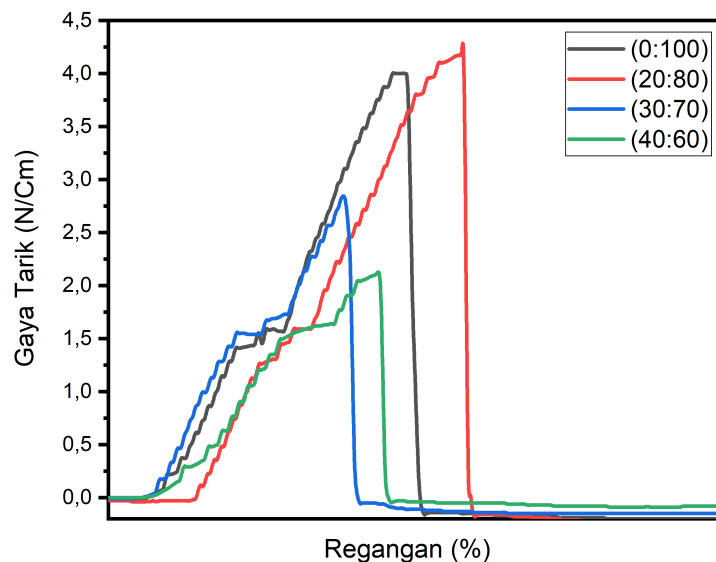


Gambar 6 Grafik Hasil Pengujian Cobb60 pada Komposit

Uji Cobb60 digunakan untuk mengukur daya serap air suatu material dalam waktu 60 detik sesuai dengan standar SNI 7274:2008. Berdasarkan hasil pengujian, sampel dengan rasio (0:100) memiliki daya serap air tertinggi sebesar (84.2%), yang menunjukkan bahwa material dasarnya sangat hidrofilik dan memiliki struktur pori yang memungkinkan air mudah meresap. Dengan penambahan bahan lain yang bersifat lebih hidrofobik, daya serap air mengalami penurunan signifikan. Pada rasio (20:8) daya serap turun menjadi (37.2%), sedangkan pada rasio (30:70) nilainya semakin menurun menjadi (23.7%). Penurunan terbesar terjadi pada rasio (40:60) di mana daya serap air hanya (14.6%), menunjukkan bahwa material tambahan berkontribusi dalam mengurangi afinitas terhadap air. Meskipun terjadi penurunan daya serap, semua sampel masih memiliki nilai yang berada di atas standar SNI 7274:2008, yaitu 6.0 – 9.0%. Hal ini menunjukkan bahwa material yang diuji tetap memiliki sifat menyerap air yang cukup tinggi meskipun sudah dimodifikasi. Penurunan daya serap ini kemungkinan disebabkan oleh beberapa mekanisme, seperti berkurangnya kandungan serat hidrofilik, perubahan struktur mikro yang mengurangi jumlah pori terbuka, peningkatan kerapatan material yang menghambat peresapan air, serta efek lapisan permukaan yang lebih hidrofobik.

D. Uji Tarik

Pengujian ini berdasarkan pada standar SNI-ISO 1924-2:2016 digunakan untuk menguji daya tahan lembaran kertas terhadap gaya tarik yang bekerja pada kedua ujung kertas tersebut. Alat yang digunakan yaitu *Universal Testing Machine*. Pada awal pengujian tarik, nilai gaya tarik terukur nol karena *Universal Testing Machine* (UTM) akan mulai mencatat gaya tarik dari nol saat gaya mulai diaplikasikan secara perlahan pada kedua ujung spesimen. Seiring berjalannya waktu, mesin menarik spesimen secara bertahap, menyebabkan spesimen mulai meregang. Ketika tegangan mulai bekerja pada material, maka gaya tarik pun mulai tercatat, dan nilainya akan meningkat proporsional terhadap regangan sesuai dengan sifat elastis material. Nilai gaya meningkat seiring bertambahnya regangan akibat penarikan hingga tercapai gaya maksimum sebelum spesimen putus. Data yang didapatkan dari pengujian ini berupa grafik gaya tarik maksimum yang tercantum pada gambar dibawah ini :



Gambar 7 Grafik Perbandingan Hasil Uji Tarik Komposit Pulp Kertas dan Serat Kelapa

Setelah diperoleh nilai maksimum dari grafik hasil uji tarik, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan untuk menentukan besarnya nilai ketahanan tarik serta daya regang dari sampel yang diuji. Nilai-nilai tersebut kemudian dibandingkan dan dicocokkan dengan ketentuan yang terdapat dalam standar SNI-ISO 1924-2:2016 dengan menggunakan persamaan (4), (5), dan (6) sebagai acuan perhitungan. Untuk memberikan pemahaman yang lebih rinci, pada bagian berikut akan dijelaskan secara lebih jelas pembahasan mengenai setiap rasio yang diperoleh dari hasil uji tarik tersebut.

Tabel 5. Hasil Pengujian Tarik Kertas Komposit

Komposisi Komposit	Mx F _T (N/Cm)	Ketahanan Tarik (σ_T^b) kN/m	Indeks Tarik (σ_T^w)	Daya Regang (ϵ_T)%	Kesimpulan SNI-ISO 1924-2:2016	
					Ketahanan Tarik (Min 2.0 kN/m)	Daya Regang (Maks. 4.0%)
(0:100)	4.00	2.67	33.33	2.22	Memenuhi	
(20:80)	4.17	2.78	34.75	2.32	Memenuhi	
(30:70)	2.83	1.89	23.58	1.57	Tidak Memenuhi	
(40:60)	2.11	1.41	17.58	1.17	Tidak Memenuhi	

Berdasarkan hasil yang didapatkan ada rasio (0:100) ketahanan tarik yang diperoleh adalah 2.67 kN/m yang berarti memenuhi standar minimal 2.0 kN/m. Daya regang yang terukur pada rasio ini adalah 2.22% yang masih berada dalam batas maksimal 4.0%. Hasil ini menunjukkan bahwa material pada rasio ini memiliki ketahanan tarik yang baik dan masih memiliki elastisitas yang cukup sebelum putus. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa meskipun rasio (0:100) memenuhi fungsi dasar sebagai material berbasis kertas, ketahanan tariknya masih berada dalam kisaran yang rendah. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kekuatan mekaniknya, diperlukan modifikasi komposisi dengan menambahkan serat penguat atau bahan aditif lain yang dapat meningkatkan daya tahan terhadap tegangan tarik.

Pada rasio 20:80, ketahanan tarik yang diperoleh adalah 2.78 kN/m, sehingga tetap memenuhi standar minimal 2.0 kN/m. Daya regang yang terukur yaitu 2.32%, menunjukkan bahwa material ini lebih fleksibel dibandingkan rasio 0:100. Penambahan serat kelapa pada rasio ini mampu meningkatkan ketahanan tarik tanpa mengurangi fleksibilitas secara signifikan, menjadikannya sebagai rasio dengan performa paling optimal. Hal ini kemungkinan terjadi karena pada rasio tersebut, serat kelapa masih dapat terdistribusi secara merata di dalam matriks pulp kertas, membentuk struktur yang kuat serta mempertahankan kelenturan material secara efektif.

Hasil pengujian tarik pada komposisi rasio 30:70 menunjukkan bahwa nilai ketahanan tarik yang diperoleh adalah sebesar 1.89 kN/m. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan standar minimal ketahanan tarik yang ditetapkan dalam SNI-ISO 1924-2:2016, yaitu sebesar 2.0 kN/m, sehingga dapat dikatakan bahwa sampel pada rasio ini belum memenuhi persyaratan standar tersebut. Sementara itu, nilai daya regang yang terukur berada pada angka 1.57%, yang artinya masih tergolong aman karena berada dalam batas maksimal yang dipersyaratkan, yaitu 4.0%. Penurunan nilai ketahanan tarik ini memberikan indikasi bahwa peningkatan jumlah serat kelapa dalam komposisi mulai memberikan pengaruh negatif terhadap ikatan antarserat yang terbentuk di dalam struktur pulp kertas. Jumlah serat yang terlalu banyak cenderung menimbulkan distribusi yang tidak merata di dalam matriks kertas, sehingga mengurangi jumlah titik ikatan yang efektif. Akibatnya, kekuatan mekanis dari komposit yang dihasilkan mengalami penurunan dan tidak mampu mencapai standar yang diharapkan.

Sementara itu, pada rasio 40:60, ketahanan tarik yang dihasilkan adalah 1.41 kN/m, juga tidak memenuhi standar minimal ketahanan tarik. Daya regangnya adalah 1.17%, yang menurun cukup signifikan dibandingkan rasio sebelumnya. Komposisi ini menunjukkan bahwa dominasi serat kelapa dalam campuran mengakibatkan penurunan performa mekanik material secara keseluruhan. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh keterbatasan dalam kemampuan pulp kertas untuk mengikat serat kelapa dalam jumlah besar, sehingga membentuk struktur komposit yang lebih rapuh dan tidak homogen. Oleh karena itu, rasio 30:70 dan 40:60 tidak direkomendasikan untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan tarik yang tinggi.

Berdasarkan hasil pengujian, rasio 20:80 merupakan komposisi yang paling optimal karena memenuhi standar ketahanan tarik minimal 2.0 kN/m. Rasio ini menunjukkan performa terbaik dengan ketahanan tarik 2.73 kN/m dan daya regang 1.37%, yang cukup fleksibel tanpa mengurangi kekuatannya. Penambahan serat kelapa dapat meningkatkan kekuatan tarik hingga rasio tertentu, namun pada rasio yang terlalu tinggi ($\geq 30\%$), kualitas menurun akibat distribusi serat yang tidak merata. Pada rasio 20:80, serat kelapa berfungsi sebagai penguat yang menyebar merata dalam matriks kertas, sehingga mampu meningkatkan ketahanan tarik dengan membantu menahan beban. Sebaliknya, pada rasio 30:70 dan 40:60, distribusi serat tidak merata dan ikatannya dengan matriks kertas melemah. Akibatnya, beban tidak tersebar dengan baik dan kekuatan komposit menurun. Selain itu, campuran dengan kandungan serat kelapa yang tinggi menjadi kurang homogen dan menciptakan titik lemah dalam struktur kertas.

III. PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, uji sifat fisik dan mekanik kertas daur ulang dengan penambahan serabut kelapa menunjukkan hasil yang signifikan. Kertas dengan rasio (20:80) memiliki sifat mekanik terbaik, termasuk kekuatan tarik yang memenuhi standar (SNI 7274:2008) dan (SNI-ISO 1924-2-2016) dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku kertas ramah lingkungan. Hal ini disebabkan oleh distribusi serabut yang merata dan ikatan yang baik antara serabut dan matriks kertas, sehingga memberikan penguatan optimal. Namun, pada rasio serabut kelapa yang lebih tinggi (≥ 30), terjadi penurunan kualitas akibat distribusi serabut yang tidak merata dan ikatan yang kurang baik, sehingga mengurangi kekuatan tarik. Penelitian ini sejalan dengan upaya meningkatkan kualitas produk daur ulang dan memenuhi standar mutu yang sesuai dengan (SNI 7274:2008) dan (SNI-ISO 1924-2-2016).

B. Saran

Untuk memperdalam analisis, disarankan melakukan pengujian sifat mekanik lainnya, seperti uji sobek, uji lipat, dan uji ketahanan terhadap kelembapan, guna melihat lebih lanjut bagaimana material akan berperilaku dalam berbagai kondisi penggunaan.

DAFTAR PUSTAKA

- BSN. (2008). Kertas cetak A. *Standar Nasional Indonesia*, 7274, 1–6.
- Apriani, E., & Malik, J. A. (2019). Pembuatan kertas daur ulang dari limbah serat kelapa muda dan kertas bekas. *Prosiding Konferensi Nasional Engineering Perhotelan X*, 2019, 242–247.
- Elfaleh, I., Abbassi, F., Habibi, M., Ahmad, F., Guedri, M., Nasri, M., & Garnier, C. (2023). A comprehensive review of natural fibers and their composites: An eco-friendly alternative to conventional materials. *Results in Engineering*, 19(April), 101271. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101271>
- Iso, S. N. I. (2016). *H J*.
- Paskawati, Y. A., Susyana, Antaresti, & Retnoningtyas, E. S. (2020). Pemanfaatan tempurung kelapa sebagai bahan baku pembuatan kerta komposit alternatif. *Widya Teknik*, 9(1), 12–21.
- Saputra, A. Z., & Fauzi, A. S. (2022). Pengolahan Sampah Kertas Menjadi Bahan Baku Industri Kertas Bisa Mengurangi Sampah di Indonesia. *Jurnal Mesin Nusantara*, 5(1), 41–52. <https://doi.org/10.29407/jmn.v5i1.17522>
- Setiyani, & Yulistiana. (2023). Pemanfaatan Limbah Sabut Kelapa Sebagai Pewarna Alami Pada Kain Katun. *E-Journal Edisi Yudisium*, 12(1), 2–9.
- Sundari, E. M., Suhendra, & Apriani, W. (2020). Uji Kekuatan Tarik Kertas Daur Ulang Campuran. *Ilmiah Teknik Mesin*, 6(1), 28–33.
- Wiyanto, E., Harsono, B., Makmur, A., Pangputra, R., Julita, J., & Kurniawan, M. S. (2017). Penerapan Elektrokoagulasi Dalam Proses Penjernihan Limbah Cair. *Jetri : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 12, 19–36. <https://doi.org/10.25105/jetri.v12i1.1449>