

# Pembuatan Bio Komposit Ramah Lingkungan dari Ampas Kopi dengan Menggunakan Resin Unsaturated Polyester

Luthfi<sup>1\*</sup>, Teuku Riyadhsyah<sup>2</sup>, Sumardi<sup>3</sup>, Azhar<sup>4</sup>, Hamdani<sup>5</sup>

<sup>1,3,5</sup> *Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA*

<sup>1\*</sup> *luthfi@pnl.ac.id (penulis korespondensi)*

<sup>2</sup> *Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA*

<sup>4</sup> *Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA*

**Abstrak**— Indonesia yang merupakan salah satu produsen kopi terbesar di dunia, memiliki potensi ampas kopi tidak terpakai yang sangat besar. Saat ini pemanfaatan ampas kopi belum dilakukan secara optimal dan banyak yang terbuang begitu saja tanpa ada pengolahan lebih untuk meningkatkan nilai ekonomisnya. Dalam studi ini, ampas kopi diujicoba untuk dapat digunakan dalam pembuatan komposit dengan menggunakan resin murah, terjangkau dan mudah didapat yaitu unsaturated polyester resin (UPR) dengan tujuan memberikan kontribusi dalam usaha mengolah limbah ampas kopi menjadi produk yang memiliki manfaat dan nilai ekonomis yang lebih tinggi. Pengaruh fraksi volume ampas kopi baik arabika ataupun robusta terhadap kekuatan komposit diuji dengan menggunakan variasi fraksi volume sebanyak 5 buah dari 10% hingga 50% untuk masing-masing ampas kopi arabika maupun robusta. Pengujian mekanik dilakukan dengan memotong semua papan komposit untuk setiap fraksi volume menjadi masing-masing tiga buah spesimen yang sesuai standar ASTM D638 untuk uji tarik dan ASTM C 1341-06 untuk uji tekuk. Hasil plot nilai rata-rata hasil uji kekuatan mekanik menunjukkan baik kekuatan tarik maupun kekuatan tekuk komposit menurun dengan meningkatnya fraksi volume ampas kopi dalam komposit. Komposit ampas kopi arabika 1.38 – 1.72 kg/mm<sup>2</sup> (kekuatan tarik) dan 2.08 – 2.72 kg/mm<sup>2</sup> (kekuatan tekuk) sedikit lebih kuat dari komposit ampas kopi robusta 1.23 – 1.42 kg/mm<sup>2</sup> (kekuatan tarik) dan 1.72 – 1.95 kg/mm<sup>2</sup> (kekuatan tekuk) pada fraksi volume yang rendah, 10% hingga 30%, sedangkan komposit ampas kopi robusta 0.58 – 0.75 kg/mm<sup>2</sup> (kekuatan tarik) dan 1.22 – 1.45 kg/mm<sup>2</sup> (kekuatan tekuk) sedikit lebih kuat dibandingkan komposit ampas kopi arabika 0.45 – 0.68 kg/mm<sup>2</sup> (kekuatan tarik) dan 0.47 – 1.19 kg/mm<sup>2</sup> (kekuatan tekuk) pada fraksi volume ampas kopi yang lebih tinggi, 40% - 50%.

**Kata kunci**— ampas kopi, arabika, robusta, unsaturated polyester resin, kekuatan tarik, kekuatan tekuk

**Abstract**— Indonesia as one of the largest coffee bean producers in the world, has huge potential for spent coffee ground (SCG) waste. Currently, the utilization of SCG has not been done optimally, and large quantities of the waste have been thrown away without any further processes to increase its economic value. In this study, SCG were trialled to be used in manufacturing composites by using cheap, affordable, and easy-to-obtain, unsaturated polyester resin (UPR) with the aim to contribute to the efforts in processing SCG into more useful products that have higher commercial value. The influence of SCG volume fraction in the composites was tested by using 5 different SCG volume fraction variations from 5% to 50% for each arabica and robusta SCG waste. The mechanical tests were conducted by cutting all composites into three specimens for each SCG volume fraction according to ASTM D638 for tensile tests and ASTM C 1341-06 for bending tests. The plot of the average values from the three specimens obtained from the mechanical tests shows that both tensile strength and bending strength decrease with increasing SCG volume fractions used in the composites, either arabica or robusta. The composites that used arabica SCG with tensile strength of 1.38 – 1.72 kg/mm<sup>2</sup> and bending strength of 2.08 – 2.72 kg/mm<sup>2</sup> have slightly larger mechanical strength compared to robusta composites with 0.58 – 0.75 kg/mm<sup>2</sup> (tensile strength) and 1.22 – 1.45 kg/mm<sup>2</sup> (bending strength) at lower SCG volume fractions, 10% to 30% while the composites that used robusta SCG have slightly larger tensile and bending strength values of 0.58 – 0.75 kg/mm<sup>2</sup> and 1.22 – 1.45 kg/mm<sup>2</sup> compared to arabica composites with 0.45 – 0.68 kg/mm<sup>2</sup> (tensile strength) dan 0.47 – 1.19 kg/mm<sup>2</sup> (bending strength) at higher SCG volume fractions, 40% - 50%.

**Keywords**— spent coffee grounds, arabica, robusta, unsaturated polyester resins, tensile strength, bending strength

## I. PENDAHULUAN

Kopi merupakan salah satu minuman yang paling banyak dikonsumsi di seluruh dunia. Total produksi biji kopi dunia pada tahun 2023 adalah 11.1 juta ton dimana Indonesia merupakan negara produsen kopi terbesar ketiga di dunia dengan total produksi 760 ribu ton [1]. Tentu saja angka ini sangat besar sehingga potensi ampas kopi yang dapat dihasilkan dari baik dari kafe yang menyediakan kopi maupun dari rumah tangga cukup besar untuk tidak bisa diabaikan begitu saja.

Ampas kopi adalah sisa dari pembuatan minuman kopi, biasanya dibuang. Ampas kopi ini biasanya juga digunakan sebagai bahan bakar boiler pada pabrik pengolahan kopi [2]. Ampas kopi ini sebenarnya dapat dimanfaatkan untuk berbagai produk yang memiliki nilai ekonomis tinggi seperti adsorben [2] substrat untuk menumbuhkan jamur [3] sebagai anti oksidan

karena kandungan senyawa fenoliknya yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai industri makanan, kesehatan atau farmasi [4]. Ada banyak artikel dalam literatur telah merangkum potensi ampas kopi dalam berbagai macam industri [5] dan farmasi [6].

Kopi diolah dari biji kopi yang diperoleh dari tanaman kopi, yang pada dasarnya terdiri dari dua jenis yaitu kopi arabika dan kopi robusta. Kopi arabika berasal dari Etiopia yang tumbuh dengan baik pada ketinggian 600 – 2000 m sedangkan kopi robusta berasal dari Kongo tumbuh pada ketinggian yang lebih rendah [7]. Setelah buah kopi matang dipetik dan disortir, langkah pertama dalam pengolahan kopi adalah mengupas buah kopi dengan menggunakan pulper. Setelah itu biji kopi akan dijemur hingga kering. Setelah biji kopi kering maka kulit arinya akan dikupas dengan mesin huller. Biji kopi yang telah kering akan dipanggang dengan mesin roasting Biji kopi yang telah diroasting biasanya langsung dijual dan baru akan digiling

ketika dikonsumsi. Bubuk kopi dapat diseduh baik secara manual ataupun dengan menggunakan mesin. Bubuk sisa dari hasil penyeduhan kopi inilah yang disebut ampas kopi dan biasanya dibuang begitu saja.

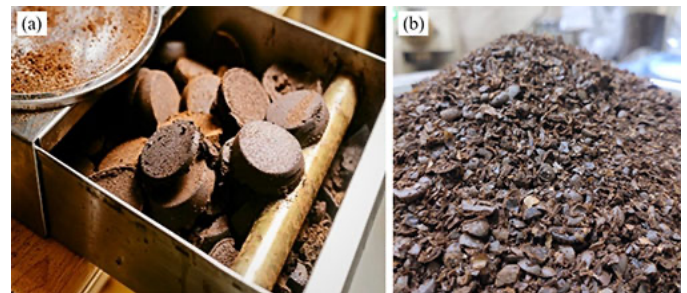
Penggunaan ampas kopi sebagai bahan pengisi dalam pembuatan komposit sebenarnya belum begitu umum dilakukan namun sudah ada beberapa studi yang ditemukan dalam literatur yang berkaitan dengan komposit ampas kopi. Yun et al. [8] melakukan uji coba memanfaatkan ampas kopi sebagai panel akustik yang dipasang pada plafon cafe untuk meredam kebisingan. Panel akustik dalam penelitian mereka dibuat dengan cara mengubah ampas kopi menjadi komposit dengan menggunakan metode hot press. Garcia dan Kim [9] melakukan studi kelayakan pembuatan komposit ampas kopi dengan menggunakan berbagai jenis polimer untuk dijadikan material pembungkus ramah lingkungan. Mereka merangkum penggunaan berbagai jenis matriks polimer dalam pembuatan komposit ampas kopi. Hal yang serupa juga dilakukan oleh Sel et al. [10] yang membuat panel akustik yang diletakkan pada plafon studio desain dengan mendaur ulang ampas kopi dan menjadi komposit menggunakan campuran tepung, cuka dan air sebagai perekat. Tuan dan Quang [11] meneliti penggunaan komposit ampas kopi untuk digunakan sebagai material pelindung api. Dalam penelitian mereka, biokomposit ampas kopi dibuat dengan menggunakan resin epoksi.

Jika ampas kopi dibuat menjadi komposit maka kan timbul pertanyaan apakah komposit ampas kopi bisa cukup kuat untuk digunakan? Ada beberapa studi komposit ampas kopi yang ditemukan dalam literatur yang meneliti berbagai sifat-sifat komposit ampas kopi terutama sifat mekaniknya. Wu et al. [12] membuat komposit dari ampas kopi dengan menggunakan perekat berbasis polipropilen (PP). Mereka melakukan berbagai uji pada komposit yang mereka buat seperti uji Fourier Transform Infra Red (FTIR) untuk mempelajari detail struktur kimia dari komposit, uji Scanning Electron Microscopic (SEM) untuk mempelajari detail struktur komposit, dan uji mekanis seperti uji tarik dan uji tekuk dari komposit. Suaduang et al. [13] mempelajari detail sifat fisik dan mekanik dari komposit ampas kopi yang dibuat dengan menggunakan pekat poly lactic acid (PLA). Mereka menemukan bahwa penambahan ampas kopi dapat mengurangi kerapuhan dan meningkatkan kelenturan dari komposit sehingga regangan dari komposit sebelum gagal dalam uji tarik menjadi meningkat. Hal yang berbeda ditemukan oleh Mendes et al. [14] dalam penelitian mereka. Komposit ampas kopi mereka dibuat dengan menggunakan prekat yang berbasis high density polyethylene (HDPE). Dari uji fisik dan mekanik yang mereka lakukan, mereka justru menemukan bahwa penambahan ampas kopi dapat meningkatkan kekakuan dari komposit sehingga akan mengurangi regangan komposit sebelum putus dalam uji tarik. Leow et al. [15] yang membuat komposit ampas kopi menggunakan resin epoksi, menemukan bahwa memang kekuatan mekanik dari komposit berkurang dengan meningkatnya persentase ampas kopi dalam komposit namun dengan menambahkan 10 pecimen 10e dalam komposit, maka kekuatan tarik dan kekuatan tekuk komposit akan meningkat. Yang et al. [16] yang juga membuat komposit ampas kopi dengan menggunakan resin epoksi juga menemukan bahwa peningkatan fraksi volume ampas kopi dalam komposit dapat menurunkan kekuatan mekanik. Mereka juga menemukan peningkatan ukuran partikel ampas kopi dalam komposit juga dapat menurunkan kekuatan dari komposit.

Komposit ampas kopi yang dibuat dalam artikel ini menggunakan matriks perekat unsaturated polyester resin (UPR) yang digunakan disesuaikan dengan ketersediaan, harga dan penggunaan. Studi literatur memang menemukan banyak komposit yang dibuat dari resin UPR namun untuk studi komposit ampas kopi belum ada yang pernah menggunakan resin UPR sebagai perekat, sehingga hal ini menjadi motivasi dari penulisan artikel ini.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Pembuatan komposit ampas kopi direncanakan untuk dikerjakan dalam beberapa tahapan yaitu mengumpulkan bahan baku ampas kopi; membuat komposit dari ampas kopi; dan membuat spesimen untuk diuji sifat mekanik. Detail dari metode dan teknik yang digunakan akan dijelaskan sebagai berikut.



Gambar 1. Bahan baku ampas kopi, (a) arabika dan (b) robusta

### A. Pengumpulan dan pengolahan bahan baku ampas kopi

Pengumpulan dan pengolahan bahan baku telah dilakukan saat penulisan proposal dan ampas kopi dalam penelitian ini dikumpulkan dari warung kopi di Kota Lhokseumawe. Ampas kopi arabika diambil dari warung kopi yang menggunakan mesin seduh kopi sedangkan ampas kopi robusta diambil dari warung yang menyediakan kopi saring manual. Ampas kopi ini memerlukan pengolahan terlebih dahulu. Pertama-tama, ampas kopi direndam dan dicuci untuk menghilangkan kotoran (Gambar 1(a)) lalu ampas kopi dijemur (Gambar 1(b)). Penjemuran berlangsung sekitar 5 hari panas atau jika cuaca agak mendung sekitar 1 minggu.



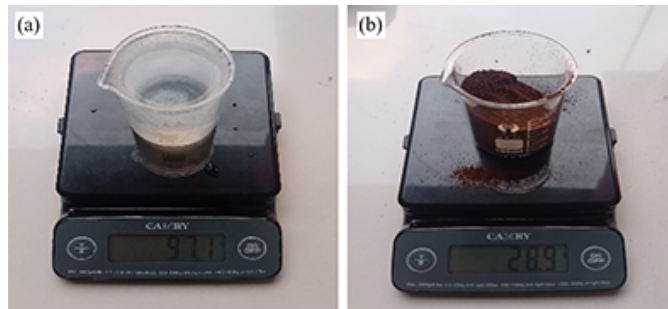
Gambar 2. Pengayakan ampas kopi, (a) sebelum diayak, (b) gumpalan dan kotoran, dan (c) setelah diayak.

Setelah benar-benar kering, ampas kopi baru kemudian diayak dan diproses lebih lanjut. Proses pengayakan perlu dilakukan karena setelah dijemur ampas kopi dapat menggumpal. (Gambar 2(a)). Gumpalan ini dapat menyebabkan komposit menjadi rapuh dan mudah patah [17]. Ampas kopi arabika sebenarnya sudah halus sehingga diayak menggunakan ayakan yang agak halus, mesh 45 namun untuk biji kopi robusta karena digiling secara tradisional, ampas kopinya kasar sehingga terlalu lama jika menggunakan ayakan yang halus dan hasil ayakannya juga sedikit. Untuk ampas kopi robusta digunakan ayakan mesh 20. Gumpalan ampas kopi yang tertangkap oleh ayakan (Gambar 2(b)) tidak dibuang dan

akan digiling untuk memecahkan gumpalan tersebut. Hasil pengayakan ampas kopi seperti pada Gambar 2(c) terlihat halus dan bebas dari gumpalan siap untuk digunakan untuk pembuatan komposit.

**B. Peralatan dan bahan untuk pembuatan komposit**

Bahan utama yang diperlukan untuk pembuatan komposit pada dasarnya adalah hanya ampas kopi kering dan matriks perekat resin UPR. Resin UPR digunakan dalam pembuatan komposit karena pertimbangan ketersediaannya yang mudah diperoleh di pasaran dan harganya yang terjangkau dibandingkan dengan resin jenis lainnya. Resin UPR ini cocok untuk penggunaan luar ruangan dan telah banyak digunakan oleh pengrajin lokal dan nelayan dalam membuat dan memperbaiki kapal ikan dan sudah terbukti kuat dan dapat diandalkan. Sifat-sifat mekanik dari resin UPR dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 3. Penentuan densitas (a) resin UPR dan (b) ampas kopi

Pengukuran densitas dilakukan dengan memasukkan resin UPR dan ampas kopi ke dalam gelas ukur sebanyak 100 ml kemudian massa dari UPR atau ampas kopi ditimbang dengan menggunakan timbangan digital. Densitas diperoleh dengan membagi massa yang diukur dengan volume nya yaitu 100 ml. Dari hasil pengukuran diperoleh densitas resin UPR dan ampas kopi sekitar  $\rho_{resin} = 0.98 \text{ gr/cm}^3$  dan  $\rho_{kopi} = 0.289 \text{ gr/cm}^3$ . Dalam penelitian, ada sekitar 5 buah papan komposit yang dibuat dengan fraksi volume ampas kopi yang digunakan divariasikan dari 10% hingga 60%

**D. Pembuatan komposit**

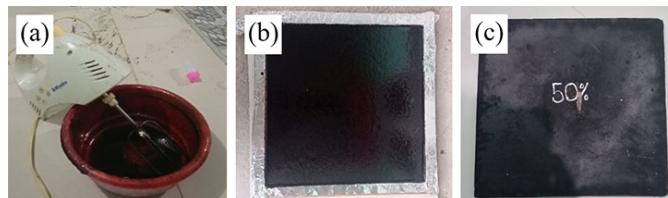
Proses pembuatan komposit dimulai dengan menyiapkan cetakan dan melapisinya dengan aluminium foil. Kemudian dilakukan penimbangan untuk mengukur jumlah resin UPR dan ampas kopi yang akan digunakan. Setelah itu, ampas kopi dan resin+katalis dicampur ke dalam suatu wadah dan diaduk pakai mixer (Gambar 4(a)). Campuran yang sudah tercampur rata kemudian dituangkan ke cetakan, diratakan dan dibiarkan sampai kering (Gambar 4(b)). Setelah kering, komposit dilepaskan dari cetakan dan dipotong untuk membuat spesimen (Gambar 4(c)).

Tabel 1. Sifat mekanik resin unsaturated polyester (UPR) [18]

Sifat Mekanik	Nilai	Satuan
Kerapatan	1.3 – 2	g/cm <sup>3</sup>
Tegangan Tarik Maksimum	33.5 – 70	Mpa
Regangan Saat Putus	0.5 – 5	%
Modulus Elastisitas	3.102 – 10.6	Gpa

Resin UPR yang tersedia di pasaran biasanya berupa cairan kental dimana ada yang berwarna bening dan ada juga yang berwarna merah. Ketika digunakan, resin UPR perlu ditambahkan katalis atau hardener yang biasanya dijual satu paket dengan resin UPR. Rasio penggunaan hardener untuk resin UPR berdasarkan rekomendasi dari pabrik pembuat resin adalah sekitar 10-20 ml untuk 1 kg resin. Untuk penelitian ini rasio hardener yang dipakai adalah 15 ml untuk 1 kg resin.

Karena sifat dari resin yang dapat mengeras pada temperatur ruang, maka proses pembuatan komposit hanya memerlukan cetakan saja, tanpa menggunakan peralatan penekan seperti hot press atau peralatan lain. Cetakan yang digunakan dibuat dari kayu berukuran 320 mm × 320 mm × 10 mm. Dalam penggunaannya, cetakan dilapisi dengan aluminium foil supaya permukaan yang dihasilkan rata dan licin. Peralatan-peralatan lain yang digunakan dalam proses pembuatan komposit dirangkum dalam Tabel 2.



Gambar 4. Proses pembuatan komposit, (a) resin dan ampas kopi diaduk pakai mixer, (b) komposit yang sudah dituang ke dalam cetakan, dan (c) hasil akhir komposit

Tabel 2. Peralatan yang dipakai dalam pembuatan komposit

No	Alat dan Bahan	Jumlah	Satuan
1	Ampas Kopi	Secukupnya	-
2	Resin UPR	8	kg
3	Katalis	16	botol, 10 ml
4	Cetakan	8	unit
5	Aluminium Foil	1	kotak
7	Mixer	1	unit
8	Wadah Penampung	1	unit
9	Timbangan	1	unit
10	Gerinda	1	unit

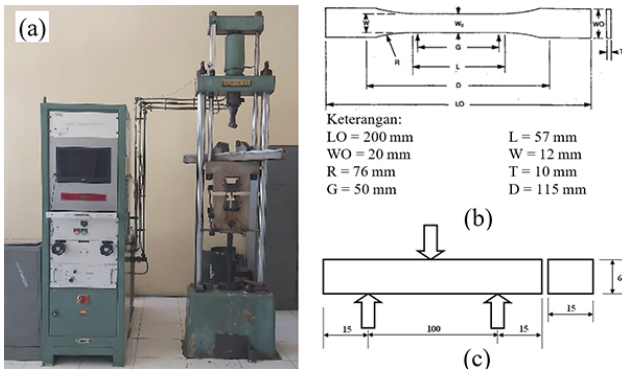
**C. Rasio campuran ampas kopi dan resin UPR dalam komposit**

Dalam pembuatan komposit, jumlah ampas kopi yang ditambahkan ke dalam resin UPR diukur berdasarkan fraksi volume [19]. Fraksi volume ini kemudian diubah menjadi massa berdasarkan densitas dari kedua bahan. Supaya lebih akurat, densitas dari resin UPR dan ampas kopi tidak diambil dari referensi ataupun data dari pabrik pembuat, melainkan diukur langsung. Hal dilakukan dengan pertimbangan resin bisa saja menguap ketika dalam transportasi dan ampas kopi bisa saja berbeda densitasna dengan data referensi jika kadar air ataupun ukuran partikel ampas kopi tidak sama.

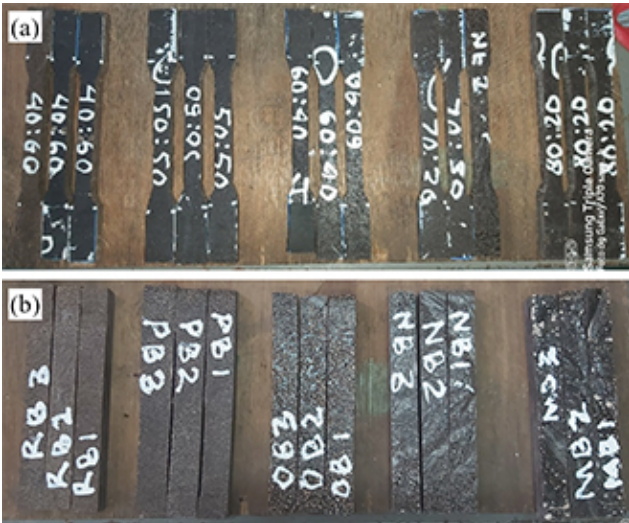
**E. Pengujian spesimen komposit**

Pengujian mekanik dilakukan pada Lab Uji Material Politeknik Negeri Lhokseumawe menggunakan alat uji Galdabini yang telah dimodifikasi dengan menggunakan sistem pengontrolan dan dokumentasi dari Universal Testing Machine (UTM) (Gambar 5(a)). Ada dua jenis pengujian mekanik yang dilakukan yaitu uji tarik yang dikerjakan berdasarkan standar ASTM D638 (Gambar 5(b)) dan uji tekuk yang dikerjakan berdasarkan standar ASTM C 1341-06 (Gambar 5(c)). Komposit yang sudah dipotong menjadi spesimen uji berdasarkan standar ini dapat dilihat pada Gambar 6.

Seperti yang terlihat pada Gambar 6, untuk setiap papan komposit yang dibuat, ada sekitar masing-masing 3 buah spesimen yang diuji. Nilai hasil uji yang diambil untuk diplot grafiknya adalah nilai rata-rata dari ketiga hasil pengujian untuk masing-masing fraksi volume ampas kopi yang digunakan untuk membuat komposit.



Gambar 5. Alat uji mekanik (a) Galdabini UTM, (b) spesimen uji tarik dan (c) uji bending



Gambar 6. Spesimen komposit, (a) uji tarik, dan (b) uji tekuk

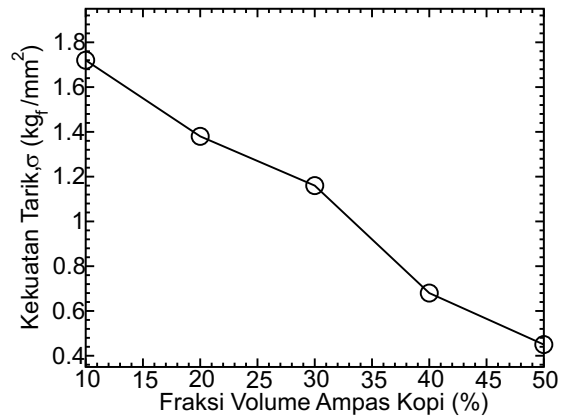
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengujian mekanik yang berjumlah tiga buah specimen untuk setiap fraksi volume ampas kopi yang digunakan untuk membuat komposit diambil nilai rata-ratanya dan kemudian nilai rata-rata tersebut diplot pada Gambar 7 dan 8 untuk uji tarik dan Gambar 9 dan 10 untuk uji tekuk.

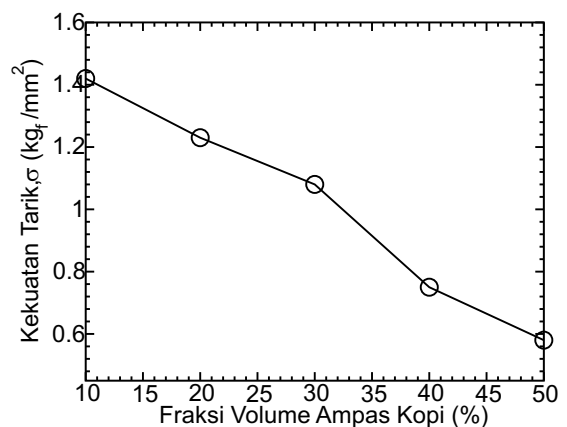
Grafik uji tekuk komposit ampas kopi baik kopi arabika seperti pada Gambar 7 ataupun kopi robusta seperti pada Gambar 8, menunjukkan kekuatan tarik menurun dengan meningkatnya fraksi volume ampas kopi di dalam komposit. Hal ini sejalan dengan berbagai penelitian komposit ampas kopi yang telah dilakukan sebelumnya [12–14,16]. Secara umum komposit ampas kopi arabika sedikit lebih tinggi kekuatan tariknya daripada komposit ampas kopi robusta pada fraksi volume 10% hingga 40%. Namun pada fraksi volume yang lebih tinggi sekitar 50%, komposit ampas kopi robusta sedikit lebih kuat tegangan tariknya daripada komposit ampas kopi arabika.

Grafik uji tekuk dari komposit ampas kopi seperti yang diplot pada Gambar 9 dan 10 menunjukkan pola yang hampir sama dengan grafik uji tarik. Kekuatan tekuk menurun dengan meningkatnya fraksi volume ampas kopi di dalam komposit. Hasil ini juga menunjukkan kesamaan dengan penelitian komposit ampas kopi dengan berbagai macam matriks penguat yang digunakan yang ditemukan dalam literatur [13,14,16]. Seperti halnya pada hasil uji tarik, kekuatan tekuk komposit ampas kopi arabika (Gambar 9) sedikit lebih besar pada komposit dengan fraksi volume yang rendah, 10% dan 20%. Untuk fraksi volume 30% baik komposit ampas kopi arabika (Gambar 9) ataupun robusta (Gambar 10) menunjukkan kekuatan tekuk yang hampir sama. Untuk komposit dengan

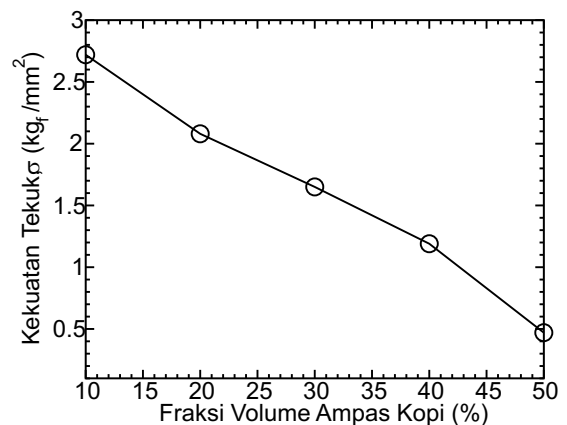
fraksi volume ampas kopi yang lebih tinggi 40% dan 50%, komposit ampas kopi robusta terlihat lebih besar kekuatan tekuknya.



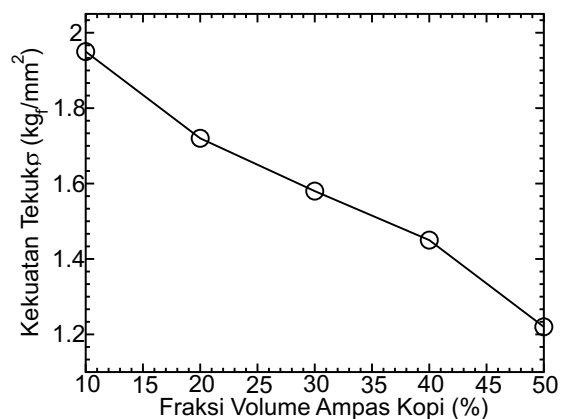
Gambar 7. Hasil uji tarik komposit ampas kopi arabika



Gambar 8. Hasil uji tarik komposit ampas kopi robusta



Gambar 9. Hasil uji tekuk komposit ampas kopi arabika



Gambar 10. Hasil uji tekuk komposit ampas kopi robusta

IV. KESIMPULAN

Pembuatan komposit dari hasil daur ulang ampas kopi arabika dan ampas kopi robusta dengan menggunakan resin unsaturated polyester (UPR) telah berhasil dilaksanakan. Lima buah papan komposit untuk masing-masing ampas kopi arabika dan ampas kopi robusta dengan fraksi volume 10% - 50% telah berhasil dibuat. Hasil uji mekanik dari tiga buah spesimen untuk masing-masing fraksi volume ampas kopi yang digunakan untuk membuat komposit menunjukkan, kekuatan tarik dan kekuatan tekuk komposit menurun dengan meningkatnya fraksi volume ampas kopi. Komposit ampas kopi arabika dengan 1.38 – 1.72 kgf/mm<sup>2</sup> (kekuatan tarik) dan 2.08 – 2.72 kgf/mm<sup>2</sup> (kekuatan tekuk) sedikit lebih kuat pada fraksi volume ampas kopi yang rendah, 10%-30%. Untuk fraksi volume ampas kopi yang lebih tinggi sekitar 40% - 50%, komposit ampas kopi robusta dengan 0.58 – 0.75 kgf/mm<sup>2</sup> (kekuatan tarik) dan 1.22 – 1.45 kgf/mm<sup>2</sup> (kekuatan tekuk) terlihat sedikit lebih kuat dari komposit ampas kopi arabika.

REFERENSI

- [1] "FAOSTAT." Retrieved 6 April 2025. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- [2] Franca, A. S., and Oliveira, L. S., "Coffee Processing Solid Wastes: Current Uses and Future Perspectives," *Agricultural wastes*, Vol. 9, 2009, pp. 155–189.
- [3] Blinová, L., Sirotiak, M., Bartošová, A., and Soldán, M., "Utilization of Waste from Coffee Production," *Vedecké Práce Materiálovotechnologickej Fakulty Slovenskej Technickej Univerzity v Bratislave so Sídrom v Trnave*, Vol. 25, No. 40, 2017, p. 91.
- [4] Stylianou, M., Agapiou, A., Omirou, M., Vyrides, I., Ioannides, I. M., Maratheftis, G., and Fasoula, D., "Converting Environmental Risks to Benefits by Using Spent Coffee Grounds (SCG) as a Valuable Resource," *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 25, 2018, pp. 35776–35790.
- [5] Franca, A. S., and Oliveira, L. S., "Potential Uses of Spent Coffee Grounds in the Food Industry," *Foods*, Vol. 11, No. 14, 2022, p. 2064.
- [6] Bevilacqua, E., Cruzat, V., Singh, I., Rose Meyer, R. B., Panchal, S. K., and Brown, L., "The Potential of Spent Coffee Grounds in Functional Food Development," *Nutrients*, Vol. 15, No. 4, 2023, p. 994.
- [7] "Varieties - NCA - About Coffee." Retrieved 8 April 2025. <https://www.aboutcoffee.org/beans/varieties/>
- [8] Yun, B. Y., Cho, H. M., Kim, Y. U., Lee, S. C., Berardi, U., and Kim, S., "Circular Reutilization of Coffee Waste for Sound Absorbing Panels: A Perspective on Material Recycling," *Environmental research*, Vol. 184, 2020, p. 109281.
- [9] Garcia, C. V., and Kim, Y.-T., "Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin as Potential Materials for Packaging: A Review," *Journal of Polymers and the Environment*, Vol. 29, No. 8, 2021, pp. 2372–2384.
- [10] Sel, E., and Gül, İ. D. Z. S., "From Waste to Design: The Potentials of Recycled Coffee, Tea Residue and Cardboard Cups as Acoustical Panels," 2023.
- [11] Nguyen, T. A., and Nguyen, Q. T., "Hybrid Biocomposites Based on Used Coffee Grounds and Epoxy Resin: Mechanical Properties and Fire Resistance," *International Journal of Chemical Engineering*, Vol. 2021, No. 1, 2021, p. 1919344.
- [12] Wu, H., Hu, W., Zhang, Y., Huang, L., Zhang, J., Tan, S., Cai, X., and Liao, X., "Effect of Oil Extraction on Properties of Spent Coffee Ground-Plastic Composites," *Journal of Materials Science*, Vol. 51, No. 22, 2016, pp. 10205–10214.
- [13] Suaduan, N., Ross, S., Ross, G. M., Pratumshat, S., and Mahasaranon, S., "Effect of Spent Coffee Grounds Filler on the Physical and Mechanical Properties of Poly (Lactic Acid) Bio-Composite Films," *Materials Today: Proceedings*, Vol. 17, 2019, pp. 2104–2110.
- [14] Mendes, J. F., Martins, J. T., Manrich, A., Luchesi, B. R., Dantas, A. P. S., Vanderlei, R. M., Claro, P. C., Neto, A. R. de S., Mattoso, L. H. C., and Martins, M. A., "Thermo-Physical and Mechanical Characteristics of Composites Based on High-Density Polyethylene (HDPE) e Spent Coffee Grounds (SCG)," *Journal of Polymers and the Environment*, Vol. 29, No. 9, 2021, pp. 2888–2900.
- [15] Leow, Y., Yew, P. Y. M., Chee, P. L., Loh, X. J., and Kai, D., "Recycling of Spent Coffee Grounds for Useful Extracts and Green Composites," *RSC advances*, Vol. 11, No. 5, 2021, pp. 2682–2692.
- [16] Yang, W., Chang, W., Zhang, J., Yeoh, G. H., Boyer, C., and Wang, C. H., "Effects of Waste Coffee Grounds on the Mechanical Properties, Flame Retardancy and Toxic Gas Production of Epoxy Composites," *Materials & Design*, Vol. 224, 2022, p. 111347.
- [17] Luthfi, L., Azhar, A., Harahap, J., Riyadhshyah, T., and Sumardi, S., "Pembuatan Material Pereduksi Panas Eco-Friendly Berbasis Komposit Dengan Memanfaatkan Ampas Sagu," *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, Vol. 11, No. 1, 2025, pp. 13–23.
- [18] Davallo, M., Pasdar, H., and Mohseni, M., "Mechanical Properties of Unsaturated Polyester Resin," *International Journal of ChemTech Research*, Vol. 2, No. 4, 2010, pp. 2113–2117.
- [19] Luthfi, L., "Tensile Strength and Morphology of Sago Pith Waste-Polyester Composites," Vol. 1149, 2025, pp. 23–29.