

Studi Eksperimental Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Kekuatan Tarik Serat Tunggal dan Ketahanan Robek Kain Tenun Serat Daun Nanas

Muftil Badri M^{1*}, Vrengky Roberto Silaban² & Mohammad Dalil³

^{1,2,3}) Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Indonesia

*Email: muftilbadri@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

The tensile strength and tear resistance of pineapple leaf fibre can be improved through the development of a new woven fabric product. This paper aims to experimentally investigate the effect of variations in alkali treatment using sodium hydroxide on the tensile strength of single fibres and the tear strength of pineapple leaf fibre woven fabrics. Alkaline treatment was carried out at sodium hydroxide concentrations of 2%, 4%, 8%, 10%, and non-alkaline. Alkali treatment of single pineapple leaf fibres affected the tensile strength. The results showed that single pineapple leaf fibres, with non-alkali treatment, had a tensile strength of 80 N/mm², and the 8% alkali treatment had the highest tensile strength of 108.57 N/mm². Alkali treatment of pineapple leaf fibres affects the tear force of woven fabrics made from pineapple leaf fibres. The results showed that non-alkali-treated woven fabrics had a tear force of 47.40 N, and the 8% alkali-treated woven fabrics had the highest tear force of 53.98 N. Single pineapple leaf fibres treated with 8% alkali contained 87.78% cellulose. This shows that alkali treatment of pineapple leaf fibres can increase the cellulose content, thereby improving the fibre's mechanical properties. At an alkali percentage of 10%, the mechanical properties decreased.

Keywords: Alkali Treatment, Sodium Hydroxide, Pineapple Leaf, Woven Fibre

PENDAHULUAN

Serat alami telah menjadi topik penelitian yang berkembang pesat di industri tekstil karena ketahanannya, dampak lingkungan, dan kinerja mekanik yang beragam [1]. Serat alami yang paling banyak digunakan sebagai bahan tekstil adalah serat kapas [2]. Kapas juga dikenal mudah untuk dicelup dan dapat digunakan dalam berbagai jenis kain, seperti katun, denim, dan kanvas. Namun, produksi kapas sering dikritik karena penggunaan pestisida dan air yang tinggi, yang menyebabkan munculnya alternatif serat kapas organik yang lebih ramah lingkungan [3]. Salah satu serat alami yang menjanjikan adalah serat daun nanas [4].

Nanas adalah tanaman tropis yang tumbuh subur di berbagai negara, terutama Indonesia [5]. Setiap tahun, produksi nanas menghasilkan jumlah limbah yang signifikan, termasuk daun yang tidak terpakai [6]. Namun, daun nanas memiliki potensi sebagai bahan baku serat untuk industri tekstil karena kekuatan tariknya yang tinggi dan ketahanan alaminya [7]. Pakaian yang terbuat dari serat alami, seperti serat daun nanas, dapat memberikan keunggulan kompetitif dibandingkan bahan sintesis [8]. Saat ini, banyak pakaian diproduksi menggunakan serat sintesis seperti poliester atau nilon, yang meskipun memiliki kekuatan mekanik yang baik, kurang ramah lingkungan dan kurang nyaman dibandingkan serat alami [5]. Penggunaan serat alami tidak hanya mengurangi dampak lingkungan tetapi juga berpotensi meningkatkan kenyamanan pemakai karena kemampuannya menyerap kelembapan dan melindungi kulit melalui sifat isolasinya. Penggunaan serat daun nanas dalam tekstil dapat menjadi solusi inovatif dan ramah lingkungan di industri tekstil, terutama untuk pakaian, celana, dan barang-barang lain [9], terutama dalam pembuatan pakaian pelindung. Pakaian pelindung yang umumnya digunakan di lingkungan kerja memerlukan tingkat mampu proteksi yang tinggi, seperti di industri, bengkel, dan konstruksi. Oleh karena itu, bahan yang digunakan untuk membuat pakaian ini harus memiliki karakteristik tertentu, seperti kekuatan tarik, ketahanan, dan kenyamanan.

Serat daun nanas, setelah melalui berbagai proses pengolahan seperti perlakuan alkali, memiliki potensi untuk memenuhi kriteria ini [4]. Perlakuan kimia, seperti perlakuan alkali, telah terbukti dapat meningkatkan sifat mekanik serat alami. Perlakuan alkali melibatkan penggunaan larutan

basas, seperti Sodium Hidroksida, yang dapat menghilangkan lignin, hemiselulosa, dan senyawa lain dari permukaan serat. Proses ini tidak hanya meningkatkan kekuatan tarik serat tetapi juga memperbaiki kemampuannya untuk diikat selama proses tenun atau pemintalan. [10] mempublikasikan efek perlakuan alkali dengan konsentrasi berbeda (1%, 3%, 6%, dan 9% Sodium Hidroksida terhadap sifat mekanik dan kristal serat daun nanas. Hasil menunjukkan bahwa perlakuan alkali memiliki efek signifikan pada sifat mekanik dan struktur kristal. Perlakuan dengan 6% Sodium Hidroksida menghasilkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 1620 MPa dan modulus Young sebesar 27 GPa. Regangan patah berkurang, menunjukkan peningkatan kekakuan tetapi penurunan kelenturan. Kristalinitas meningkat menjadi 75,6% dengan ukuran kristalit maksimum 24 nm pada perlakuan Sodium Hidroksida 6%, dan menurun pada konsentrasi alkali yang lebih tinggi (9%) [11].

[12] mengolah serat jute dengan larutan alkali Sodium Hidroksida 5% selama 0, 2, 4, 6, dan 8 jam pada suhu 30°C. Peningkatan kristalinitas serat meningkatkan modulusnya sebesar 12%, 68%, dan 79% setelah pengolahan selama 4, 6, dan 8 jam. Kekuatan lentur serat meningkat sebesar 46% setelah perlakuan selama 6 dan 8 jam, sedangkan persentase regangan pada saat patah berkurang sebesar 23% setelah perlakuan selama 8 jam. Untuk komposit serat 35% yang diolah selama 4 jam, kekuatan lentur meningkat dari 199,1 MPa menjadi 238,9 MPa (20%), modulus meningkat dari 11,89 GPa menjadi 14,69 GPa (23%), dan kekuatan geser laminar meningkat dari 0,238 MPa menjadi 0,2834 MPa sebesar 19%. [13] meneliti pengaruh perlakuan alkali (dengan larutan Sodium Hidroksida 5% berat selama 30 menit) terhadap sifat tarik serat tunggal rami, linen, dan bambu, morfologi permukaan, serta sifat mekanik (sifat tarik dan lentur) komposit. Ditemukan bahwa sifat tarik dan lentur semua komposit meningkat, misalnya kekuatan tarik dan lentur komposit rami/epoksi yang diolah meningkat sebesar 21,9% dan 16,1% dibandingkan dengan yang tidak diolah.

Serat daun nanas memiliki potensi yang besar, namun masih terdapat tantangan dalam mengoptimalkan sifat mekanisnya, terutama dalam aplikasi tenun. Proses pengolahan yang tepat, seperti pemilihan metode perlakuan kimia, perlu diteliti lebih lanjut untuk menghasilkan serat dengan kualitas yang memadai untuk produksi tekstil yang tahan lama. Selain itu, karakteristik fisik serat daun nanas juga mempengaruhi kemampuannya untuk ditenun menjadi kain. Proses pengolahan yang tepat, seperti pemilihan metode pengolahan kimia, perlu diteliti lebih lanjut untuk menghasilkan serat dengan kualitas yang memadai untuk produksi tekstil yang tahan lama. Selain itu, karakteristik fisik serat daun nanas, seperti kekasaran dan strukturnya, juga mempengaruhi kemampuannya untuk ditenun menjadi kain. Artikel ini bertujuan untuk secara eksperimental menyelidiki potensi serat daun nanas sebagai bahan tekstil ramah lingkungan dengan kekuatan yang ditingkatkan melalui penerapan perlakuan alkali untuk meningkatkan sifat mekanisnya.

METODE PENELITIAN

Preparasi Material

Daun nanas diperoleh dari perkebunan nanas masyarakat di Kecamatan Tambang, Kabupaten Kampar, Riau. Gambar 1 menunjukkan daun nanas yang sedang dibersihkan, diekstraksi, dan dikeringkan. Daun nanas dibersihkan dengan cara menghilangkan batang dan duri. Daun-daun tersebut dicuci menggunakan air destilasi. Gambar 1.a menampilkan daun nanas yang telah dibersihkan. Daun-daun yang bersih kemudian direndam selama 4 minggu dalam 100 liter air destilasi. Daun-daun diekstraksi dengan cara menggosok daun nanas menggunakan sikat [14]. Gambar 1.b menunjukkan daun nanas yang telah dibersihkan dan dikerok. Serat yang diekstraksi kemudian dicuci menggunakan air destilasi untuk menghilangkan kotoran yang tersisa pada serat. Setelah dicuci, serat dikeringkan selama 15 hari pada suhu ruangan. Gambar 1.c menunjukkan daun nanas yang telah dikikis dan dikeringkan. Serat daun nanas dikeringkan menggunakan oven. Kandungan air serat ditentukan dengan mengukur massa serat daun nanas sebelum masuk ke oven dan setelah keluar dari oven.



a. Daun pisang telah dibersihkan



b. Daun pisang diekstraksi



c. Daun pisang telah dikeringkan

Gambar 1. Proses Ekstraksi Daun Pisang Menjadi Serat**Pembuatan Spesimen Uji**

Gambar 2 menunjukkan serat daun pisang, benang serat daun pisang yang dipintal, dan proses tenun serat daun pisang. Persiapan spesimen uji tarik serat daun pisang tunggal dilakukan sebagai berikut: serat tunggal yang telah dikeringkan dipotong dengan panjang 150 mm. Gambar 2.a menunjukkan serat tunggal yang telah disiapkan untuk uji tarik. Diameter serat yang dipotong diukur menggunakan mikroskop digital pada tiga titik: bagian tengah dan kedua ujungnya. Hasil pengukuran dari mikroskop digital dibaca menggunakan perangkat lunak ImageJ. Serat tunggal dimasukkan ke dalam karton untuk mencegah patah. Karton dipotong dengan panjang 150 mm dan lebar 25 mm. Lubang berdiameter 10 mm dibuat di tengah karton. Serat ditempatkan di atas karton dan dijepit di kedua ujungnya dengan potongan karton lain.

Panjang kain tenun serat pisang yang diperlukan untuk uji robek dihitung berdasarkan jumlah variabel uji robek. Lebar kain tenun yang dihasilkan oleh mesin tenun adalah 1 m berdasarkan lebar mesin tenun, sehingga dimensi kain tenun yang diperoleh adalah 1 m x 1 m. Jumlah serat yang dihasilkan per 500 g daun adalah 20 g berdasarkan sampel serat yang disiapkan. Jumlah benang yang dibutuhkan untuk menenun 1 m² kain adalah 150 g.

Serat daun pisang dihubungkan secara manual dengan mengikat ujung-ujung serat tersebut dengan serat lain, kemudian digulung menggunakan pipa kecil. Gambar 2.b menunjukkan serat daun pisang yang telah dihubungkan dan digulung menjadi benang. Benang ini akan ditenun menjadi kain tenun serat daun pisang. Proses pemintalan melibatkan pemecahan serat menjadi serat-serat halus dan memutarkannya menjadi benang. Benang yang dihasilkan dari pemintalan dengan tingkat putaran yang tepat akan memberikan kekuatan dan tekstur optimal pada kain tenun. Benang serat daun pisang yang digulung disusun pada mesin tenun dalam arah benang panjang. Benang daun pisang dililitkan pada gulungan mesin tenun. Gulungan tersebut dihubungkan dengan tali untuk memudahkan menarik benang lusi yang dililitkan dari kiri ke kanan di antara celah-celah benang panjang. Mesin tenun dioperasikan dengan mengangkat dan menurunkan benang panjang, sementara benang lusi ditarik dari kiri ke kanan di antara benang panjang yang sedang diangkat. Setelah proses tenun selesai, kain tenun serat daun pisang dipotong sesuai ukuran spesimen uji robek. Gambar 2.c menunjukkan kain tenun serat daun pisang yang disiapkan untuk uji robek. Serat daun pisang ditenun di Rumah Tenun Kampung Bandar, Kec. Senapelan, Kota Pekanbaru, Riau.



a. Serat daun pisang



b. Gulungan benang serat daun pisang



c. Benang serat ditenun

Gambar 2. Serat Daun Pisang, Pemintalan Benang, dan Serat Daun Pisang Ditenun

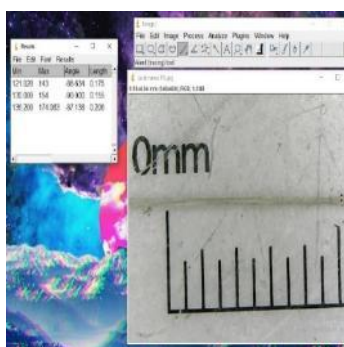
Setup Eksperimen

Uji selulosa serat daun nanas dilakukan di Laboratorium Pertanian, Universitas Riau. Uji selulosa pada sampel serat daun nanas mengacu pada SNI 0444:2009. Serat daun nanas yang diperlukan untuk uji selulosa adalah 2 g serat yang diolah dengan alkali dan 2 g serat yang tidak diolah dengan alkali. Sisa serat dalam kaca saring yang mengandung ADF direndam dengan 25 ml larutan asam sulfat 72%. Serat diaduk untuk memastikan serat terbasahi dengan asam sulfat 72%, kemudian dibiarkan selama 3 jam. Residu yang disaring dicuci dengan 300 ml air panas hingga busa menghilang, dan akhirnya dicuci dengan 25 ml alkohol 96%. Serat dipanaskan menggunakan oven selama 8 jam pada suhu 105°C, kemudian didinginkan dalam desikator.

Uji tarik serat daun nanas tunggal menggunakan parameter Ms. Tenso Lab di Laboratorium Material, Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Bahan spesimen uji dipotong menjadi serat alami tunggal dengan panjang 100-500 mm. Tegangan tarik teknik didefinisikan oleh persamaan:

$$\sigma = \frac{F}{A_o} \quad (1)$$

Gambar 3 menunjukkan serat tunggal dan kain serat daun nanas yang ditunen. Uji robek pada kain tenun yang terbuat dari serat daun nanas menggunakan parameter Ms. Elmendorf Tear Tester di Laboratorium Manufaktur dan Pengujian Tekstil, Program Studi Teknik Tekstil, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Pengaturan uji robek disiapkan dengan memasang beban bandul pada mesin uji menggunakan metode bandul balistik (Elmendorf), dengan gaya robek yang diterapkan sebesar 8.600 g.



a. Serat tunggal



b. Kain serat daun nanas

Gambar 3. Serat Daun Nanas Diamati Menggunakan ImageJ, Kain Serat Daun Nanas

Analisis pengaruh perlakuan alkali terhadap kekuatan tarik serat daun nanas tunggal dan kekuatan robek kain yang ditunen dari serat daun nanas telah dilakukan. Analisis ini dilakukan berdasarkan variasi konsentrasi Sodium Hidroksida yang diaplikasikan pada serat daun nanas. Pengaruh variasi konsentrasi Sodium Hidroksida terhadap kekuatan tarik serat daun nanas tunggal dan kekuatan robek kemudian diteliti. Kekuatan robek dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$T = \frac{F_{tear}}{1000 \text{ g}} \cdot W \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

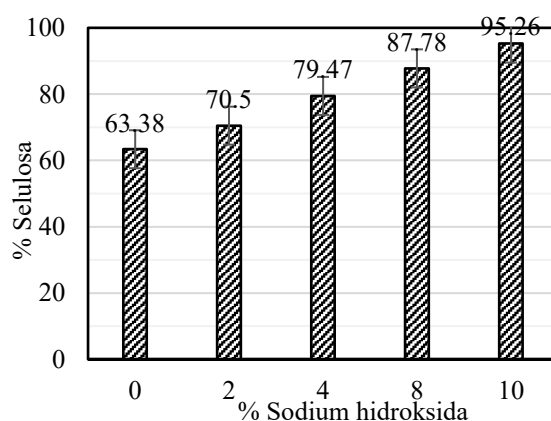
Tabel 1 menunjukkan hasil uji selulosa. Dari hasil tersebut, dapat dilihat bahwa peningkatan konsentrasi larutan Sodium Hidroksida secara signifikan mempengaruhi kandungan selulosa pada serat daun nanas. Kandungan selulosa mencapai 63,38% pada konsentrasi 0% Sodium Hidroksida, meningkat sebesar 7,12% pada 2%, juga meningkat sebesar 8,97% pada 4% dan 8,31% pada 8%, serta bahkan meningkat sebesar 7,48% pada konsentrasi 10% Sodium Hidroksida.

Tabel 1. Persentase selulosa serat daun nanas

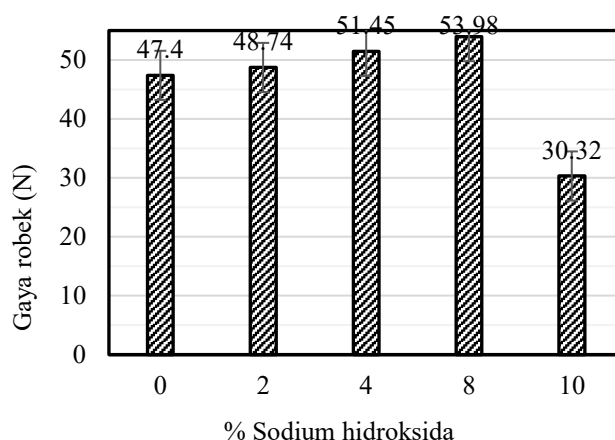
Sodium Hidroksida	Selulosa
0%	63.38%
2%	70.50%
4%	79.47%
8%	87.78%
10%	95.26%

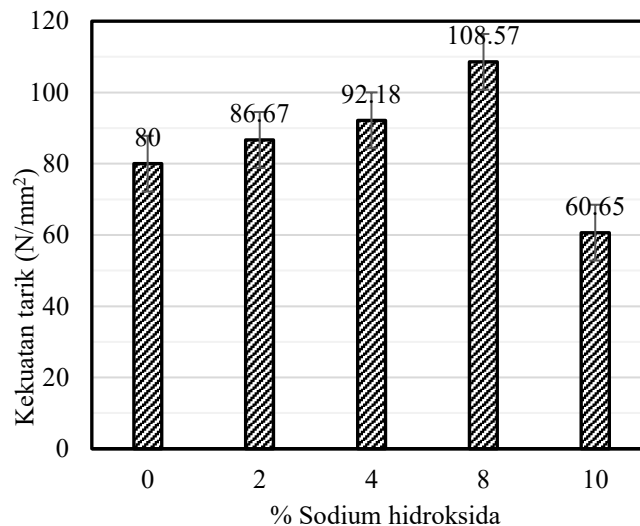
Hasil uji selulosa pada serat daun nanas tunggal menunjukkan bahwa perlakuan alkali pada serat daun nanas dapat meningkatkan kandungan selulosa dan menghilangkan sebagian besar kandungan lignin dan hemiselulosa dalam serat daun. Kandungan selulosa yang tinggi menghasilkan serat yang lebih kuat, kaku, dan meningkatkan penyerapan kimia. Rowell dkk. 2000 telah mempublikasikan bahwa perlakuan alkali dapat mengubah struktur serat selulosa dengan menghilangkan senyawa non-selulosa dan membuka ikatan hidrogen dalam struktur fibril selulosa. Efek perlakuan alkali ini lebih lanjut meningkatkan reaktivitas permukaan serat.

Gambar 4 menggambarkan hubungan antara kandungan selulosa dengan variasi konsentrasi Sodium Hidroksida dalam perlakuan alkali pada serat daun nanas. Kandungan selulosa tertinggi ditemukan pada perlakuan alkali dengan konsentrasi Sodium Hidroksida 10%, yang secara eksperimental mencapai sekitar 95,26% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.a, sementara kandungan selulosa terendah ditemukan pada serat daun nanas yang tidak menjalani perlakuan alkali, yaitu sekitar 63,38%.



Gambar 4. Hasil eksperimen mengenai persentase selulosa, kekuatan tarik, dan kekuatan robek serat daun nanas pada perlakuan tanpa alkali dan dengan alkali





Gambar 5. Hasil eksperimen mengenai persentase selulosa, kekuatan tarik, dan kekuatan robek serat daun nanas pada perlakuan tanpa alkali dan dengan alkali

Peningkatan kandungan selulosa berbanding lurus dengan peningkatan konsentrasi Sodium Hidroksida. Telah ditemukan tren linier antara peningkatan kandungan selulosa dan peningkatan konsentrasi Sodium Hidroksida pada serat daun nanas. Oleh karena itu, semakin tinggi persentase Sodium Hidroksida, semakin tinggi kandungan selulosa pada serat daun nanas. Hal ini menunjukkan bahwa proses alkali dengan Sodium Hidroksida efektif dalam mengurangi komponen non-selulosa seperti lignin dan hemiselulosa serta meningkatkan kandungan selulosa.

Gambar 4.b menunjukkan kekuatan tarik serat daun nanas tunggal setelah perlakuan alkali menggunakan Sodium Hidroksida. Kekuatan tarik serat tunggal tanpa perlakuan alkali adalah 80 N/mm². Kekuatan tarik serat meningkat sebesar 6,67 N/mm² menjadi 86,67 N/mm² seiring dengan peningkatan konsentrasi Sodium Hidroksida sebesar 2%. Kekuatan tarik meningkat sebesar 5,51 N/mm² menjadi 92,18 N/mm² seiring dengan peningkatan konsentrasi Sodium Hidroksida menjadi 4%. Kekuatan tarik meningkat sebesar 5,51 N/mm² menjadi 92,18 N/mm² seiring dengan peningkatan konsentrasi Sodium Hidroksida menjadi 4%. Kekuatan tarik meningkat sebesar 16,39 N/mm² menjadi 108,57 N/mm² saat konsentrasi Sodium Hidroksida meningkat menjadi 8%. Namun, kekuatan tarik serat daun nanas tunggal menurun sebesar 47,94 N/mm² menjadi 60,65 N/mm² pada konsentrasi Sodium Hidroksida 10%. (Gaba, Asimeng, Kaufmann, Katu, dkk., 2021) juga menemukan tren yang sama dengan hasil ini, yang melakukan penelitian pada serat daun nanas tunggal dengan persentase Sodium Hidroksida 1%, 3%, 6%, 9%, dengan kekuatan tertinggi pada konsentrasi 6%, dan pada konsentrasi 9% kekuatan tarik menurun.

Gambar 4.c menunjukkan kekuatan robek serat daun nanas akibat perlakuan alkali. Berdasarkan data yang diperoleh, hubungan antara konsentrasi Sodium Hidroksida dan gaya maksimum yang dihasilkan dapat dianalisis. Pada serat daun nanas tunggal tanpa perlakuan alkali, gaya maksimum yang diperoleh adalah 1,84 N. Pada serat daun nanas tunggal dengan perlakuan alkali menggunakan konsentrasi Sodium Hidroksida 2%, gaya maksimum yang diperoleh meningkat sebesar 0,24 N menjadi 2,08 N. Pada perlakuan alkali dengan konsentrasi Sodium Hidroksida 4%, gaya maksimum meningkat sebesar 0,04 N menjadi 2,12 N. Pada konsentrasi Sodium Hidroksida 8%, gaya maksimum meningkat sebesar 0,16 N menjadi 2,28 N. Namun, pada konsentrasi Sodium Hidroksida 10%, gaya maksimum menurun sebesar 0,4 N. Gaya maksimum meningkat secara proporsional dengan peningkatan konsentrasi Sodium Hidroksida hingga 8%, mencapai 2,28 N. Gaya robek maksimum yang dihasilkan menurun menjadi 1,88 N pada konsentrasi Sodium Hidroksida 10%. Peningkatan kekuatan maksimum ini menunjukkan bahwa perlakuan alkali memperkuat serat daun nanas karena perlakuan alkali mengurangi kandungan lignin dalam serat daun nanas, sehingga meningkatkan struktur selulosa. Peningkatan konsentrasi Sodium Hidroksida menjadi 8% menyebabkan peningkatan kekuatan robek, tetapi pada konsentrasi 10% terjadi penurunan yang signifikan. Kain tenun yang terbuat dari serat daun nanas dengan konsentrasi

Sodium Hidroksida 8% menunjukkan peningkatan kekuatan robek sebesar 53,98 N, sedangkan yang terendah terjadi pada konsentrasi 10% sodium hidroksida. Ditemukan bahwa konsentrasi Sodium Hidroksida di atas 8% dapat menyebabkan degradasi selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Serat menjadi lebih rapuh dan respons mekanisnya berkurang.

KESIMPULAN

Pengaruh perlakuan alkali terhadap kekuatan tarik serat tunggal dan kekuatan robek kain serat daun nanas yang ditenun telah diteliti secara eksperimental. Ringkasan hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut: (1) Peningkatan kandungan selulosa secara signifikan mengurangi kandungan lignin dan hemiselulosa pada serat daun nanas. Kekuatan tarik serat daun nanas yang tidak diolah dengan alkali adalah 80 N/mm². Kekuatan tarik tertinggi serat daun nanas pada konsentrasi Sodium Hidroksida 8%, yaitu 108,57 N/mm². Pengolahan alkali menggunakan Sodium Hidroksida meningkatkan kekuatan tarik serat daun nanas tunggal sebesar 35,72%. (2) Pengolahan alkali pada serat daun nanas mempengaruhi kekuatan robek kain tenun yang terbuat dari serat daun nanas. Ditemukan bahwa kain tenun tanpa pengolahan alkali memiliki nilai kekuatan robek sebesar 47,40 N, sementara pengolahan alkali pada konsentrasi 8% mencapai kekuatan tertinggi sebesar 53,98 N. Serat daun nanas tunggal dengan pengolahan alkali 8% mengandung 87,78% selulosa. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan alkali pada serat daun nanas dapat meningkatkan persentase selulosa, sehingga meningkatkan sifat mekanik serat. Namun, pada persentase perlakuan alkali 10%, sifat mekanik serat menurun. Kekuatan tarik serat daun nanas tunggal dan ketahanan robek kain tenun menurun secara signifikan pada perlakuan alkali 10%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Riau (LPPM UNRI) atas dukungan dalam penelitian ini melalui skema Riset Unggulan Universitas Riau (RUUR), dengan Nomor Kontrak: 29096/UN19.5.1.3/AL.04/2025.

NOMENKLATUR

A_o	: Luas penampang sebelum dikenai beban (mm ²)
F	: Beban tarik (N)
F_{tear}	: Gaya robek (N)
σ	: Tegangan tarik (N/mm ²)
T_{tear}	: Ketahanan robek (g)
W	: Lebar spesimen (m)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Gonzalez, X. Lou, and T. Chi, "Evaluating Environmental Impact of Natural and Synthetic Fibers: A Life Cycle Assessment Approach," *Sustain.*, vol. 15, no. 9, 2023, doi: 10.3390/su15097670.
- [2] R. Nayak, L. Jajpura, and A. Khandual, *Traditional fibres for fashion and textiles: Associated problems and future sustainable fibres*. Elsevier Ltd, 2022. doi: 10.1016/B978-0-12-824052-6.00013-5.
- [3] K. Delate, B. Heller, and J. Shade, "Organic cotton production may alleviate the environmental impacts of intensive conventional cotton production," 2020.
- [4] V. K. Yadav, N. Verma, S. K. Kardam, and M. Pullela, "Pineapple leaf fiber in polymer composites: Structure, characterization, and applications," *Mater. Chem. Phys. Sustain. Energy*, vol. 2, no. September 2024, p. 100011, 2025, doi: 10.1016/j.macse.2025.100011.
- [5] N. Inty, A. Deny, K. Mein, C. A. Indah, L. Alvi, and A. Villalon, "Using pineapple leaf fiber as a sustainable future textile," *BIO Web Conf.*, vol. 159, pp. 1–6, 2025, doi:

- 10.1051/bioconf/202515903002.
- [6] A. F. A. Hamzah *et al.*, “Recent Updates on the Conversion of Pineapple Waste (*Ananas comosus*) to Value-Added Products, Future Perspectives and Challenges,” *Agronomy*, vol. 6, no. 3, p. 1630, 2021.
- [7] 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, 2024, doi: 10.3390/separations11080245.
- [8] D. H. C. Chittappa and M. P. T., “A Review of the Pineapple Leaf Fiber Variants, Structure, Physical Properties and Chemical Composition,” *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 12, no. 11, 2023, doi: 10.17577/IJERTV12IS110127.
- [9] M. Tamta and S. Mahajan, “Innovative applications of pineapple leaf fibre in textiles and other fields,” *AICTE Spons. Int. E- Conf. on “Recent Trends Text. – A Paradig. Innov. Sustain. Fibers, Yarns, Fabr. Garments Prod. Process. & Designing Asp.*, no. November, pp. 221–224, 2020.
- [10] E. W. Gaba, B. O. Asimeng, E. E. Kaufmann, E. J. Foster, and E. K. Tiburu, “The influence of pineapple leaf fiber orientation and volume fraction on methyl methacrylate-based polymer matrix for prosthetic socket application,” *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 19, 2021, doi: 10.3390/polym13193381.
- [11] E. W. Gaba, B. O. Asimeng, E. E. Kaufmann, S. K. Katu, E. J. Foster, and E. K. Tiburu, “Mechanical and structural characterization of pineapple leaf fiber,” *Fibers*, vol. 9, no. 8, pp. 1–11, 2021, doi: 10.3390/fib9080051.
- [12] D. Ray, B. K. Sarkar, A. K. Rana, and N. R. Bose, “Effect of alkali treated jute fibres on composite properties,” *Bull. Mater. Sci.*, vol. 24, no. 2, pp. 129–135, 2001, doi: 10.1007/BF02710089.
- [13] L. Yan, N. Chouw, and X. Yuan, “Improving the mechanical properties of natural fibre fabric reinforced epoxy composites by alkali treatment,” *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 31, no. 6, pp. 425–437, 2012, doi: 10.1177/0731684412439494.
- [14] M. Badri, A. I. Nuraini Sari, M. Dalil, and S. I. Saputra, “Investigation of Tensile and Impact Properties of Pineapple Leaf Fiber-Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Hybrid Composites,” *J. Ocean. Mech. Aerosp. -science Eng.*, vol. 68, no. 2, pp. 82–87, 2024, doi: 10.36842/jomase.v68i2.369.