

OPTIMASI KOMPOSIT ABU SEKAM PADI DAN ABU AMPAS TEBU DENGAN MATRIKS WATERGLASS SEBAGAI COASTER TERHADAP KEKUATAN LENTUR DAN KETAHANAN AIR

Berliana Nurul Azzahra^{1*}, R Hari Setyanto²

^{1,2}Program Studi Teknik Industri, Universitas Sebelas Maret,
Jl. Ir. Sutarni No.36A, Jebres, Kota Surakarta, Jawa Tengah,
Indonesia, 57126

*Penulis Korespondensi: berliananurulazzahra@student.uns.ac.id, setyanto@staff.uns.ac.id

Abstract. *The use of agricultural waste as a composite constituent is relevant for developing low-cost and environmentally oriented functional products. Rice husk ash and sugarcane bagasse ash contain silica and can be used as fillers, while waterglass has potential as an inorganic binder. This study aims to analyze the effect of composition variations of rice husk ash, sugarcane bagasse ash, and waterglass on the flexural strength of a coaster composite and to evaluate water resistance at the optimum composition. Two compositions were tested: A1 with 40% rice husk ash, 20% sugarcane bagasse ash, and 40% waterglass, and A2 with 30% rice husk ash, 20% sugarcane bagasse ash, and 50% waterglass. Four specimens were prepared for each composition. Flexural testing was performed using a three-point bending method referring to ASTM D790, and water absorption was evaluated based on ASTM D570 principles after 4 h immersion. Data were analyzed using descriptive statistics, Shapiro-Wilk normality testing, homogeneity testing, and independent sample t-test. The A2 composition produced a higher average flexural strength of 2.84 MPa than A1 at 1.98 MPa, with a significant difference ($p = 0.011$). Water absorption at the optimum composition averaged 6.11%. These findings indicate that increasing waterglass content improves flexural performance, although surface protection is required to enhance water resistance for coaster applications.*

Keywords: *bagasse ash; rice husk ash; coaster; flexural strength; waterglass.*

Abstrak. Pemanfaatan limbah pertanian sebagai penyusun komposit relevan untuk pengembangan produk fungsional yang ramah lingkungan. Abu sekam padi dan abu ampas tebu memiliki potensi sebagai *filler* karena kandungan silikanya, sedangkan *waterglass* dapat digunakan sebagai matriks anorganik. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi komposisi abu sekam padi, abu ampas tebu, dan *waterglass* terhadap kekuatan lentur komposit sebagai material *coaster*, serta mengevaluasi ketahanan air pada komposisi terbaik. Penelitian menggunakan dua variasi komposisi, yaitu A1 berupa 40% abu sekam padi, 20% abu ampas tebu, dan 40% *waterglass* serta A2 berupa 30% abu sekam padi, 20% abu ampas tebu, dan 50% *waterglass*. Setiap komposisi dibuat sebanyak empat spesimen. Pengujian kekuatan lentur dilakukan dengan metode *three-point bending* mengacu pada ASTM D790, sedangkan pengujian ketahanan air mengacu pada prinsip ASTM D570 dengan perendaman selama 4 jam. Data dianalisis menggunakan statistik deskriptif, uji normalitas *Shapiro-Wilk*, uji homogenitas, dan *independent sample t-test*. Hasil menunjukkan komposisi A2 menghasilkan rata-rata kekuatan lentur 2,84 MPa, lebih tinggi dibandingkan A1 sebesar 1,98 MPa, dengan perbedaan signifikan ($p = 0,011$). Rata-rata daya serap air pada komposisi optimal sebesar 6,11%. Hasil ini menunjukkan peningkatan proporsi *waterglass* memperbaiki kekuatan lentur, tetapi perlindungan permukaan masih diperlukan untuk meningkatkan ketahanan air *coaster*.

Kata kunci: abu ampas tebu; abu sekam padi; *coaster*; kekuatan lentur; *waterglass*.

1. LATAR BELAKANG

Kebutuhan terhadap material alternatif yang ramah lingkungan semakin meningkat seiring dengan berkembangnya teknologi material dan perhatian terhadap pemanfaatan limbah. Komposit berbasis bahan alam banyak dikembangkan karena memiliki ketersediaan melimpah, densitas rendah, dan potensi mengurangi dampak lingkungan (Faruk *et al.*, 2012). Kamarudin *et al.* (2022) juga menjelaskan bahwa komposit berbahan alam berpotensi mendukung aplikasi industri yang lebih berkelanjutan.

Indonesia memiliki potensi limbah pertanian yang besar, termasuk sekam padi dan ampas tebu. Kedua limbah tersebut dapat diolah menjadi abu dan dimanfaatkan sebagai *filler* komposit. Abu sekam padi berpotensi sebagai *filler* karena memiliki kandungan silika tinggi (Pode, 2015). Hossain *et al.* (2018) menjelaskan bahwa abu sekam padi dapat menjadi sumber silika alternatif untuk pengembangan material. Selain itu, abu ampas tebu juga dapat digunakan sebagai *filler* pada komposit karet alam (Huabcharoen *et al.*, 2017). Boonmee dan Jarukumjorn (2020) menyatakan bahwa *silica nanoparticles* dari *sugarcane bagasse ash* dapat dimanfaatkan sebagai *filler* pada komposit karet alam.

Salah satu produk fungsional yang dapat dikembangkan dari komposit berbasis limbah pertanian adalah *coaster* atau tatakan gelas. *Coaster* dapat dibuat dari berbagai material, seperti kayu, karton, plastik, batu, atau material lainnya (Woods, 2015). Namun, plastik memiliki keterbatasan karena sulit terurai secara alami (United Nations Environment Programme, 2023). Kayu juga dapat mengalami perubahan dimensi akibat perubahan kadar air (Eckelman, 1998). Oleh karena itu, komposit berbasis abu sekam padi dan abu ampas tebu berpotensi menjadi alternatif material *coaster*.

Waterglass atau sodium silicate dapat digunakan sebagai matriks anorganik karena berperan sebagai pengikat serta memiliki stabilitas kimia dan termal yang baik (Ransil & Belcher, 2021). Namun, material berbasis sodium silicate masih memiliki kelemahan terhadap kelembapan karena air dapat memengaruhi jaringan ikatan silikat (Song *et al.*, 2021). Dengan demikian, komposit berbasis abu dan *waterglass* perlu diuji dari segi kekuatan lentur dan ketahanan air.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas pemanfaatan material serupa. Suhot *et al.* (2021) menjelaskan bahwa sekam padi banyak dikembangkan sebagai penguat komposit berbasis polimer sintesis. Wondmagegnehu (2023) menunjukkan bahwa kadar abu ampas tebu pada komposit *epoxy* berpengaruh terhadap sifat lentur,

kekerasan, dan penyerapan air. Silva *et al.* (2023) menggunakan sodium silicate sebagai pengikat pada komposit berbasis sekam padi dan serat *reed* untuk panel insulasi termal. Namun, kajian mengenai komposit *hybrid* abu sekam padi dan abu ampas tebu dengan matriks *waterglass* untuk aplikasi *coaster* masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi terhadap kekuatan lentur dan ketahanan air komposit sebagai material *coaster*.

2. KAJIAN TEORITIS

Komposit Berbasis Limbah Pertanian

Komposit merupakan material yang tersusun dari dua atau lebih fase, umumnya terdiri atas fase penguat atau pengisi dan fase matriks. Matriks berfungsi mengikat material pengisi, mendistribusikan beban, dan membentuk geometri produk, sedangkan *filler* berperan memperbaiki sifat tertentu, seperti kekakuan, kekuatan, atau stabilitas material (Callister & Rethwisch, 2020). Pada komposit berbasis bahan alam, kinerja mekanik sangat dipengaruhi oleh interaksi antara *filler* dan matriks, distribusi pengisi, porositas, serta proses pembentukan spesimen (Pickering *et al.*, 2016).

Abu sekam padi dan abu ampas tebu berpotensi digunakan sebagai *filler* karena memiliki kandungan silika. Hossain *et al.* (2018) menjelaskan bahwa abu sekam padi dapat menjadi sumber silika alternatif untuk pengembangan material. Huabcharoen *et al.* (2017) menunjukkan bahwa silika dari abu ampas tebu dapat dimanfaatkan sebagai *filler* penguat pada komposit karet alam. Boonmee dan Jarukumjorn (2020) juga menyatakan bahwa *silica nanoparticles* dari *sugarcane bagasse ash* dapat digunakan sebagai *filler* pada komposit karet alam.

Waterglass sebagai Matriks Anorganik

Waterglass atau sodium silicate merupakan bahan pengikat anorganik yang dapat membentuk jaringan silikat dan berperan sebagai matriks pada material komposit. Silva *et al.* (2023) menggunakan sodium silicate sebagai binder pada komposit berbasis sekam padi dan serat *reed* untuk aplikasi panel insulasi termal. Hal ini menunjukkan bahwa *waterglass* memiliki potensi sebagai pengikat pada material berbasis limbah pertanian.

Namun, sistem berbasis sodium silicate memiliki kelemahan terhadap kelembapan. Song *et al.* (2021) menjelaskan bahwa kelembapan dapat memengaruhi kualitas ikatan

pada sodium silicate binder. Oleh karena itu, komposit dengan matriks waterglass perlu dievaluasi tidak hanya dari aspek kekuatan mekanik, tetapi juga dari aspek ketahanan air.

Kekuatan Lentur dan Ketahanan Air

Kekuatan lentur menunjukkan kemampuan material menahan beban akibat pembebanan *bending* sebelum mengalami kerusakan. Pengujian lentur pada material plastik dan komposit umumnya dilakukan dengan metode *three-point bending* mengacu pada ASTM D790. Nilai kekuatan lentur dipengaruhi oleh beban maksimum, jarak tumpuan, lebar spesimen, dan tebal spesimen.

Ketahanan air pada komposit dapat dievaluasi melalui perubahan massa sebelum dan sesudah perendaman berdasarkan prinsip ASTM D570. Mohammed *et al.* (2023) menjelaskan bahwa *water absorption* pada *natural fiber reinforced polymer composites* dipengaruhi oleh karakteristik bahan penguat, kualitas ikatan antara *filler* dan matriks, serta struktur internal komposit. Pada aplikasi *coaster*, ketahanan air menjadi penting karena material berpotensi sering bersentuhan dengan cairan atau kelembapan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan membandingkan kekuatan lentur dua variasi komposisi komposit berbasis abu sekam padi, abu ampas tebu, dan *waterglass*. Variabel independen penelitian adalah variasi komposisi material, sedangkan variabel dependen adalah nilai kekuatan lentur dan daya serap air. Pengujian ketahanan air dilakukan hanya pada komposisi dengan nilai kekuatan lentur terbaik.

Material yang digunakan terdiri atas abu sekam padi sebagai dan abu ampas tebu sebagai *filler*, serta *waterglass* sebagai matriks komposit. Abu sekam padi dan abu ampas tebu disaring menggunakan ayakan *mesh* 100 untuk memperoleh ukuran partikel yang lebih seragam. Komposisi bahan yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Komposisi Komposit

Kode	Komposisi <i>Filler</i> : Matriks	Komposisi Bahan
A1	60% : 40%	40% ASP : 20% AAT : 40% WG
A2	50% : 50%	30% ASP : 20% AAT : 50% WG

Sumber: Data primer penelitian, 2026

Spesimen dibuat dengan mencampurkan abu sekam padi, abu ampas tebu, dan *waterglass* sesuai komposisi, kemudian dicetak menggunakan cetakan spesimen uji lentur. Spesimen dikeringkan pada suhu ruang hingga mengeras, dilepaskan dari cetakan, dan bagian tepi dirapikan. Masing-masing komposisi dibuat sebanyak empat spesimen untuk pengujian lentur, sehingga total spesimen uji lentur berjumlah delapan.

Pengujian kekuatan lentur dilakukan dengan metode *three-point bending* mengacu pada ASTM D790. Data hasil uji meliputi beban maksimum, jarak tumpuan, lebar spesimen, tebal spesimen, dan nilai kekuatan lentur. Nilai kekuatan lentur diverifikasi menggunakan persamaan $\sigma_f = 3PL/(2bd^2)$, dengan P sebagai beban maksimum, L sebagai jarak tumpuan, b sebagai lebar spesimen, dan d sebagai tebal spesimen.

Analisis statistik dilakukan menggunakan statistik deskriptif, uji normalitas *Shapiro-Wilk*, uji homogenitas, dan *independent sample t-test* pada taraf signifikansi 0,05. Komposisi dengan nilai rata-rata kekuatan lentur lebih tinggi dan menunjukkan perbedaan signifikan dipilih sebagai komposisi optimal. Pengujian ketahanan air pada komposisi optimal dilakukan berdasarkan prinsip ASTM D570 melalui pengukuran massa sebelum dan sesudah perendaman selama 4 jam. Persentase daya serap air dihitung menggunakan persamaan daya serap air = $[(W2 - W1)/W1] \times 100\%$, dengan W1 sebagai massa awal dan W2 sebagai massa setelah perendaman.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Kekuatan Lentur

Pengujian kekuatan lentur dilakukan terhadap dua komposisi komposit, yaitu A1 dan A2. Ringkasan hasil statistik deskriptif pengujian kekuatan lentur disajikan pada Tabel 2. Data menunjukkan bahwa komposisi A2 memiliki rata-rata kekuatan lentur lebih tinggi dibandingkan A1.

Tabel 2. Statistik Deskriptif Hasil Uji Kekuatan Lentur

Komposisi	N	Minimum (MPa)	Maksimum (MPa)	Rata-rata (MPa)	Standar Deviasi
40% ASP : 20% AAT : 40% WG	4	1,53	2,47	1,98	0,39
30% ASP : 20% AAT : 50% WG	4	2,59	3,13	2,84	0,28

Sumber: Data primer diolah, 2026

Berdasarkan Tabel 2, komposisi A2 menghasilkan rata-rata kekuatan lentur sebesar 2,84 MPa, sedangkan komposisi A1 menghasilkan rata-rata sebesar 1,98 MPa. Selisih

rata-rata sebesar 0,86 MPa menunjukkan bahwa kekuatan lentur A2 sekitar 43,43% lebih tinggi dibandingkan A1. Nilai standar deviasi A2 sebesar 0,28 juga lebih kecil dibandingkan A1 sebesar 0,39, sehingga hasil uji pada A2 lebih seragam.

Hasil uji normalitas *Shapiro-Wilk* menunjukkan nilai *p-value* lebih besar dari 0,100 pada kedua kelompok, sehingga data dinyatakan terdistribusi normal. Uji homogenitas menghasilkan *p-value* sebesar 0,594, yang menunjukkan bahwa varians kedua kelompok homogen. Berdasarkan *independent sample t-test*, diperoleh *p-value* sebesar 0,011. Nilai tersebut lebih kecil dari 0,05, sehingga terdapat perbedaan signifikan antara kekuatan lentur komposisi A1 dan A2. Dengan demikian, variasi komposisi berpengaruh terhadap kekuatan lentur komposit.

Pengaruh Komposisi terhadap Kekuatan Lentur

Peningkatan kekuatan lentur pada komposisi A2 dapat dikaitkan dengan proporsi *waterglass* yang lebih tinggi. Komposisi A2 memiliki rasio *filler* : matriks sebesar 50% : 50%, sedangkan A1 memiliki rasio 60% : 40%. Proporsi matriks yang lebih tinggi memungkinkan partikel abu terikat lebih baik, distribusi beban menjadi lebih efektif, dan struktur komposit menjadi lebih padat. Kondisi ini sesuai dengan konsep bahwa kinerja mekanik komposit berbasis bahan alam sangat dipengaruhi oleh kualitas interaksi antara *filler* dan matriks serta proses pembentukan komposit (Pickering *et al.*, 2016).

Sebaliknya, komposisi A1 memiliki proporsi *filler* yang lebih tinggi. Jumlah *filler* yang lebih banyak tanpa matriks yang cukup dapat meningkatkan risiko terbentuknya rongga dan menurunkan kualitas ikatan. Kondisi tersebut menyebabkan kemampuan material dalam menahan beban lentur menjadi lebih rendah. Oleh karena itu, komposisi A2 ditetapkan sebagai komposisi optimal berdasarkan hasil uji lentur dan analisis statistik.

Hasil Pengujian Ketahanan Air pada Komposisi Optimal

Pengujian ketahanan air dilakukan pada komposisi optimal, yaitu A2 dengan komposisi 30% ASP : 20% AAT : 50% WG. Ringkasan hasil pengujian ketahanan air disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Ringkasan Hasil Pengujian Ketahanan Air pada Komposisi Optimal

Komposisi optimal 30% ASP : 20% AAT : 50% WG	
Parameter	Nilai
Rata-rata massa sebelum perendaman	10,43 g
Rata-rata massa sesudah perendaman	11,07 g
Daya serap air minimum	5,69%
Daya serap air maksimum	6,64%
Rata-rata daya serap air	6,11%

Sumber: Data primer diolah, 2026

Tabel 3 menunjukkan bahwa seluruh spesimen mengalami peningkatan massa setelah perendaman selama 4 jam. Rata-rata massa spesimen meningkat dari 10,43 g menjadi 11,07 g, dengan rata-rata daya serap air sebesar 6,11%. Hasil ini menunjukkan bahwa komposit A2 masih memiliki kemampuan menyerap air meskipun menghasilkan kekuatan lentur terbaik.

Penyerapan air pada komposit dapat terjadi akibat adanya pori, celah antarmuka, atau distribusi partikel abu yang belum sepenuhnya rapat dalam matriks. Pada material berbasis *waterglass*, interaksi dengan kelembapan juga perlu diperhatikan karena air dapat memengaruhi jaringan ikatan silikat (Song *et al.*, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa material komposit A2 memiliki potensi sebagai *coaster* dari sisi kekuatan lentur, tetapi ketahanan airnya masih perlu ditingkatkan. Perbaikan dapat dilakukan melalui peningkatan homogenitas pencampuran, pepadatan spesimen, pengurangan porositas, atau pemberian lapisan pelindung pada permukaan material.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi komposisi abu sekam padi, abu ampas tebu, dan *waterglass* berpengaruh terhadap kekuatan lentur komposit. Komposisi 30% ASP : 20% AAT : 50% WG menghasilkan rata-rata kekuatan lentur sebesar 2,84 MPa, lebih tinggi dibandingkan komposisi 40% ASP : 20% AAT : 40% WG sebesar 1,98 MPa. Hasil *independent sample t-test* menunjukkan *p-value* sebesar 0,011, sehingga perbedaan kekuatan lentur kedua komposisi signifikan pada taraf 0,05. Berdasarkan hasil tersebut, komposisi 30% ASP : 20% AAT : 50% WG ditetapkan sebagai komposisi optimal.

Pengujian ketahanan air pada komposisi optimal menunjukkan rata-rata daya serap air sebesar 6,11% setelah perendaman selama 4 jam. Hasil ini mengindikasikan bahwa

komposit memiliki potensi sebagai material *coaster* dari aspek kekuatan lentur, tetapi masih memerlukan peningkatan ketahanan air agar lebih sesuai untuk penggunaan yang berpotensi kontak dengan cairan. Penelitian selanjutnya disarankan memperluas variasi komposisi, memperbaiki proses pencampuran dan pemadatan untuk menurunkan porositas, serta menguji penggunaan *coating* atau pelapis permukaan. Pengujian langsung pada prototipe *coaster* juga diperlukan untuk mengevaluasi performa material dalam bentuk produk akhir.

DAFTAR REFERENSI

- ASTM International. (2022). ASTM D570: Standard test method for water absorption of plastics.
- ASTM International. (2026). ASTM D790: Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials.
- Boonmee, A., & Jarukumjorn, K. (2020). Preparation and characterization of silica nanoparticles from sugarcane bagasse ash for using as a filler in natural rubber composites. *Polymer Bulletin*, 77(7), 3457-3472.
- Callister, W. D., Jr., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials science and engineering: An introduction* (10th ed.). John Wiley & Sons.
- Eckelman, C. A. (1998). The shrinking and swelling of wood and its effect on furniture. Purdue University Cooperative Extension Service. <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/fnr/fnr-163.pdf>
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., & Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010. *Progress in Polymer Science*, 37(11), 1552-1596.
- Hossain, S. S., Mathur, L., & Roy, P. K. (2018). Rice husk/rice husk ash as an alternative source of silica in ceramics: A review. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 6(4), 299-313.
- Huabcharoen, P., Wimolmala, E., Markpin, T., & Sombatsompop, N. (2017). Purification and characterization of silica from sugarcane bagasse ash as a reinforcing filler in natural rubber composites. *BioResources*, 12(1), 1228-1245.
- Kamarudin, S. H., Mohd Basri, M. S., Rayung, M., Abu, F., Ahmad, S. B., Norizan, M. N., et al. (2022). A review on natural fiber reinforced polymer composites (NFRPC) for sustainable industrial applications. *Polymers*, 14(17), 3698.
- KOHLSCHEIN GmbH & Co. KG. (2022). Product info & specifications: Coaster board.
- Mohammed, M., Jawad, A. J. A. M., Mohammed, A. M., Oleiwi, J. K., Adam, T., Osman, A. F., et al. (2023). Challenges and advancement in water absorption of natural fiber-reinforced polymer composites. *Polymer Testing*, 124, 108083.
- Pickering, K. L., Efendy, M. A., & Le, T. M. (2016). A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, 98-112.

- Pode, R. (2015). Potential applications of rice husk ash waste from rice husk biomass power plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1468-1485. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.051>
- Ransil, A., & Belcher, A. M. (2021). Structural ceramic batteries using an earth-abundant inorganic waterglass binder. *Nature Communications*, 12(1), 6494.
- Siagian, D. E. N., & Putra, M. H. S. (2024). Serat alam sebagai bahan komposit ramah lingkungan. *CIVeng: Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 5(1), 55-60.
- Silva, A., Gaspar, F., & Bakatovich, A. (2023). Composite materials of rice husk and reed fibers for thermal insulation plates using sodium silicate as a binder. *Sustainability*, 15(14), 11273.
- Song, L., Liu, W., Xin, F., & Li, Y. (2021). Study of adhesion properties and mechanism of sodium silicate binder reinforced with silicate fume. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 106, 102820.
- Suhot, M. A., Hassan, M. Z., Aziz, S. A. A., & Md Daud, M. Y. (2021). Recent progress of rice husk reinforced polymer composites: A review. *Polymers*, 13(15), 2391.
- United Nations Environment Programme. (2023, April 25). Everything you need to know about plastic pollution. <https://www.unep.org/news-and-stories/story/everything-you-need-know-about-plastic-pollution>
- Wondmagegnehu, B. T. (2023). Investigating the influence of sugarcane bagasse ash volume variation in glass fiber reinforced with epoxy resin matrix composite material. *Polymers and Polymer Composites*, 31, 09673911231196037.
- Woods, N. K. (2015). Beverage coaster (U.S. Patent Application Publication No. US20150182053A1). U.S. Patent and Trademark Office. <https://patents.google.com/patent/US20150182053A1/en>