



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 4 Nomor 4 Tahun 2024 Page 15253-15265

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

Analisis Sifat Fisik dan Mekanik *Brown Kraft Paper* Sebagai Material Kemasan Ramah Lingkungan

Gema Sukmawati Suryadi^{1✉}, Susiani¹

Politeknik Negeri Media Kreatif

Email: gema@polimedia.ac.id^{1✉}

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat fisik dan mekanik *brown kraft paper* dengan variasi gramatur sebagai material kemasan ramah lingkungan. Pengujian dilakukan pada kertas kraft dengan gramatur 80 g/m², 125 g/m², 150 g/m², dan 200 g/m² untuk mengukur sifat fisik (gramatur, ketebalan, dan *buk*), sifat tarik (*tensile properties*), dan sifat sobek (*tearing properties*) pada dua arah, yaitu *Machine Direction* (MD) dan *Cross Direction* (CD). Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketebalan kertas kraft meningkat seiring peningkatan gramatur, dengan *buk* yang stabil di sekitar nilai 1,35 hingga 1,40 cm³/gram. Pengujian *tearing properties* menunjukkan peningkatan *tear strength* dan *tear index* yang signifikan seiring bertambahnya gramatur, dengan arah CD memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan MD. Pada pengujian sifat tarik, *tensile index* dan *tensile stiffness* mencapai nilai optimal pada gramatur 150 g/m² di arah MD, namun menunjukkan penurunan pada gramatur 200 g/m². *Modulus elastisitas* juga bervariasi dengan tren peningkatan pada gramatur tertentu. Berdasarkan hasil tersebut, kertas kraft dengan gramatur 150 g/m² dianggap memiliki keseimbangan optimal antara kekuatan tarik, kekakuan, dan ketahanan sobek, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi kemasan yang membutuhkan daya tahan tinggi.

Kata Kunci: *Kertas Kraft, Sifat Mekanik, Ketebalan, Gramatur, Kekuatan Tarik, Kekuatan Sobek.*

Abstract

This study aims to analyze the physical and mechanical properties of brown kraft paper with variations in grammage as an environmentally friendly packaging material. Tests were conducted on kraft paper with grammages of 80 g/m², 125 g/m², 150 g/m², and 200 g/m² to measure physical properties (grammage, thickness, and bulk), tensile properties, and tearing properties in two directions, namely Machine Direction (MD) and Cross Direction (CD). The test results show that the thickness of kraft paper increases as the grammage increases, with the bulk stabilizing around the value of 1.35 to 1.40 cm³/gram. Tearing properties testing showed a significant increase in tear strength and tear index as grammage increased, with the CD direction having higher values than MD. In tensile properties testing, tensile index and tensile stiffness reached optimal values at 150 g/m² grammage in the MD direction, but showed a decrease at 200 g/m² grammage. The modulus of elasticity also varied with an increasing trend at certain grammages. Based on these results, kraft paper with a grammage of 150 g/m² is considered to have an optimal balance between tensile strength, stiffness and tear resistance, making it an ideal choice for packaging applications that require high durability.

Keyword: Kraft Paper, Mechanical Properties, Thickness, Grammage, Tensile Strength, Tearing Strength.

PENDAHULUAN

Kertas kraft atau *Kraft Paper* adalah bahan berbasis serat selulosa yang dikenal dengan elastisitasnya yang tinggi, tahan sobek, dan tahan lama, sehingga ideal untuk berbagai aplikasi pengemasan, termasuk tas belanja dan kotak bergelombang (Rachtanapun et al., 2022). Sifatnya yang ramah lingkungan, seperti dapat didaur ulang, terbarukan, dan dapat terurai secara hayati, semakin meningkatkan daya tariknya dibandingkan dengan bahan alternatif yang bersifat sintetis (Gurav et al., 2003; Rachtanapun et al., 2022). Dalam industri pengemasan, kertas kraft sering digunakan untuk memproduksi kantong untuk semen, tepung, dan biji-bijian, serta untuk kemasan pelindung peralatan elektronik (Gençer et al., 2022; Gurav et al., 2003). Selain itu, kemajuan dalam metode pengolahan, seperti pengolahan plasma, telah meningkatkan ketahanan air dan sifat mekaniknya, sehingga cocok untuk kemasan makanan dan aplikasi lain yang membutuhkan daya tahan yang lebih baik (Li et al., 2021; Rachtanapun et al., 2022). Kemampuan material untuk mempertahankan integritas struktural di bawah paparan sinar UV juga mendukung penggunaan jangka panjangnya dalam solusi pengemasan luar ruangan (Gençer et al., 2022). Secara keseluruhan, kombinasi kekuatan, manfaat lingkungan, dan keserbagunaan kertas kraft membuatnya menjadi pilihan utama dalam industri pengemasan.

Analisis terhadap sifat mekanik *brown kraft paper* (kertas kraft) terutama sifat tarik dan robeknya, sangat penting untuk memahami kinerja kertas dalam berbagai aplikasi, seperti

kemasan dan bahan konstruksi. Sifat tarik, yang meliputi kekuatan tarik (*tensile strength*) dan elongasi (*elongation*), sangat penting untuk menentukan kemampuan kertas untuk menahan gaya yang mencoba menariknya terpisah atau terputus. Selain itu, ketahanan sobek (*tearing resistance*) juga berperan penting menentukan daya tahan dan keandalan kertas dalam penggunaan praktis. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sifat tarik kertas kraft secara signifikan dipengaruhi oleh ikatan serat dan struktur jaringan. Misalnya, proses pemurnian meningkatkan ikatan antar serat, sehingga meningkatkan kekuatan tarik dan elongation lembaran kertas kraft, meskipun pemanjangan serat individu mungkin tidak meningkat secara proporsional (Kouko et al., 2019). Selain itu, pencampuran pulp yang berbeda, seperti kayu putih dan pinus, dapat secara sinergis meningkatkan kekuatan tarik dan sifat mekanik lainnya, menunjukkan pentingnya komposisi serat dalam mengoptimalkan kinerja kertas kraft (Felipe Freire Pego & Kaji Yasumura, 2022).

Sifat ketahanan sobek kertas juga penting karena menentukan kemampuan kertas untuk menahan propagasi robekan. Penelitian telah menunjukkan bahwa modifikasi kimia, seperti yang melibatkan sistem NaCl/H₂O, dapat secara signifikan meningkatkan indeks sobekan kertas kraft, menunjukkan peningkatan ketahanan terhadap robek (Awada et al., 2015). Secara keseluruhan, sifat mekanik kertas kraft, terutama sifat tarik dan robek, sangat penting untuk penerapannya di berbagai industri. Sifat-sifat ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti komposisi serat, proses pemurnian, dan modifikasi kimia, yang dapat dimanipulasi secara strategis untuk meningkatkan kinerja. Memahami sifat-sifat ini memungkinkan pengembangan kertas kraft dengan karakteristik khusus yang sesuai untuk aplikasi tertentu, memastikan fungsionalitas dan daya tahan (Awada et al., 2015; Felipe Freire Pego & Kaji Yasumura, 2022; Kouko et al., 2019).

Sifat mekanis kertas kraft khususnya sifat tarik dan ketahanan sobek, secara signifikan dipengaruhi oleh gramatur (berat dasar) dan ketebalan kertas. Sifat tarik kertas kraft terkait erat dengan struktur jaringan serat dan ikatan antar serat. Studi menunjukkan bahwa kekuatan tarik merupakan fungsi dari panjang serat, *fiber curl*, dan *water retention value* (WRV), yang dipengaruhi oleh proses pemurnian dan sifat-sifat yang melekat pada pulp yang digunakan (Shallhorn & Gurnagul, 2010). Selain itu, *tensile energy absorption* (TEA) terkait dengan regangan dan kekuatan tarik yang dinormalisasi, yang dipengaruhi oleh karakteristik serat pada kertas (Shallhorn & Gurnagul, 2010). Ketebalan kertas memainkan peran penting dalam sifat mekaniknya. Penelitian menunjukkan bahwa agregat serat yang lebih tebal, atau flok, menunjukkan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan antiflok yang lebih tipis, meskipun memiliki porositas curah yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan berkontribusi pada kekuatan tarik yang lebih

besar (Villette et al., n.d.).

Gramatur dan ketebalan kertas kraft secara signifikan memengaruhi sifat mekanisnya. Kertas yang lebih tebal dengan jaringan serat yang dioptimalkan dan ikatan yang lebih baik menunjukkan sifat tarik dan ketahanan sobek yang lebih baik. Sifat-sifat ini dimodulasi lebih lanjut oleh proses pemurnian dan karakteristik spesifik pulp yang digunakan, menyoroti interaksi yang kompleks antara struktur kertas dan kinerja mekanik (Anjos et al., n.d.; Gülsoy & Kiliç Pekgözlü, 2019; Kouko et al., 2019; Shallhorn & Gurnagul, 2010; Villette et al., n.d.). Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisis terhadap sifat mekanik kertas kraft paper khususnya *tearing resistance* serta *tensile properties* dan mengetahui pengaruh perbedaan gramatur kertas kraft terhadap sifat mekaniknya.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kertas Brown Kraft Paper 80 gsm, 125 gsm, 150 gsm, dan 200 gsm. Pengujian sifat fisik kertas kraft yang dilakukan adalah gramatur (gram/m^2), ketebalan (mm) dan bulk (cm^3/gram) sesuai dengan SNI ISO 536:2010 tentang Kertas dan karton – Cara uji gramatur. Dilakukan pengujian sifat mekanik kertas yaitu ketahanan sobek kertas menggunakan *Micro-Computer Tearing Strength Tester* berdasarkan standar SNI ISO 1974:2016 tentang Kertas - Cara uji ketahanan sobek - Metode Elmendorf (ISO 1974:2012, IDT). Pengujian dilakukan terhadap sampel kertas pada arah MD (Machine Direction) dan arah CD (Cross Direction) dengan pengulangan sebanyak 10 kali. Data yang dihasilkan dari pengujian adalah *Tear Strength* (mN) dan *Tearing Factor* ($\text{mN.m}^2/\text{g}$).

Adapun pengujian sifat tarik kertas (*tearing properties*) kertas kraft dilakukan sesuai dengan standar SNI ISO 1924-2:2016 tentang Kertas dan karton - Cara uji sifat tarik - Bagian 2: Metode kecepatan elongasi tetap (20 mm/menit) menggunakan *Horizontal Tensile Tester*. Pengujian dilakukan terhadap sampel kertas pada arah MD (Machine Direction) dan arah CD (Cross Direction) dengan pengulangan sebanyak 10 kali. Data yang dihasilkan dari pengujian adalah *Tensile Strength* (kN/m), *Elongation* (%), *Elongation* (mm), *Tensile Energy Absorption* (J/m^2), *Tensile Energy Absorption Index* (J/kg), *Tensile Index* (Nm/g), *Tensile Stiffness* (kN/m), *E-modulus* (GPa), dan *Breaking Length* (km).



Gambar 1. *Micro-Computer Tearing Strength Tester* (A) dan *Horizontal Tensile Tester* (B)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Sifat Fisik Kertas

Pengujian gramatur dan ketebalan dilakukan terhadap seluruh sampel Kraft dengan variasi gramatur yaitu 80 gsm, 125 gsm, 150 gsm, dan 200 gsm. *Bulk* merupakan volume lembaran kertas dalam sentimeter kubik dibagi dengan massa lembaran kertas dalam gram, diukur pada kondisi standar. Hasil pengujian tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Uji Gramatur, Ketebalan, dan *Bulk* Kertas Kraft

Sampel	Gramatur (g/m ²)	Ketebalan (mm)	Bulk (cm ³ /gram)
Kraft 80	82.83 ± 0.55	114.40 ± 3.66	1.37
Kraft 125	129.86 ± 1.78	181.60 ± 7.72	1.40
Kraft 150	147.86 ± 2.07	199.10 ± 4.51	1.35
Kraft 200	200.69 ± 1.82	281.70 ± 7.92	1.40

Berdasarkan SNI 14-0440-2006 tentang Gramatur kertas dan karton, toleransi gramatur kertas di atas 60,00 gram/m² adalah sebesar ±4%. Seluruh data hasil uji pada Tabel 1 menunjukkan bahwa gramatur hasil pengujian seluruh sampel kertas sesuai dengan batas toleransi yang dapat diterima. Adapun kenaikan gramatur diikuti oleh peningkatan ketebalan, sesuai dengan ekspektasi dalam karakteristik material kertas. Sedangkan perubahan *bulk* tidak selalu linier. Terdapat sedikit penurunan di antara beberapa sampel, yang mungkin menunjukkan variasi dalam struktur serat atau proses produksi yang mempengaruhi volume relatif kertas. *Bulk* pada kertas mengacu pada volume atau ketebalan kertas relatif terhadap beratnya, yang merupakan sifat penting yang memengaruhi kesan, opasitas, dan kemampuan cetak kertas. Hal ini sering dimanipulasi

melalui penggunaan bulking agent, yaitu zat yang ditambahkan untuk meningkatkan ketebalan kertas tanpa menambah beratnya secara signifikan (Jin et al., 2010).

Pengujian Sifat Mekanik Kertas

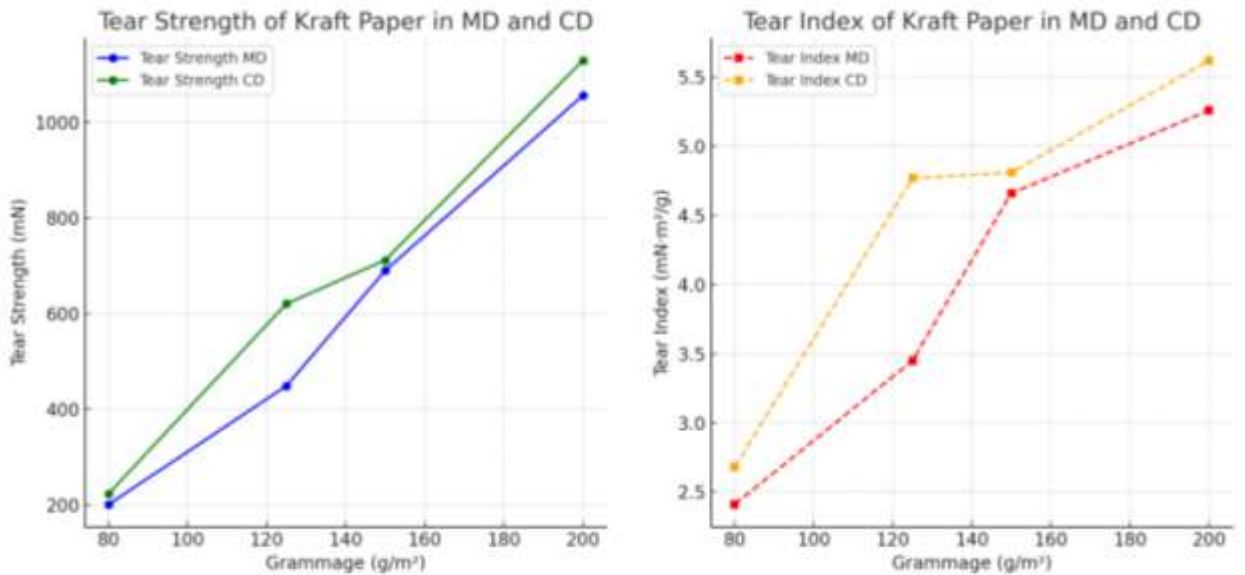
Sifat mekanis sangat penting karena memengaruhi kualitas kertas dan aplikasinya. Sifat mekanis merupakan kemampuan kertas untuk menahan aksi gaya eksternal. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian sifat mekanik kertas kraft berupa sifat yang berkaitan dengan sifat sobek (*tearing properties*) dan sifat Tarik (*tensile properties*). Sifat sobek meliputi kekuatan sobek (*tearing strength*) dan indeks sobek (*tearing index*), sedangkan sifat tarik meliputi kekuatan tarik (*tensile strength*), perpanjangan (*elongation*), penyerapan energi tarik (*tensile energy absorption*), indeks tarik (*tensile index*), kekakuan tarik (*tensile stiffness*), *E-modulus*, dan Panjang putus (*breaking length*).

Data hasil pengujian ketahanan sobek kertas kraft dengan variasi gramatur tercantum pada Tabel 2. Hasil uji menunjukkan bahwa rata-rata nilai kekuatan sobek (*tear strength*) dan indeks sobek (*tear index*) pada arah serat (MD) meningkat secara signifikan dengan peningkatan gramatur hingga 200 g/m² dan hal yang serupa terjadi pada arah lintang (CD). Peningkatan gramatur berpengaruh secara langsung terhadap kekuatan sobek dan indeks sobeknya. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Gülsoy (2016) yang menyatakan bahwa gramatur menurun dari 100 g/m² menjadi 50 g/m², indeks sobek juga menurun, mengindikasikan penurunan kekuatan sobek dengan gramatur yang lebih rendah (Gülsoy et al., 2016).

Tabel 2. Data Hasil Uji Kekuatan Sobek Kertas Kraft

Sampel	Tear Strength (mN)		Tearing Factor (mN.m ² /g)	
	Arah MD	Arah CD	Arah MD	Arah CD
Kraft 80	201.42	223.80	2.41	2.68
Kraft 125	449.21	620.80	3.45	4.77
Kraft 150	690.16	712.07	4.66	4.81
Kraft 200	1056.01	1129.00	5.26	5.62

Kertas yang disobek searah MD memiliki nilai *tear strength* yang lebih kecil dibandingkan dengan yang disobek searah CD. Hal ini disebabkan oleh orientasi serat dalam kertas, di mana serat-serat cenderung sejajar dengan MD, sehingga sobekan lebih mudah merambat di sepanjang arah tersebut. Sebaliknya, di CD, sobekan harus memutus lebih banyak serat, sehingga membutuhkan gaya yang lebih besar, menghasilkan *tear strength* yang lebih tinggi.



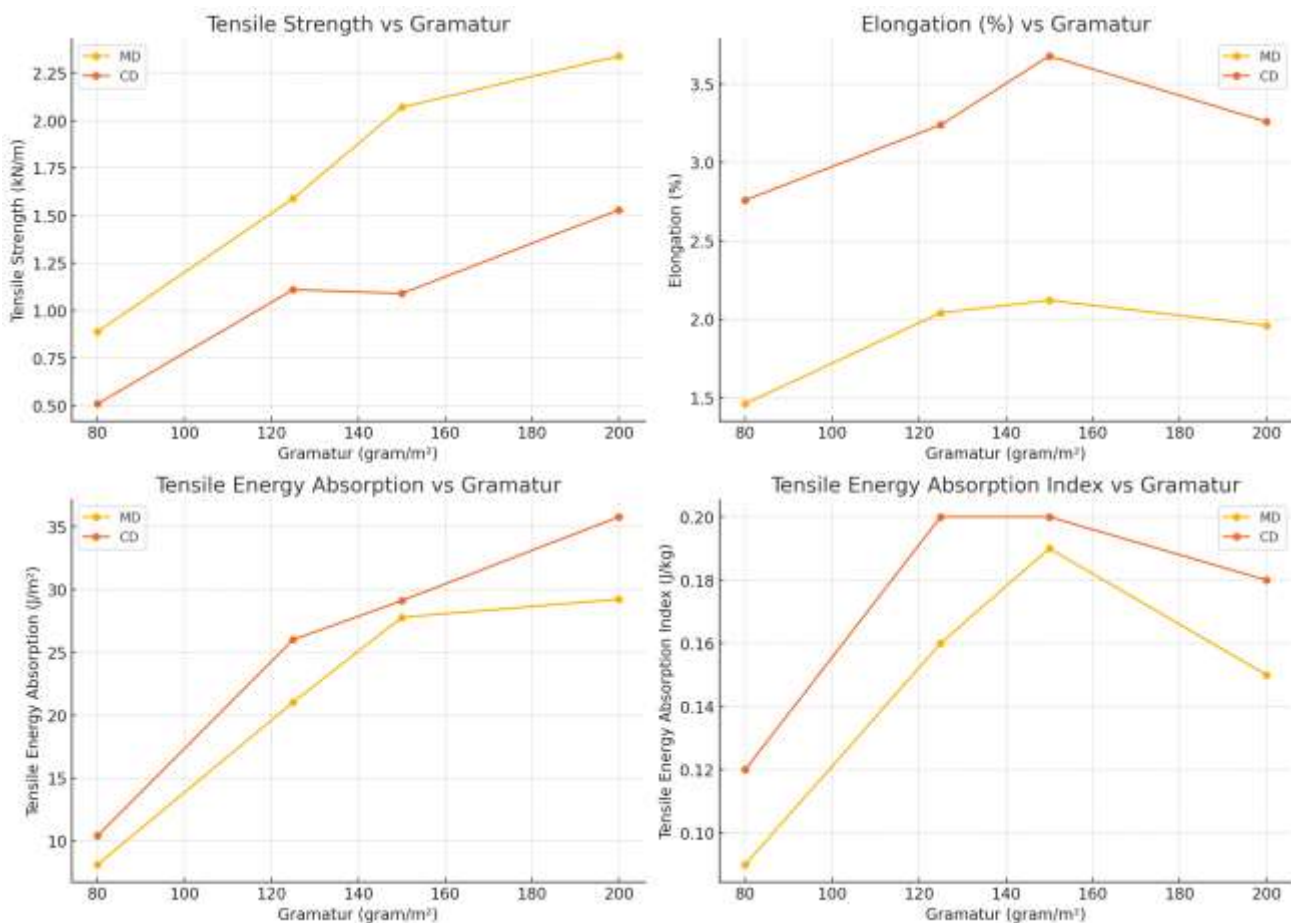
Gambar 1. Grafik Gramatur Kertas Kraft Terhadap *Tear Strength* dan *Tear Index*

Tear strength mengacu pada gaya yang diperlukan untuk melanjutkan sobekan yang sudah dimulai pada kertas. Hal ini menggambarkan ketahanan kertas terhadap sobekan, atau kemampuan kertas untuk menahan sobekan di bawah tekanan. Kekuatan sobek kertas kraft menjadi sangat penting dalam aplikasi kemasan, di mana kertas akan terkena stres fisik berupa sobekan yang memerlukan daya tahan tinggi. Adapun *tear index* adalah ukuran relatif yang menghubungkan *tear strength* dengan gramatur kertas. Indeks sobek dihitung dengan membagi kekuatan sobek dengan gramatur, memberikan nilai tanpa dimensi yang memungkinkan perbandingan antara kertas dengan ketebalan dan kepadatan yang berbeda (Asikainen & Korpela, 2014). Dengan kata lain, *tear strength* mengukur gaya yang diperlukan untuk merobek kertas, sedangkan *tear index* adalah kekuatan sobek yang dinormalisasi oleh gramatur kertas, memberikan pengukuran ketahanan sobek yang terstandarisasi (Miao et al., 2023).

Uji tarik (*tensile*) adalah salah satu uji *stress-strain* mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Dalam pengujiannya, spesimen uji ditarik sampai putus (Suryadi, 2017). Beberapa parameter sifat mekanik kertas yang dapat diketahui dengan uji tarik diantaranya *tensile strength*, *elongation*, *tensile energy absorption* (TEA), *tensile index*, *tensile stiffness*, *E-modulus*, *breaking length*. Data hasil uji *tensile strength*, *elongation* dan *tensile energy absorption* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Uji Sifat Tarik (Tensile Properties) Kertas Kraft

Sampel	<i>Tensile Strength</i> (kN/m)		<i>Elongation</i> (%)		<i>Elongation</i> (mm)		<i>TEA</i> (J/m ²)		<i>TEA Index</i> (J/kg)	
	Arah	Arah	Arah	Arah	Arah	Arah	Arah	Arah	Arah	Arah
	MD	CD	MD	CD	MD	CD	MD	CD	MD	CD
Kraft 80	0.89	0.51	1.46	2.76	2.62	4.97	8.12	10.41	0.09	0.12
Kraft 125	1.59	1.11	2.04	3.24	3.67	5.83	21.03	26.00	0.16	0.20
Kraft 150	2.07	1.09	2.12	3.68	3.82	6.63	27.78	29.10	0.19	0.20
Kraft 200	2.34	1.53	1.96	3.26	3.53	5.86	29.22	35.77	0.15	0.18



Gambar 2. Grafik Gramatur Kertas Kraft Terhadap *Tensile Strength*, *Elongation*, *TEA*, dan *TEA Index*

Tensile Strength (kekuatan tarik) mengukur gaya maksimum yang dapat ditahan oleh kertas kraft sebelum putus, per satuan lebar kertas. Ini adalah ukuran seberapa kuat kertas dapat menahan gaya tarik sebelum mengalami kerusakan. Nilai *Tensile Strength* kertas kraft meningkat dengan bertambahnya gramatur, baik untuk arah MD maupun CD. Namun, arah MD memiliki nilai *Tensile Strength* yang lebih tinggi dibandingkan CD. Hal ini menunjukkan bahwa kertas kraft lebih kuat ketika ditarik searah dengan orientasi serat kertas. Gramatur

yang lebih tinggi berkorelasi dengan peningkatan *tensile strength*, yang menggambarkan struktur kertas yang lebih padat dan lebih kuat. TEA kertas kraft berkaitan erat dengan kekuatan tarik dan regangan yang dinormalisasi, yang merupakan fungsi dari sifat serat, seperti panjang dan *curl* (Shallhorn & Gurnagul, 2010).

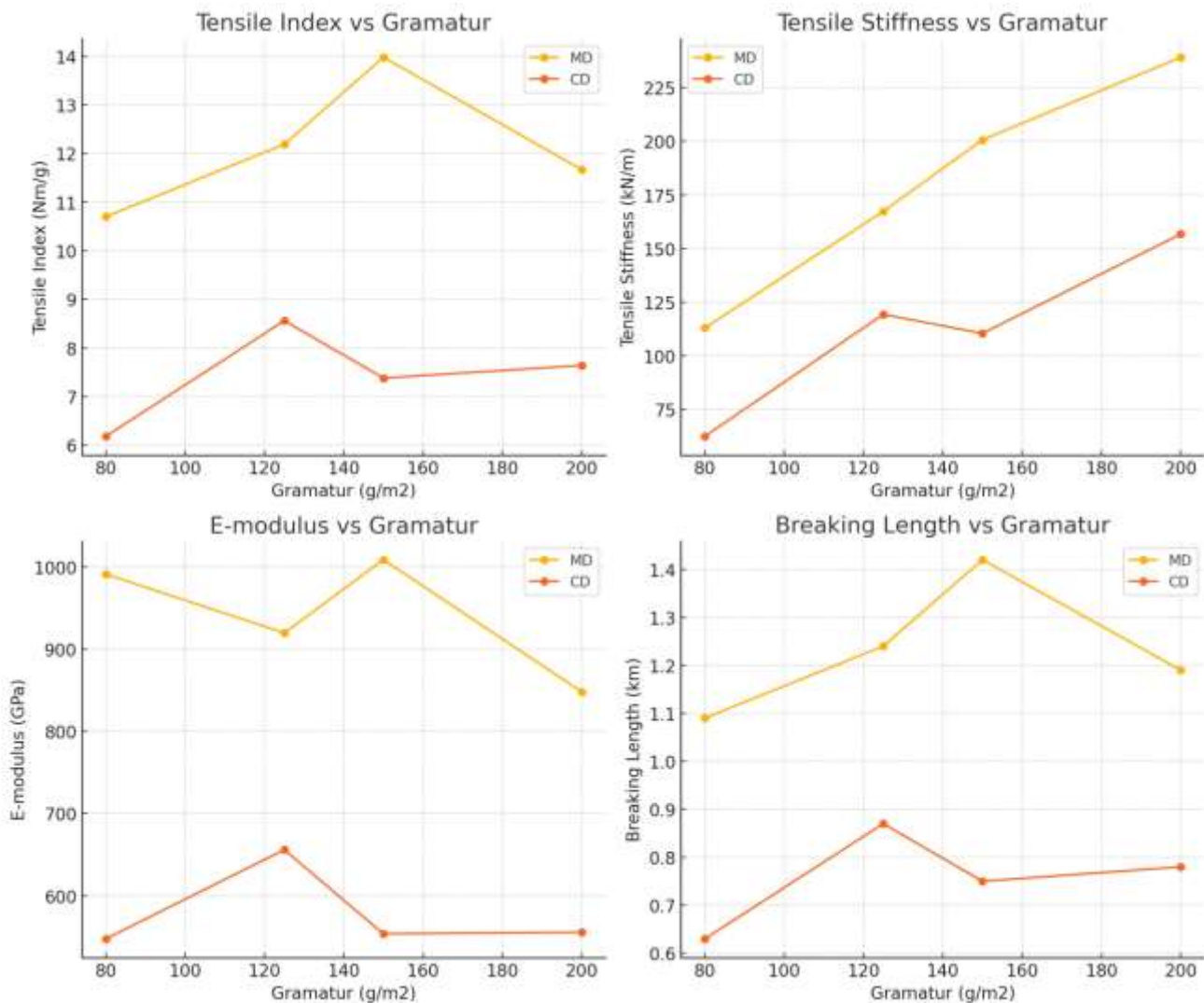
Adapun *elongation* mengukur seberapa banyak suatu material dapat meregang sebelum patah, dinyatakan dalam persentase dari panjang awal. Ini menunjukkan keuletan material yang penting dalam aplikasi kemasan. Jika jaringan serat kertas tidak terikat dengan baik maka akan terputus sebelum potensi perpanjangan penuh serat tercapai, sedangkan pada kertas dengan jaringan serat yang terikat dengan baik, serat berada di bawah tekanan yang lebih tinggi dan lebih tegang sebelum terjadi putus (Kouko et al., 2019). Persentase *elongation* kertas kraft pada arah CD lebih tinggi dibandingkan MD, yang menunjukkan bahwa kertas lebih lentur atau lebih mudah meregang saat ditarik melawan orientasi seratnya. Namun, pada gramatur yang lebih tinggi, nilai *elongation* untuk arah MD sedikit mendekati arah CD.

Tensile Energy Absorption (TEA) adalah energi yang diserap oleh kertas kraft per satuan luas selama proses penarikan hingga kertas tersebut putus. Ini adalah ukuran kemampuan kertas untuk menyerap energi sebelum mengalami kerusakan. Kertas dengan TEA yang tinggi menjadi kertas yang tangguh terhadap benturan (Shallhorn & Gurnagul, 2010). Adapun TEA indeks menunjukkan jumlah energi yang diserap oleh kertas per satuan massa dalam uji tarik. Parameter ini penting untuk mengevaluasi efisiensi kertas dalam menyerap energi dibandingkan dengan massanya. Kertas dengan gramatur yang lebih tinggi menunjukkan peningkatan signifikan dalam daya serap energi tarik (TEA) baik pada arah MD maupun CD, dengan nilai CD lebih tinggi daripada MD. Pola yang serupa juga terlihat pada TEA *index*, dengan arah CD menunjukkan sedikit keunggulan di sebagian besar sampel, meskipun perbedaannya tidak terlalu mencolok.

Selain itu, sifat tarik lain yang menjadi parameter kekuatan mekanik kertas kraft adalah *tensile index*, *tensile stiffness*, *e-modulus*, dan *breaking length* yang ditunjukkan pada Tabel 4. *Tensile index* merupakan nilai yang menunjukkan seberapa kuat kertas tersebut dalam menahan tarikan per satuan beratnya (gramatur). Pada arah MD, nilai *tensile index* kraft paper meningkat seiring dengan peningkatan gramatur hingga mencapai puncaknya pada gramatur 150 g/m² (13.98 Nm/g), kemudian mengalami penurunan pada gramatur 200 g/m² (11.67 Nm/g). Sedangkan pada arah CD, nilai *tensile index* bervariasi, dengan peningkatan 80 g/m² hingga 125 g/m², lalu menurun pada gramatur lebih tinggi.

Tabel 4. Data Hasil Uji *Tensile Index*, *Tensile Stiffness*, *Modulus*, dan *Breaking Length* Kertas Kraft

Sampel	<i>Tensile Index</i> (Nm/g)		<i>Tensile Stiffness</i> (kN/m)		<i>E-modulus</i> (Gpa)		<i>Breaking Length</i> (km)	
	Arah MD	Arah CD	Arah MD	Arah CD	Arah MD	Arah CD	Arah MD	Arah CD
	Kraft 80	10.70	6.18	112.99	62.44	991.06	547.73	1.09
Kraft 125	12.19	8.56	167.35	119.32	919.59	655.98	1.24	0.87
Kraft 150	13.98	7.38	200.70	110.42	1008.50	553.86	1.42	0.75
Kraft 200	11.67	7.64	239.15	156.74	848.03	555.81	1.19	0.78



Gambar 3. Grafik Gramatur Kertas Kraft Terhadap *Tensile Index*, *Stiffness*, *e-modulus*, dan *Beaking Length*

Tensile stiffness adalah kemampuan material untuk menahan deformasi elastis ketika diberikan gaya tarik. Dalam kertas, *tensile stiffness* menunjukkan kekakuan kertas terhadap tarikan, yang dihitung dari gradien kurva tegangan-regangan pada tahap elastisitas.

Semakin tinggi *tensile stiffness*, semakin sulit material mengalami deformasi elastis. Ila *tensile stiffness* meningkat signifikan dengan bertambahnya gramatur, menunjukkan bahwa kekakuan terhadap tarikan juga meningkat. Nilai tertinggi berada pada gramatur 200 g/m² (239.15 kN/m). Di sisi lain, *tensile stiffness* di arah MD jauh lebih tinggi daripada CD, menunjukkan dominasi orientasi serat dalam arah MD yang menghasilkan kekakuan lebih besar terhadap tarikan.

Modulus elastisitas, atau *E-Modulus*, menggambarkan rasio antara tegangan (*stress*) terhadap regangan (*strain*) dalam wilayah elastis. Nilai ini menunjukkan kekakuan intrinsik material. Semakin besar *E-modulus*, semakin kaku material tersebut. Dalam aplikasi kertas kraft, *E-modulus* memberikan informasi mengenai seberapa kaku serat-serat di dalam kertas ketika diberikan gaya tarik. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4, nilai *E-modulus* bervariasi, namun umumnya berkisar antara 848.03 GPa hingga 1008.50 GPa, dengan nilai tertinggi pada gramatur 150 g/m². Modulus elastisitas di arah MD lebih tinggi daripada arah CD, menunjukkan bahwa material lebih kaku di arah ini.

Breaking length adalah panjang teoritis yang dapat dicapai oleh suatu material jika digantung hanya oleh beratnya sendiri sebelum putus. Nilai *breaking length* kertas kraft pada arah MD bervariasi dari 1.09 km (80 g/m²) hingga 1.42 km (150 g/m²). Pada arah CD: nilai *breaking length* lebih rendah secara konsisten, menunjukkan kekuatan tarik yang lebih lemah.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa gramatur dan ketebalan kertas kraft berpengaruh signifikan terhadap sifat fisik dan mekanik material tersebut. Peningkatan gramatur diikuti dengan peningkatan ketebalan dan bulk, meskipun bulk tidak berubah secara linier. Pada pengujian sifat sobek menunjukkan bahwa *tear strength* dan *tear index* meningkat secara signifikan seiring peningkatan gramatur, dengan arah CD memiliki nilai lebih tinggi karena orientasi serat. Pengujian sifat tarik menunjukkan bahwa Kertas kraft dengan gramatur 150 g/m² menunjukkan keseimbangan optimal antara kekuatan tarik, kekakuan, dan ketahanan sobek, khususnya pada arah MD. Meskipun peningkatan gramatur umumnya meningkatkan sifat mekanik, gramatur yang terlalu tinggi (200 g/m²) justru menyebabkan penurunan performa mekanik pada beberapa parameter, seperti *tensile index* dan modulus elastisitas. Sifat-sifat ini menunjukkan bahwa kertas kraft dengan gramatur 150 g/m² menawarkan kombinasi terbaik antara kekuatan tarik dan ketahanan sobek, menjadikannya sangat sesuai sebagai material kemasan ramah lingkungan yang efisien dan tahan lama.

DAFTAR PUSTAKA

- Anjos, O., García-Gonzalo, E., Santos, A. J. A., Simões, R., Martínez-Torres, J., Pereira, H., & García-Nieto, P. J. (n.d.). *Using Apparent Density of Paper from Hardwood Kraft Pulps to Predict Sheet Properties, based on Unsupervised Classification and Multivariable Regression Techniques*.
- Asikainen, J. & Korpela, A. (2014). Tear and tensile strength development of PGW and CTMP pulps mixed with PLA or viscose fibres. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 29(2), 304-308. <https://doi.org/10.3183/npprj-2014-29-02-p304-308>
- Awada, H., Elchinger, P.-H., Faugeras, P.-A., Zerrouki, C., Montplaisir, D., Brouillette, F., & Zerrouki, R. (2015). Chemical Modification of Kraft Cellulose Fibres: Influence of Pretreatment on Paper Properties. In *Chem. modified kraft fibres* (Vol. 10, Issue 2).
- Felipe Freire Pego, M., & Kaji Yasumura, P. (2022). *Physical and Mechanical Properties of Papers Produced From Different Cellulosic Pulps Blending*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2257060/v1>
- Gençer, A., Can, A., Kurt, R., & Keşmer, C. (2022). NON-DESTRUCTIVE TESTING USING UV-INDUCED COLOUR CHANGES TO PREDICT MECHANICAL PROPERTIES OF KRAFT PACKAGING PAPER. *Drewno* , 65(210). <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.415.07>
- Gülsoy, S. K., Hürfikir, Z., & Turgut, B. (2016). Dövülmüş ve dövülmemiş kraft hamurlarının kağıt özellikleri üzerine azalan gramajın etkileri. *Turkish Journal of Forestry | Türkiye Ormanlık Dergisi*, 17(1). <https://doi.org/10.18182/tjf.15900>
- Gülsoy, S. K., & Kiliç Pekgözlü, A. (2019). Influence of fiber fractionation on kraft paper properties of European black pine and European aspen. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 43(2), 184–191. <https://doi.org/10.3906/tar-1605-46>
- Gurav, S. P., Bereznitski, A., Heidweiller, A., & Kandachar, P. V. (2003). Mechanical properties of paper-pulp packaging. *Composites Science and Technology*, 63(9), 1325–1334. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(03\)00104-0](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(03)00104-0)
- Jin, H., Okayama, T., & Ohtani, H. (2010). Influence of addition of bulking promoter on AKD-sizing performance. *Journal of Wood Science*, 56(2), 127–132. <https://doi.org/10.1007/s10086-009-1077-6>
- Kouko, J., Jajcinovic, M., Fischer, W., Ketola, A., Hirn, U., & Retulainen, E. (2019). Effect of mechanically induced micro deformations on extensibility and strength of individual softwood pulp fibers and sheets. *Cellulose*, 26(3), 1995–2012. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2163-y>
- Li, A., Shi, Y., Zhang, J., & Zhang, Y. (2021). Comparative Analysis Of The Physical And

- Mechanical Properties Of Kraft Paper And Watercolor Paper. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 23, 1–12. <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2021000100445>
- Miao, Y., Xiang, S., Wei, Y., Long, X., Qiu, J., & Miao, Y. (2023). Physical Properties of Pulp and Paper: A Comparison of Forming Procedures. *Forest Products Journal*, 73(2), 175–185. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-23-00007>
- Rachtanapun, P., Boonyawan, D., Auras, R. A., & Kasi, G. (2022). Effect of Water-Resistant Properties of Kraft Paper (KP) Using Sulfur Hexafluoride (SF6) Plasma Coating. *Polymers*, 14(18). <https://doi.org/10.3390/polym14183796>
- Shallhorn, P., & Gurnagul, N. (2010). A SEMI-EMPIRICAL MODEL OF THE TENSILE ENERGY ABSORPTION OF SACK KRAFT PAPER. In *BioResources* (Vol. 5, Issue 1).
- Suryadi, G. S. (2017). *KAJIAN MIKROSTRUKTUR, SIFAT TERMAL, MEKANIK, DAN PERMUKAAN BIODKOMPOSIT BERPENGUAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT*.
- Villette, F., Rolland, S., Roscoat, D. U., Dufour, F., Bloch, J.-F., Baroth, J., Carre, B., & Du, S. R. (n.d.). *Towards the link between structural and mechanical properties of fiber aggregates in paper materials*.