

PENGARUH PERLAKUAN ALKALISASI TERHADAP SIFAT FISIK SERAT DAUN NANAS SEBAGAI PENGUAT KOMPOSIT STRUKTURAL UNMANNED AERIAL VEHICLE

Aliya Nur Aziza Eka Yuniar¹⁾, Ahmad Setyo Putra¹⁾, Dimas Setyo Prayogi²⁾

1) Program Studi Teknik Industri Universitas Negeri Malang

2) Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Malang

E-mail: aliya.nur.2305166@students.um.ac.id

Abstrak

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) membutuhkan material struktural yang ringan, kuat, serta stabil secara termal untuk mendukung operasional di lingkungan ekstrem. Serat daun nanas (SDA) memiliki potensi sebagai penguat komposit berkat kandungan selulosa dan kekuatan tarik yang tinggi, namun masih memiliki kelemahan berupa kestabilan termal rendah akibat sifat hidrofobiknya. Penelitian ini mengkaji karakteristik fisik SDA setelah perlakuan alkalisasi menggunakan larutan NaOH dengan konsentrasi 0–5%, serta mengusulkan kombinasi SDA dan serbuk cangkang telur (SCT) sebagai material komposit UAV. Parameter yang diuji meliputi yield, densitas, dan porositas. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi NaOH meningkatkan densitas serat dari 1,0256 g/cm³ (tanpa alkalisasi) menjadi 1,0718 g/cm³ (NaOH 5%), menandakan peningkatan kerapatan struktur. Yield optimal dicapai pada konsentrasi 5% dengan nilai 95,55%, sementara porositas menunjukkan nilai terendah sebesar 0,1628%. Berdasarkan hasil tersebut, perlakuan alkalisasi 5% dinyatakan sebagai kondisi terbaik untuk memperoleh SDA berkinerja tinggi dalam aplikasi komposit UAV.

Kata kunci: Komposit, Alkalisasi, Serat Daun Nanas, UAV.

Pendahuluan

Unmanned Aerial Vehicles (UAV) atau pesawat tanpa awak telah menjadi teknologi krusial di berbagai sektor, seperti militer, penginderaan jauh, logistik, dan pertanian[1]. UAV dirancang untuk mendukung operasi dengan efisiensi energi tinggi, daya jelajah yang luas, serta kemampuan beroperasi dalam kondisi lingkungan ekstrem, seperti suhu tinggi akibat gesekan udara dan paparan radiasi matahari[2]. Untuk memenuhi kriteria tersebut, dibutuhkan material struktur yang memiliki massa jenis rendah, kekuatan mekanik tinggi, serta kestabilan termal yang tinggi. Pengembangan material untuk UAV saat ini diarahkan pada komposit inovatif yang tidak hanya ringan dan kuat, tetapi juga ramah lingkungan serta layak secara ekonomi untuk produksi skala menengah hingga besar.

Material komposit berbasis serat alami telah banyak diteliti karena memiliki potensi unggul dalam penguatan struktural[3]. Serat rami dan serat kelapa, misalnya, diketahui memiliki kekuatan mekanik yang baik, tetapi masih terbatas pada aplikasi suhu tinggi karena konduktivitas termalnya yang rendah[4]. Serat daun nanas (SDA) dikenal sebagai salah satu serat alami unggulan dengan kandungan selulosa tinggi sebesar 70–82%, kekuatan tarik mencapai 290,61 MPa, serta modulus elastisitas yang baik[5]. Struktur mikrofibrilnya yang kecil memberikan kekuatan dan fleksibilitas mekanik yang memadai[6]. Meskipun demikian, SDA memiliki sifat hidrofobik yang rendah, yang menyebabkan peningkatan penyerapan kelembapan dan penurunan kestabilan termal[7]. Untuk mengatasi hal ini, digunakan serbuk cangkang telur (SCT) sebagai *filler* karena kandungan kalsium karbonatnya yang tinggi ($\pm 94\%$) yang telah terbukti secara signifikan meningkatkan sifat termal dan kekakuan pada material komposit[8].

Kombinasi serat daun nanas (SDA) dan serbuk cangkang telur (SCT) berpotensi menghasilkan material komposit yang ringan, kuat, dan tahan panas. Penentuan komposisi optimalnya memerlukan pendekatan sistematis, karena sebagian besar penelitian sebelumnya hanya menyoroti aspek mekanik tanpa mengevaluasi pengaruhnya terhadap sifat termal. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan metode optimasi yang mampu menangani respon multiobjektif. Metode Taguchi efektif dalam merancang eksperimen secara efisien, sedangkan *Grey Relational Analysis* (GRA)

mampu mengintegrasikan berbagai karakteristik respon. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan komposisi SDA dan SCT dengan pendekatan Taguchi–GRA untuk menghasilkan material struktural UAV yang unggul secara mekanik dan termal.

Material dan Metodologi

Material

Material yang digunakan pada penelitian ini mencakup serat daun nanas hasil pencacahan limbah pertanian lokal, serbuk cangkang telur (CAS: 471-34-1) dengan ukuran partikel mikrometer, resin epoxy tipe Bisphenol-A merk Resinex (CAS 25068-38-6) dan hardener poliamina merk Resinex (CAS 68410-23-1), larutan natrium hidroksida (NaOH) analisis (CAS 1310-73-2) sebagai agen alkalisasi, serta akuades sebagai media pelarut dan pencuci.

Preparasi Serat Daun Nanas (SDA)

Serat daun nanas dicuci bersih menggunakan akuades, dikeringkan di bawah sinar matahari selama 48 jam, lalu dicacah hingga panjang ± 5 cm. Selanjutnya dilakukan proses alkalisasi dengan perendaman dalam larutan NaOH selama 2 jam pada suhu ruang, menggunakan variasi konsentrasi 0%, 2%, 3%, 4%, dan 5% (b/v). Setelah perendaman, serat dibilas menggunakan akuades hingga mencapai pH netral, kemudian dikeringkan secara alami di bawah paparan sinar matahari selama 48 jam hingga mencapai kondisi kering sempurna.

Karakterisasi Serat Daun Nanas

Yield

Pengujian *yield* bertujuan untuk mengetahui efisiensi massa serat setelah perlakuan alkalisasi terhadap massa awal sebelum perlakuan. *Yield* menjadi indikator keberhasilan proses kimia dalam menghilangkan komponen non-selulosa seperti lignin dan hemiselulosa tanpa merusak struktur utama selulosa. Nilai *yield* dihitung menggunakan persamaan 1 berikut:

$$Yield(\%) = \frac{m_{akhir}}{m_{awal}} \times 100\% \quad (1)$$

di mana m_{awal} merupakan massa serat sebelum alkalisasi, dan m_{akhir} merupakan massa serat setelah pengeringan.

Densitas

Pengujian densitas bertujuan untuk menentukan nilai kepadatan serat daun nanas secara kuantitatif, yang merepresentasikan kerapatan struktur internal serat setelah perlakuan alkalisasi. Densitas yang tinggi menunjukkan struktur serat yang lebih padat dan terorganisir, serta memiliki potensi kekuatan mekanik lebih baik. Pengujian ini dilakukan berdasarkan prinsip perpindahan volume cairan, dengan cara mencelupkan sampel ke dalam gelas ukur berisi air dan mencatat selisih volume. Nilai densitas dihitung menggunakan persamaan 2:

$$Densitas = \frac{massa\ sampel}{volume\ akhir - volume\ awal} \quad (2)$$

Porositas

Pengujian porositas dilakukan untuk mengukur persentase volume pori dalam struktur serat terhadap volume totalnya. Porositas berpengaruh pada kemampuan serat dalam menyerap resin serta memengaruhi sifat mekanik dan termal dari komposit yang dihasilkan. Metode pengujian melibatkan perendaman serat dalam air dan penimbangan berat sebelum dan sesudah perendaman, serta perhitungan berdasarkan data densitas. Persentase porositas dihitung dengan menggunakan persamaan 3, 4, dan 5:

$$Volume\ pori = m_{basah} - m_{kering} \quad (3)$$

$$Volume\ total = \frac{m_{kering}}{\rho} \quad (4)$$

$$\text{Porositas}(\%) = \frac{\text{Volume pori}}{\text{Volume total}} \times 100\% \quad (5)$$

di mana m_{basah} adalah massa serat setelah perendaman, m_{kering} adalah massa awal serat kering, dan ρ adalah densitas serat.

Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi Serat Daun Nanas

Tabel 1. *Material Properties* Material Serat Daun Nanas Non Alkalisasi

Parameter	Nilai
Konsentrasi NaOH (c)	0%
Densitas	1,02564
Yield	100
Porositas	0,1541%

Tabel 2. *Material Properties* material Serat Daun Nanas alkalisasi 2%, 3%, 4%, 5%

Parameter	c=2%	c=3%	c=4%	c=5%
Densitas	1,04712	1,055966	1,06383	1,071811
Yield	97,222	90,408	93,76	95,552
Porositas	0,1846%	0,1755%	0,2002%	0,1628%

Eksperimen ini dilakukan untuk menilai dampak perlakuan alkalisasi terhadap sifat fisik serat daun nanas yang digunakan sebagai bahan penguat komposit. Serat disiapkan dalam dua kondisi: tanpa alkalisasi (0%) dan dengan perlakuan alkalisasi menggunakan larutan NaOH pada konsentrasi 2%, 3%, 4%, dan 5%. Pengujian dilakukan untuk mengukur nilai *yield*, densitas, dan porositas sebagai indikator performa fisik awal dari serat sebelum dikombinasikan dalam sistem komposit. Setiap parameter diukur secara teliti menggunakan metode gravimetri dan perpindahan volume untuk menjamin keandalan data.

Tabel 1 menyajikan karakteristik fisik serat daun nanas tanpa perlakuan alkalisasi (non-alkalisasi). *Yield* tercatat 100%, yang menunjukkan tidak ada kehilangan massa akibat perlakuan kimia. Densitas sebesar 1,0256 g/cm³, menandakan bahwa struktur serat masih mengandung komponen amorf seperti lignin dan hemiselulosa dalam jumlah tinggi. Nilai porositas tercatat 0,1541%, menunjukkan adanya rongga mikroskopis dalam struktur serat yang berpotensi mempengaruhi interaksi dengan matriks resin.

Tabel 2 menampilkan data lengkap hasil pengujian serat setelah perlakuan alkalisasi dengan konsentrasi NaOH 2%, 3%, 4%, dan 5%. *Yield* mengalami penurunan pada seluruh sampel akibat pelepasan senyawa non-selulosa, dengan nilai terendah pada konsentrasi 3% yaitu sebesar 90,41%. Namun, pada konsentrasi 4% dan 5%, *yield* kembali meningkat, masing-masing menjadi 93,76% dan 95,55%, menunjukkan bahwa struktur serat mulai stabil terhadap reaksi basa kuat.

Densitas mengalami kenaikan secara konsisten dari 1,0471 g/cm³ (2%) hingga 1,0718 g/cm³ (5%), menunjukkan bahwa struktur serat menjadi semakin rapat akibat berkurangnya fraksi komponen amorf. Peningkatan densitas ini merupakan indikasi positif terhadap kekuatan mekanik serat.

Porositas menunjukkan tren yang naik-turun. Nilai tertinggi tercatat pada konsentrasi 4% sebesar 0,2002%, menandakan bahwa pada konsentrasi ini, struktur mikropori terbentuk secara optimal. Namun, pada konsentrasi 5%, porositas justru menurun menjadi 0,1628%, kemungkinan disebabkan oleh kolaps sebagian pori akibat perlakuan kimia yang lebih kuat, sehingga menghasilkan struktur serat yang lebih padat.

Dengan mempertimbangkan ketiga parameter secara simultan, perlakuan dengan larutan NaOH 5% menghasilkan serat dengan kinerja paling optimal, yakni densitas tertinggi, *yield* tetap tinggi, dan porositas paling rendah. Oleh karena itu, konsentrasi 5% ditetapkan sebagai perlakuan terbaik untuk fabrikasi komposit berbasis serat daun nanas.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi, perlakuan alkalisasi dengan larutan NaOH terbukti memengaruhi sifat fisik serat daun nanas secara signifikan. Peningkatan konsentrasi NaOH menurunkan *yield* akibat pelepasan lignin dan hemiselulosa, namun pada konsentrasi 5% *yield* kembali meningkat menjadi 95,55%, menunjukkan kestabilan struktur serat terhadap reaksi basa. Densitas meningkat secara konsisten, menandakan struktur serat yang lebih padat dan berpotensi meningkatkan kekuatan mekanik komposit. Porositas menunjukkan nilai tertinggi pada konsentrasi 4%, namun kembali menurun pada konsentrasi 5% karena kemungkinan kolapsnya pori. Secara keseluruhan, konsentrasi NaOH 5% memberikan kombinasi sifat terbaik, yaitu densitas tertinggi, *yield* tinggi, dan porositas rendah. Oleh karena itu, perlakuan alkalisasi NaOH 5% direkomendasikan sebagai kondisi optimum untuk fabrikasi komposit struktural UAV berbasis serat daun nanas.

Daftar Pustaka

- [1] A. A. Laghari, A. K. Juman, R. A. Laghari, and H. Nawaz, "Unmanned aerial vehicles: A review," *Cognitive Robotics*, vol. 3, pp. 8–22, 2023, doi: 10.1016/j.cogr.2022.12.004..
- [2] V. R. A. Prakash, M. Bouchak, H. Alshahrani, and K. A. Juhany, "Synthesis and characterization of lightweight unmanned aerial vehicle composite building material for defense application," *Biomass Conv. Bioref.*, vol. 14, no. 24, pp. 31895–31906, Dec. 2024, doi: 10.1007/s13399-023-04736-2.
- [3] D. E. Natanael Siagian and M. H. Sedo Putra, "SERAT ALAM SEBAGAI BAHAN KOMPOSIT RAMAH LINGKUNGAN," *CIVeng*, vol. 5, no. 1, p. 55, Jan. 2024, doi: 10.30595/civeng.v5i1.17879.
- [4] I. G. Septyanang., R. D. Pramaditya, P. D. I. Rakhmadian, and Moch. R. P. Kurniawan, "Analisis Pembuatan Bio Komposit Dari Limbah Sampah," Jan. 10, 2023, *Open Science Framework*. doi: 10.31219/osf.io/mpytj.
- [5] M. Sethupathi, M. V. Khumalo, S. J. Skosana, and S. Muniyasamy, "Recent Developments of Pineapple Leaf Fiber (PALF) Utilization in the Polymer Composites—A Review," *Separations*, vol. 11, no. 8, p. 245, Aug. 2024, doi: 10.3390/separations11080245.
- [6] M. Daarol, M. J. Pepito, R. Jr. Polancos, and R. F. Sambong, "Properties of Fiber Cement Board Affected by AFPLF (Abaca Fiber and Pineapple Leaf Fiber)," *E3S Web of Conf.*, vol. 405, p. 04004, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202340504004.

- [7] S. Joshi and S. Patel, “Review on Mechanical and Thermal Properties of Pineapple Leaf Fiber (PALF) Reinforced Composite,” *Journal of Natural Fibers*, vol. 19, no. 15, pp. 10157–10178, Nov. 2022, doi: 10.1080/15440478.2021.1993487.
- [8] R. Barbaz-Isfahani, A. Khalvandi, T. Mai Nguyen Tran, S. Kamarian, S. Saber-Samandari, and J. Song, “Synergistic effects of egg shell powder and halloysite clay nanotubes on the thermal and mechanical properties of abacá/polypropylene composites,” *Industrial Crops and Products*, vol. 205, p. 117498, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.indcrop.2023.117498.