

PEMBUATAN BIO-KOMPOSIT DARI AMPAS TEBU DENGAN MatriK KARET JENIS *RIBBED SMOKED SHEET (RSS) GRADE CUTTING*

¹Arifianto Adi Wibowo, ¹Dyah Retno Sawitri, ¹Arif Hidayat*

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang km. 14,5, Krawitan, Umbulmartani, Ngemplak, Sleman, DIY 55584

*Penulis korespondensi: arif.hidayat@uii.ac.id

Abstrak. Biokomposit merupakan material yang tersusun dari dua atau lebih bahan berbeda dengan setidaknya satu komponen berasal dari sumber alami. Umumnya, biokomposit terdiri atas matriks sebagai pengikat dan pemberi dukungan mekanis, serta pengisi atau penguat berupa serat atau partikel untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik. Penelitian ini bertujuan mengembangkan biokomposit berbasis ampas tebu dengan matriks karet ribbed smoked sheet (RSS) grade cutting melalui variasi perbandingan massa serat dan perlakuan alkali (NaOH). Preparasi serat dilakukan menggunakan larutan NaOH untuk mengurangi kandungan lignin dan hemiselulosa sehingga meningkatkan daya ikat dengan matriks. Proses pembuatan komposit dilakukan dengan metode cetak tekan panas. Variasi penelitian meliputi perbandingan massa serat terhadap matriks serta bentuk serat (serat panjang dan serat serbuk). Hasil pengujian menunjukkan bahwa perlakuan NaOH secara signifikan meningkatkan kekuatan tarik dan tegangan lentur komposit. Kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada rasio serat 1:5 dengan serat terperlakuan NaOH, sedangkan tegangan lentur tertinggi diperoleh pada rasio 1:8 menggunakan serat serbuk. Serat serbuk cenderung meningkatkan sifat lentur, sementara serat panjang memberikan kekuatan tarik lebih baik. Hasil ini menunjukkan potensi ampas tebu sebagai penguat ramah lingkungan pada material komposit.

Kata kunci: ampas tebu, bio-komposit, matriks, serat ribbed smoked sheet grade cutting

Abstract. Biocomposites are materials composed of two or more distinct constituents, with at least one derived from natural sources. They generally consist of a matrix that binds and supports the structure, and a filler or reinforcement, such as fibers or particles, that enhances mechanical and physical properties. This study develops a biocomposite from sugarcane bagasse using ribbed smoked sheet (RSS) grade cutting rubber as the matrix, examining the effects of fiber-to-matrix ratio and NaOH treatment on mechanical performance. Bagasse fibers were treated with NaOH to remove lignin and hemicellulose, improving interfacial bonding, and composites were fabricated via hot pressing. Variations included different fiber-to-matrix ratios and fiber forms (long and powdered). The results indicate that NaOH treatment significantly improved tensile strength and bending stress. The highest tensile strength was achieved at a 1:5 ratio using treated fibers, while the highest bending stress occurred at a 1:8 ratio with powdered fibers. Powdered fibers enhanced bending properties more effectively, whereas long fibers yielded superior tensile strength. Overall, NaOH treatment improved the adhesion between fiber and matrix, leading to enhanced mechanical properties and demonstrating the potential of sugarcane bagasse as an eco-friendly reinforcement material.

Keywords: bio-composite, sugarcane bagasse, matrix, fibre, ribbed smoked sheet grade cutting

1. Pendahuluan

Serat sintetis seperti kaca, karbon, dan serat aramid adalah bahan penguat yang paling umum dalam komposit polimer karena sifat mekanisnya yang eksklusif dalam berbagai aplikasi (Vigneshwaran dkk., 2020). Meskipun serat sintetis menarik dalam karakteristik mekanisnya, serat ini tidak dapat terurai secara biologis dan menciptakan lebih banyak masalah ekologis. Selama beberapa tahun terakhir, telah terjadi peningkatan dalam penggunaan serat tanaman untuk

membuat bahan komposit ramah lingkungan dan dapat terurai secara hayati (Ramesh dkk., 2022). Serat dari tanaman seperti kapas, rami, sisal, nanas, bambu, pisang digunakan sebagai penguat dalam komposit (Ramesh & Deepa, 2018). Serat alam memiliki biaya murah, kepadatan dan massa yang rendah, ramah lingkungan, sedikit menimbulkan polusi dan bahaya kesehatan yang minimal. Pemanfaatan serat alam sebagai komposit tidak hanya bermanfaat secara ekonomi dan lingkungan, tetapi dari perspektif keberlanjutan serat alam merupakan bahan baku yang terbarukan untuk pengembangan green product (Vigneshwaran dkk., 2020). Sifat-sifat fisis dan mekanik dari komposit dengan penguat serat alam bergantung pada sejumlah parameter seperti fraksi volume serat, perbandingan aspek serat, adhesi serat dengan matriks, transfer tegangan pada antarmuka, dan orientasi (Ramesh dkk., 2017).

Ampas tebu memiliki densitas 1,28 g/cc dan indeks kristalinitas sekitar 35% (Ibrahim dkk., 2020). Kekuatan tarik yang dilaporkan berada dalam rentang 20–50 MPa, sedangkan modulus tarik sebesar 2,7 GPa (Kordkheili dkk., 2012). Seperti serat selulosa alami lainnya, ampas tebu memiliki kelemahan alami berupa sifat hidrofilik yang cenderung menyerap kelembapan dari lingkungan sekitar, menyebabkan pembengkakan dan penurunan sifat mekanik. Kekurangan serat alami dapat diminimalkan dengan memodifikasinya melalui berbagai perlakuan kimia (Karp dkk., 2013). Kandungan selulosa pada serat ampas tebu cukup tinggi, berkisar antara 70-82% (Toscano Miranda dkk., 2021). Selulosa adalah komponen struktural utama yang memberikan kekuatan mekanik pada serat ini. Serat yang kaya selulosa juga memiliki potensi yang baik untuk digunakan dalam komposit polimer atau sebagai penguat dalam bahan komposit. Kandungan lignin dalam serat ampas tebu relatif rendah, sekitar 5-12%. Lignin memberikan kekakuan dan perlindungan pada serat tanaman, namun kandungan yang terlalu tinggi dapat membuat serat kurang fleksibel dan sulit diolah. Rendahnya lignin pada ampas tebu membuatnya lebih mudah untuk diproses dan digunakan dalam aplikasi seperti tekstil dan komposit. Hemiselulosa dan pektin membentuk sekitar 10-20% dari komposisi serat ampas tebu (Zafeer dkk., 2023) (Zanatta dkk., 2016). Komponen ini membantu mengikat selulosa dan memberikan fleksibilitas pada serat. Namun, mereka juga dapat menyerap air, yang mempengaruhi daya tahan serat terhadap kelembapan. Serat ampas tebu mulai mengalami degradasi pada suhu sekitar 240-300°C (Zanatta dkk., 2016). Ini menjadikannya kurang tahan terhadap suhu tinggi dibandingkan serat sintesis seperti fiberglass atau serat karbon, namun masih cukup baik untuk aplikasi suhu menengah. Serat ampas tebu juga mengandung sejumlah kecil zat ekstraktif seperti lilin, lemak, dan protein. Kandungan ini berpengaruh pada proses degradasi kimiawi serat, terutama ketika digunakan dalam lingkungan yang keras atau dalam aplikasi komposit yang memerlukan stabilitas kimia.

Ribbed Smoked Sheet (RSS) adalah salah satu jenis karet alam yang diproses melalui pengasapan lembaran lateks yang sudah dikeringkan. Limbah dari proses pengolahan RSS terdiri dari berbagai sisa bahan yang tidak digunakan dalam produksi utama, seperti potongan karet, debu karet, atau sisa bahan dari proses pembuatan lembaran karet. Limbah ini memiliki sifat fisis dan kimia yang serupa dengan RSS itu sendiri, tetapi biasanya kualitasnya lebih rendah karena degradasi atau kontaminasi selama proses pengolahan. Limbah RSS tetap mempertahankan elastisitas yang tinggi, meskipun sering kali lebih rendah dibandingkan dengan RSS berkualitas tinggi. Limbah ini memiliki kekerasan yang bervariasi, tergantung pada tingkat kontaminasi dan tingkat degradasi yang terjadi selama proses produksi. Karet alam pada umumnya memiliki densitas sekitar 0.93 hingga 0.97 g/cm³. Limbah dari RSS biasanya memiliki densitas yang sedikit lebih rendah karena mungkin mengandung kotoran atau bahan pengisi. Limbah RSS sering kali memiliki tekstur yang lebih kasar dibandingkan dengan produk utama RSS. Hal ini disebabkan oleh adanya pengotor atau partikel asing yang terperangkap selama proses pengolahan dan pengasapan. Limbah RSS umumnya memiliki warna coklat gelap hingga kehitaman, yang merupakan hasil dari proses pengasapan. Namun, warna limbah ini bisa lebih tidak merata dibandingkan dengan lembaran RSS yang berkualitas baik. Limbah RSS masih mempertahankan ketahanan yang baik terhadap gesekan dan abrasi, tetapi sifat ini bisa berkurang jika limbah tersebut mengandung kotoran yang lebih banyak atau mengalami kerusakan selama pengolahan.

Limbah RSS masih mengandung jumlah besar dari karet alam, yang sebagian besar terdiri dari poliisoprena. Poliisoprena memberikan sifat elastisitas dan kekuatan pada karet, meskipun pada limbah, sifat-sifat ini mungkin sudah berkurang. Limbah RSS sering mengandung kontaminasi dari bahan-bahan lain seperti kotoran, debu, dan partikel logam yang masuk selama proses pengolahan. Kontaminan ini dapat mempengaruhi sifat-sifat mekanis dan kimia limbah, seperti penurunan elastisitas, ketahanan, dan kemurnian bahan. Limbah RSS masih mengandung sulfur, yang digunakan dalam proses vulkanisasi karet alam untuk meningkatkan kekuatan dan elastisitasnya. Selain itu, bahan ini juga mengandung senyawa kimia dari proses pengasapan, seperti asam organik yang dihasilkan selama pengasapan, yang dapat mempengaruhi sifat kimianya. Limbah karet alam seperti RSS bersifat biodegradable, tetapi proses degradasinya lambat, terutama jika limbah tersebut telah terpapar zat kimia seperti sulfur atau bahan pengisi lainnya. Limbah karet RSS juga dapat mengalami oksidasi selama penyimpanan, yang dapat menurunkan sifat mekaniknya. Limbah RSS cenderung menyerap sedikit air jika disimpan dalam kondisi lembab, yang dapat menyebabkan penurunan kualitas dan performa material. Penyerapan air juga dapat mempercepat proses degradasi mikroorganisme. Limbah RSS mungkin mengandung residu dari aditif yang digunakan dalam proses produksi, seperti bahan anti-penuaan (*antioxidant*) atau *plastisizer*. Zat ini dapat mempengaruhi sifat kimia limbah, termasuk meningkatkan ketahanan terhadap degradasi oksidatif tetapi juga menambah kompleksitas dalam daur ulang limbah tersebut. Limbah dari RSS dapat dimanfaatkan kembali dalam berbagai aplikasi, termasuk sebagai bahan daur ulang untuk produk karet yang berkualitas lebih rendah, atau diolah lebih lanjut untuk digunakan sebagai komponen dalam aspal karet dan material bangunan.



Gambar 1. Ribbed Smoked Sheets (RSS) Grade Cutting.

Ampas tebu, produk sampingan dari industri gula, dianggap sebagai salah satu sumber daya serat alam yang paling penting. Serat sisal, ampas tebu, dan nanas yang diberi perlakuan alkali telah dipelajari sebagai penguat komposit dengan menggunakan matriks poliester (Sathees Kumar dkk., 2021). Ampas tebu sebagian besar mengandung selulosa, hemiselulosa, lignin, abu, dan lilin sebagai konstituen utamanya. Modifikasi kimiawi ampas tebu dapat secara efektif meningkatkan daya rekat matriks-serat sehingga meningkatkan sifat mekanik (Loh dkk., 2013). Serat selulosa dari ampas tebu Maroko dapat diproses menjadi serat dalam tiga langkah, yaitu (1) perlakuan dengan air panas (70°C) untuk menghilangkan hemiselulosa, (2) perlakuan alkali untuk menghilangkan lignin, dan (3) pemutihan (Moubarik dkk., 2013). Serat alami dalam komposit polimer dapat menyebabkan peningkatan yang cukup besar pada sifat mekanik komposit yang dihasilkan, juga mengamati bahwa lecet yang disebabkan oleh adanya partikel udara selama proses pencetakan merugikan perolehan material dengan ketahanan yang tinggi (Luz dkk., 2007). Komposit yang mempunyai kandungan serat tebu sebesar masing-masing 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dapat dibuat menjadi komposit dengan campuran dengan 20% serat gelas (Reddy dkk., 2020). Serat kaca 20% dengan 25% serbuk tebu menunjukkan peningkatan sifat mekanik. Serat alami memiliki daya serap air yang

tinggi karena adanya zat hidrofilik. Penyerapan air dapat diatasi dengan melakukan perlakuan alkali (Sood & Dwivedi, 2018). Serat alami merupakan kandidat yang baik untuk penguat, tetapi untuk penggunaannya dalam aplikasi teknis perlu dilakukan perlakuan permukaan yang sesuai untuk meningkatkan sifat-sifatnya (Adekunle, 2015). Serat ampas tebu yang diperlakukan dengan larutan NaOH meningkatkan daya rekat dan kekuatan karena meningkatkan adhesi antarmuka antara serat dan matriks (Vigneshwaran dkk., 2020). Secara keseluruhan, berbagai penelitian tersebut menegaskan bahwa perlakuan kimia seperti alkalisasi merupakan langkah kunci dalam meningkatkan kualitas serat ampas tebu sebagai penguat komposit. Temuan ini menjadi landasan penting bagi penelitian pembuatan bio-komposit dari ampas tebu dengan matriks karet RSS *grade cutting*, karena keberhasilan peningkatan sifat mekanik komposit sangat bergantung pada adhesi antarmuka yang baik antara serat dan matriks karet. Dengan demikian, penerapan perlakuan alkali pada serat ampas tebu dalam penelitian ini diperkirakan dapat meningkatkan kompatibilitas dan kinerja mekanik bio-komposit yang dihasilkan.

Perlakuan alkali pada serat menghasilkan struktur serat yang lebih kompak dengan pori-pori yang lebih kecil (Ribeiro Filho dkk., 2019). Pengaruh panjang serat rami terhadap sifat mekanik dan menemukan bahwa peningkatan panjang serat menurunkan sifat mekanik komposit yang diperkuat serat rami (Sajin dkk., 2021). Serat sabut kelapa dengan orientasi acak dan sejajar mengalami peningkatan sifat mekanik ketika menggunakan serat panjang dan sampel dengan serat yang sejajar menunjukkan sifat yang lebih unggul daripada sampel dengan serat yang berorientasi acak (Walte dkk., 2020). Sifat lentur dan tarik dari serat ampas tebu dengan fraksi volume masing-masing sebesar 0, 10, 15 dan 20 % akan mengalami peningkatan dengan semakin besarnya nilai fraksi volume (Vilay dkk., 2008). Secara keseluruhan, hasil-hasil penelitian tersebut menegaskan bahwa performa bio-komposit sangat dipengaruhi oleh kondisi serat, terutama perlakuan kimia, panjang serat, dan orientasinya. Temuan ini memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi penelitian pembuatan bio-komposit dari ampas tebu dengan matriks karet RSS *Grade Cutting*, karena optimalisasi sifat mekanik hanya dapat dicapai melalui pemilihan kondisi serat yang tepat. Dengan demikian, pengaturan fraksi volume, panjang serat, serta penerapan perlakuan alkali pada serat ampas tebu dalam penelitian ini berpotensi besar meningkatkan adhesi antarmuka dan memperbaiki kinerja mekanik bio-komposit berbasis karet RSS yang dihasilkan.

Penelitian bertujuan untuk mengembangkan material komposit ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah pertanian dan industri sebagai bahan baku utama. Fokus penelitian ini adalah memanfaatkan ampas tebu sebagai serat penguat dan limbah karet *ribbed smoked sheet* (RSS) *grade cutting* sebagai matriks, sehingga diharapkan dapat menghasilkan bio-komposit yang memiliki sifat mekanik baik sekaligus mendukung prinsip keberlanjutan. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini mengeksplorasi beberapa variabel penting, seperti variasi perbandingan massa serat terhadap matriks, perlakuan kimia serat menggunakan larutan NaOH, serta perbedaan jenis serat yang digunakan. Perlakuan NaOH dimaksudkan untuk menghilangkan lignin, hemiselulosa, dan kotoran lain pada serat ampas tebu sehingga permukaan serat menjadi lebih kasar dan adhesi dengan matriks karet meningkat. Selain itu, penelitian ini juga membandingkan kinerja serat panjang dan serat serbuk dalam memperkuat komposit, baik dalam hal kekuatan tarik maupun ketahanan terhadap gaya lentur. Melalui pendekatan ini, penelitian berupaya membuktikan bahwa ampas tebu dapat diolah menjadi bahan penguat alternatif yang efektif, sekaligus memberikan kontribusi terhadap pengurangan limbah dan pengembangan green product dalam bidang rekayasa material.

2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah ampas tebu diambil dari PT Madubaru (Pabrik Gula Madukismo) yang berlokasi di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta limbah karet alam jenis produk *ribbed smoked sheet* (RSS) *grade cutting* diperoleh dari PT. Perkebunan Nusantara VII, Provinsi Lampung dan NaOH (Natrium Hidroksida) dari Merck dengan grade p.a., $\geq 98\%$. Alat yang digunakan untuk penelitian adalah: timbangan, grinder, pengaduk magnet berpemanas, termometer, seperangkat alat gelas, alat cetak tekan panas, oven, dan alat uji mekanik bahan. *Alat cetak tekan panas menggunakan sistem pemanasan dengan plat datar yang mampu mendistribusikan suhu secara merata. Rentang suhu operasi berada pada kisaran 0 hingga 220°C, sehingga memungkinkan penggunaan untuk berbagai jenis proses tekstil. Stabilitas suhu berada pada toleransi sekitar $\pm 1-2^\circ\text{C}$, sehingga kondisi pemanasan tetap konsisten pada setiap perlakuan sampel. Tekanan yang dapat dihasilkan berkisar antara 0 hingga 10 kg/m², sesuai dengan standar kebutuhan penelitian. Waktu pemanasan diatur melalui sistem digital yang memungkinkan durasi antara 0 hingga 30 menit. Ukuran plat pemanas umumnya berada pada dimensi 30 × 30 cm. Oven yang dipakai adalah Oven dengan merk Memmert UN110 memiliki kapasitas 108 liter, beroperasi pada rentang suhu 30–300 °C, dan konsumsi daya 1600 W*

2.2. Metode

2.2.1. Preparasi dan Perlakuan Awal Serat Ampas Tebu

Ampas tebu diambil seratnya secara mekanik dengan menggunakan alat dekortikator untuk diserut supaya mendapatkan serat yang seragam. Serat hasil dekortifikasi kemudian dikeringkan secara alami untuk mengurangi kadar air. Kondisi serat yang diperoleh dari proses dekortifikasi ini relatif masih kotor, berwarna kuning kecoklatan dan tidak seragam. Serat hasil dekortifikasi selanjutnya dilakukan menggunakan air dengan tujuan membersihkan kotoran luar yang menempel, tanpa memengaruhi kandungan lignin di dalam serat. Selanjutnya dilakukan perlakuan alkali pada permukaan serat ampas tebu yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan material yang dapat mempengaruhi kualitas dari komposit seperti lapisan lilin, hemiselulosa, lignin, dan kotoran.

Mula-mula disiapkan larutan NaOH dengan konsentrasi tertentu, dan kemudian serat ampas tebu dimasukkan ke dalam larutan tersebut. Setelah dipastikan semua bagian serat terendam, waktu mulai dihitung untuk menentukan durasi yang akan digunakan. Setelah waktu perendaman tercapai, serat ampas tebu ditiriskan dan dibilas dengan air bersih yang mengalir. Hal ini bertujuan untuk membersihkan serat dari larutan alkali. Setelah pH rendaman netral ($\text{pH} = 7$), serat ditiriskan dan selanjutnya dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 50 °C selama 6 jam. Kemudian serat yang sudah kering dipotong-potong dengan ukuran 5 cm lalu siap digunakan untuk proses pencetakan komposit. Variasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah perbandingan massa serat dengan matrik karet jenis *ribbed smoked sheet* (RSS) *grade cutting*, jenis serat yang digunakan, dan perlakuan terhadap serat.

2.2.2. Pembuatan Bio-komposit dari Serat Ampas Tebu dengan Matriks Ribbed Smoked Sheet (RSS) Grade Cutting

Komposit dibuat dengan metode cetak tekan dengan melakukan variasi perbandingan fraksi volume serat daun nanas dengan jumlah limbah karet, suhu, dan waktu pencetakan. Mula-mula serat ampas tebu dan limbah karet disusun dalam alat cetak, kemudian ditekan pada suhu dan tekanan tertentu. Pengepresan pada cetakan sampai dengan tebal yang sesuai. Tujuan lain dari pengepresan adalah untuk meratakan matriks ke serat dan mengeluarkan *void* pada komposit. Hasil cetakan kemudian didiamkan sampai kering. Spesimen yang akan diuji dibuat dari plat komposit hasil cetakan, yang dipotong dengan menggunakan gerinda tangan. Efek pemotongan dieliminasi dengan dihaluskan menggunakan kertas amplas.

2.2.3. Pengujian Bio-komposit dari Serat Ampas Tebu dengan Matriks *Ribbed Smoked Sheet* (RSS) *Grade Cutting*

Kualitas produk bio-komposit dari serat ampas tebu dengan matriks limbah karet diuji dengan berbagai pengujian sifat fisik dan mekanik. Jenis pengujian yang dilakukan terhadap bio-komposit adalah pengujian tarik. Pengujian tarik pada bahan komposit adalah proses yang bertujuan untuk mengukur kekuatan dan kekakuan material tersebut ketika ditarik. Pengujian tarik dilakukan dengan metode ASTM D3039. Setiap pengujian yang dilakukan replikasi sebanyak lima kali untuk memastikan konsistensi hasil dan dapat ditentukan standar deviasi. Tahapan penelitian pembuatan bio-komposit dari ampas tebu dengan matrik karet jenis *ribbed smoked sheet* (RSS) *grade cutting* dapat dilihat pada Gambar 2.

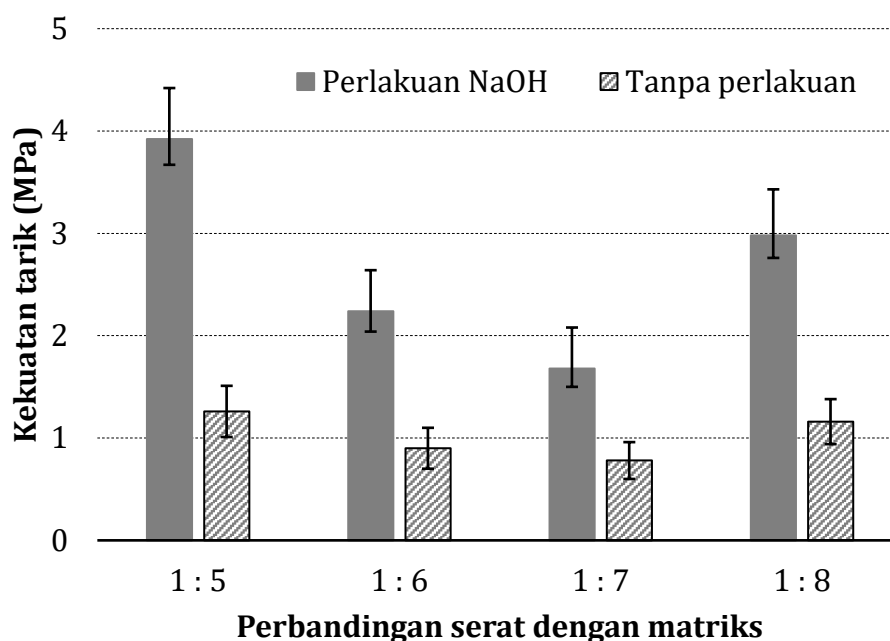


Gambar 2. Tahapan Penelitian Pembuatan Bio-Komposit dari Ampas Tebu dengan Matriks Karet Jenis *Ribbed Smoked Sheet* (RSS) *Grade Cutting*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh Perlakuan terhadap Kekuatan Tarik pada Biokomposit dari Ampas Tebu dan RSS *grade cutting*

Kekuatan tarik adalah salah satu sifat mekanik yang paling penting dalam bahan komposit, termasuk bio-komposit. Kekuatan tarik menggambarkan kemampuan material untuk menahan gaya yang berusaha untuk menarik material hingga patah atau rusak. Gambar 3 menunjukkan bahwa komposit dengan variasi perlakuan NaOH antara serat ampas tebu dan RSS *grade cutting* mempengaruhi kekuatan tarik yang dihasilkan. Serat ampas tebu yang digunakan mengalami perlakuan awal dengan perendaman menggunakan larutan NaOH. Larutan NaOH digunakan dalam preparasi serat ampas tebu untuk melarutkan lignin, hemiselulosa, dan komponen non-selulosa lainnya yang dapat menghambat pembentukan ikatan antara serat dan matriks karet RSS *grade cutting*. Gambar 3 menunjukkan pengaruh perlakuan alkali (NaOH) terhadap kekuatan tarik bio-komposit yang dibuat dari serat ampas tebu dengan matriks karet jenis RSS *grade cutting*. Perbandingan massa serat dengan matriks disajikan dalam perbandingan 1:5, 1:6, 1:7, dan 1:8, dengan dua kondisi serat, yaitu serat yang telah diberi perlakuan NaOH dan serat tanpa perlakuan.

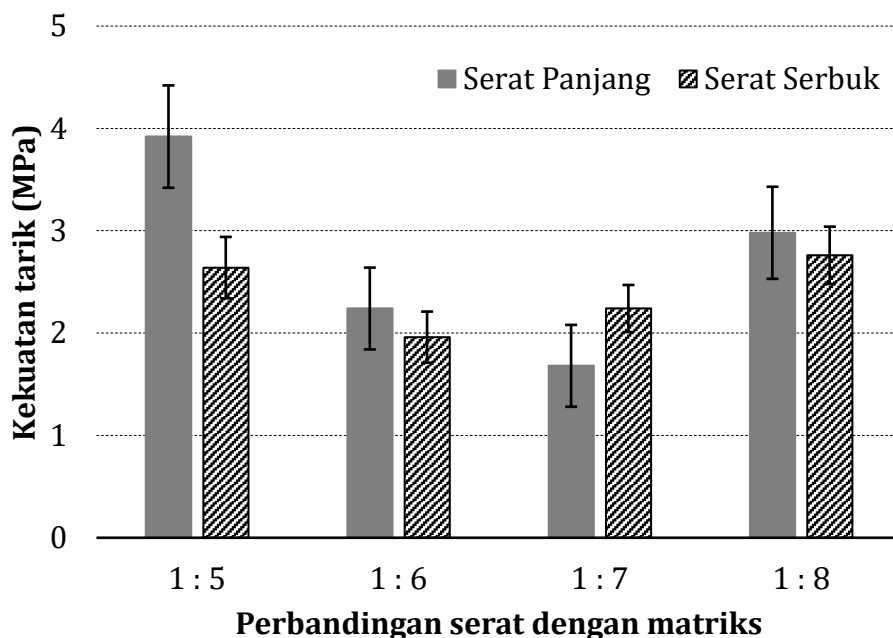


Gambar 3. Pengaruh Perlakuan terhadap Kekuatan Tarik pada Biokomposit dari Ampas Tebu dan RSS *grade cutting*.

Gambar 3 menunjukkan pengaruh perlakuan alkali (NaOH) terhadap kekuatan tarik bio-komposit ampas tebu dengan matriks dari *ribbed smoked sheet grade cutting* pada berbagai perbandingan massa serat terhadap matriks. Bio-komposit dengan serat yang diperlakukan NaOH menunjukkan nilai kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan sistem tanpa perlakuan pada seluruh rasio yang diuji. Pada perbandingan serat terhadap matriks 1:5, kekuatan tarik bio-komposit dengan perlakuan NaOH mencapai 3,92 MPa, sedangkan bio-komposit tanpa perlakuan hanya menunjukkan nilai 1,26 MPa. Pada rasio 1:6, kekuatan tarik bio-komposit mengalami penurunan, di mana bio-komposit dengan perlakuan NaOH menurun menjadi sekitar 2,24 MPa, sementara tanpa perlakuan menunjukkan nilai 0,91 MPa. Sedangkan pada rasio 1:7, kekuatan tarik biokomposit berkurang menjadi 1,68 MPa untuk bio-komposit yang mengalami perlakuan alkali (NaOH) dan sekitar 0,78 MPa tanpa perlakuan. Kekuatan tarik bio-komposit mengalami peningkatan pada perbandingan serat dengan matriks 1 : 8, kekuatan tarik bio-komposit dengan perlakuan NaOH menjadi sekitar 2,98 MPa, sedangkan komposit tanpa perlakuan mencapai sekitar 1,16 Mpa. Secara umum, perlakuan NaOH pada serat memberikan peningkatan signifikan terhadap kekuatan tarik bio-komposit dibandingkan dengan serat tanpa perlakuan. Peningkatan ini konsisten pada berbagai perbandingan massa serat terhadap matriks. Kekuatan tarik tertinggi tercapai pada bio-komposit dengan perbandingan serat terhadap matriks 1:5 dengan perlakuan alkali (NaOH), menunjukkan bahwa proporsi serat yang lebih tinggi, dikombinasikan dengan perlakuan alkali, memberikan hasil yang paling optimal untuk bio-komposit. Secara keseluruhan, perlakuan NaOH berperan penting dalam meningkatkan kinerja bio-komposit dengan meningkatkan adhesi antara serat ampas tebu dan matriks karet, sehingga dapat memberikan kekuatan tarik yang lebih baik. Pada penelitian yang dilakukan oleh Ng dkk. (2018) menunjukkan bahwa uji tarik biokomposit berbasis serat yang diperlakukan dengan NaOH memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan biokomposit tanpa perlakuan. Peningkatan kekuatan tarik berkaitan dengan adhesi di antara serat dengan matriks semakin baik akibat penurunan sifat hidrofilik serat dan meningkatnya kekasaran permukaan, sehingga transfer tegangan dari matriks ke serat berlangsung lebih efisien (Ng dkk., 2018).

3.2. Pengaruh Jenis Serat terhadap Kekuatan Tarik pada Bio-komposit dari Ampas Tebu dan RSS grade cutting

Gambar 4 menunjukkan pengaruh jenis serat (serat panjang dan serat serbuk) terhadap kekuatan tarik bio-komposit yang dibuat dari serat ampas tebu dengan matriks karet jenis RSS *grade cutting*. Kekuatan tarik diuji dengan membandingkan massa serat dengan matriks pada berbagai perbandingan, yaitu 1:5, 1:6, 1:7, dan 1:8.



Gambar 4. Pengaruh Jenis Serat terhadap Kekuatan Tarik pada Biokomposit dari Ampas Tebu dan RSS *grade cutting*.

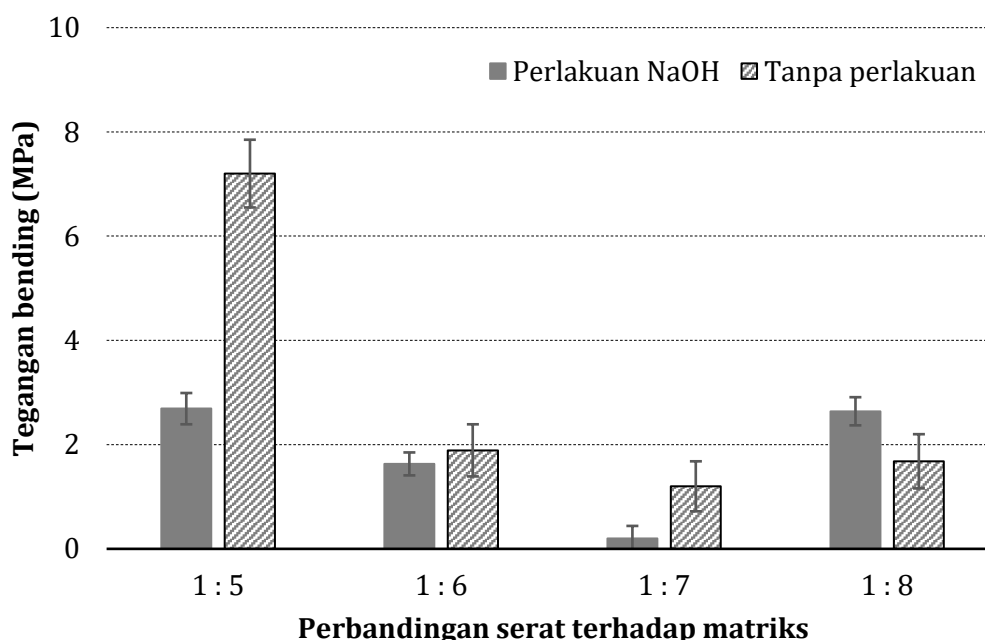
Pada perbandingan serat dengan matriks 1:5, bio-komposit dengan menggunakan serat panjang menunjukkan kekuatan tarik tertinggi pada 3,92 MPa, sedangkan bio-komposit dengan menggunakan serat serbuk mencapai sekitar 2,64 MPa. Pada perbandingan serat dengan matriks 1:6, kekuatan tarik bio-komposit dengan penggunaan serat panjang menurun menjadi 2,24 MPa, sementara bio-komposit dengan penggunaan serat serbuk berada pada 1,96 MPa. Pada perbandingan serat dengan matriks 1:7, bio-komposit dengan penggunaan serat panjang nilai kekuatan tarik menjadi 1,68 MPa. Sedangkan pada penggunaan serat panjang, nilai kekuatan tarik mengalami kenaikan menjadi 2,24 MPa. Pada perbandingan serat dengan matriks 1:8, kekuatan tarik bio-komposit menunjukkan peningkatan kekuatan tarik. Kekuatan tarik menunjukkan nilai 2,98 MPa untuk serat panjang dan 2,76 MPa untuk serat serbuk. Hal ini mengindikasikan bahwa serat panjang lebih efektif dalam menahan dan mendistribusikan beban tarik. Secara keseluruhan, hasil kuantitatif ini menunjukkan bahwa serat panjang lebih menguntungkan pada rasio serat tinggi karena mekanisme penahan beban yang berkelanjutan, sedangkan serat serbuk menunjukkan kinerja tarik yang kompetitif, bahkan lebih baik, pada rasio serat menengah akibat distribusi yang lebih seragam dan reduksi konsentrasi tegangan.

Kekuatan tarik pada serat panjang cenderung tetap lebih tinggi pada setiap perbandingan massa serat, menunjukkan bahwa serat panjang memberikan kontribusi penguatan yang lebih konsisten. Serat panjang memberikan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan serat serbuk pada setiap perbandingan massa serat dengan matriks. Hal ini disebabkan oleh sifat serat panjang yang dapat mendistribusikan beban lebih baik dalam matriks karet, serta memiliki ikatan antar serat yang lebih baik. Dari hasil analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa penggunaan serat panjang dengan perlakuan NaOH merupakan pilihan yang lebih baik untuk meningkatkan kekuatan tarik bio-komposit, terutama pada perbandingan massa serat dengan matriks yang lebih tinggi. Jenis serat berpengaruh terhadap kekuatan tarik dari sudut pandang efisiensi transfer tegangan dari

matriks ke serat. Serat yang terlalu pendek belum mampu menyalurkan beban secara optimal, sedangkan serat panjang mempunyai orientasi acak dan berpengaruh terhadap ikatan antarmuka (Bisaria dkk., 2015).

3.3. Pengaruh Perlakuan NaOH terhadap Tegangan Bending pada Biokomposit dari Ampas Tebu dan RSS *grade cutting*.

Gambar 5 menunjukkan pengaruh perlakuan NaOH terhadap tegangan bending pada material bio-komposit yang dibuat dari serat ampas tebu dengan matriks karet jenis RSS *grade cutting*. Perbandingan massa serat terhadap matriks yang diuji adalah 1:5, 1:6, 1:7, dan 1:8. Pada perbandingan serat terhadap matriks 1:5, bio-komposit tanpa perlakuan menunjukkan tegangan bending tertinggi, yaitu sekitar 7,20 MPa, sedangkan bio-komposit dengan perlakuan NaOH hanya mencapai sekitar 2,69 MPa. Pada perbandingan serat terhadap matriks 1:6, tegangan bending biokomposit dengan perlakuan NaOH mengalami penurunan menjadi 63 MPa, sementara bio-komposit tanpa perlakuan 1,89 MPa%. Pada perbandingan serat terhadap matriks 1:7, menunjukkan nilai tegangan bending yang rendah, di mana bio-komposit dengan perlakuan NaOH hanya mencapai sekitar 0,20 MPa, sedangkan tanpa perlakuan sekitar 1,20 MPa. Pada perbandingan serat terhadap matriks 1:8, tegangan bending bio-komposit dengan perlakuan NaOH meningkat hingga sekitar 2,64 MPa, lebih tinggi dibandingkan bio-komposit tanpa perlakuan yang mencapai 1,68 MPa.



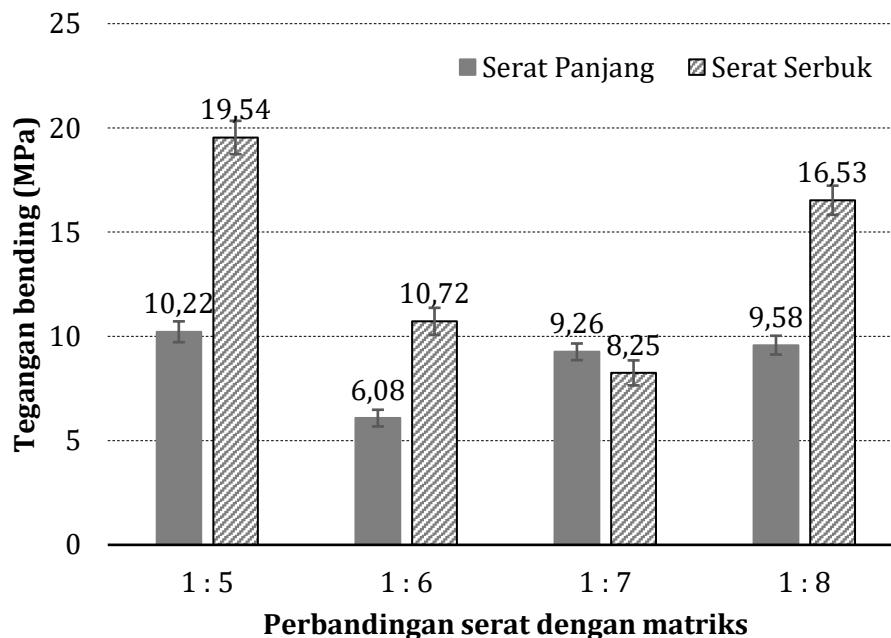
Gambar 5. Pengaruh Perlakuan NaOH terhadap Tegangan Bending pada Biokomposit dari Ampas Tebu dan RSS *grade cutting*.

Pada setiap perbandingan yang lebih tinggi, tegangan bending dengan perlakuan NaOH selalu lebih tinggi daripada tanpa perlakuan. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serat yang disertai dengan perlakuan NaOH dapat meningkatkan interaksi antara serat dan matriks, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap gaya lentur. Perbandingan massa serat yang lebih tinggi cenderung meningkatkan tegangan bending karena lebih banyak serat yang dapat berperan dalam menahan gaya lentur. Namun, pentingnya perlakuan NaOH sangat jelas terlihat pada nilai yang kontras antara material dengan perlakuan dan tanpa perlakuan, yang menunjukkan pengaruh besar perlakuan alkali dalam meningkatkan kekuatan mekanik. Perlakuan NaOH pada serat ampas tebu secara signifikan meningkatkan tegangan bending material bio-komposit. Hal ini disebabkan oleh

peningkatan adhesi antara serat dan matriks, yang dihasilkan dari permukaan serat yang lebih kasar setelah perlakuan alkali (Sajin dkk., 2021). Perlakuan alkali meningkatkan tegangan bending dan disertai dengan penurunan regangan lentur menunjukkan transisi perilaku material menuju respon yang lebih kaku. Peningkatan sifat lentur dikaitkan dengan perbaikan kualitas antarmuka serat-matriks karena berkurangnya celah antarmuka, dan meningkatnya interlocking mekanik (Yan dkk., 2016).

3.4. Pengaruh Jenis Serat terhadap Tegangan Bending pada Biokomposit dari Ampas Tebu dan RSS *grade cutting*.

Gambar 6 menunjukkan pengaruh jenis serat (serat panjang dan serat serbuk) terhadap tegangan bending pada pembuatan bio-komposit dari ampas tebu dengan matriks karet jenis RSS *grade cutting*. Perbandingan massa serat dengan matriks yang diuji adalah 1:5, 1:6, 1:7, dan 1:8. Secara keseluruhan, terlihat bahwa serat serbuk menghasilkan tegangan bending yang lebih tinggi dibandingkan dengan serat panjang pada sebagian besar perbandingan massa serat dengan matriks. Hal ini menunjukkan bahwa serat serbuk lebih efektif dalam meningkatkan ketahanan terhadap lentur pada biokomposit dibandingkan dengan serat panjang. Serat serbuk memiliki area kontak yang lebih luas dengan matriks, yang menghasilkan ikatan antar serat dan matriks yang lebih baik, sehingga memberikan peningkatan pada tegangan bending.



Gambar 6. Pengaruh Jenis Serat terhadap Tegangan Bending pada Biokomposit dari Ampas Tebu dan RSS *grade cutting*.

Berdasarkan Gambar 6 terlihat bahwa jenis serat berpengaruh terhadap kinerja mekanis bio-komposit matriks ampas tebu dan RSS *grade cutting*. Penggunaan serat panjang secara konsisten menghasilkan kekuatan bending yang lebih tinggi dibandingkan serat serbuk pada seluruh variasi perbandingan serat terhadap matriks. Pada perbandingan serat terhadap matriks 1:5, biokomposit dengan serat panjang menunjukkan tegangan bending tertinggi 10,22 MPa, sedangkan biokomposit dengan serat serbuk mencapai 19,54 MPa. Kenaikan volume matriks pada bio-komposit menghasilkan penurunan tegangan bending pada penggunaan serat panjang menjadi sekitar 6,08 MPa, sementara serat serbuk menunjukkan nilai 10,72 MPa. Pada perbandingan serat terhadap matriks 1:7, tegangan bending pada bio-komposit yang menggunakan serat panjang

mengalami kenaikan menjadi 8,25 MPa, sedangkan serat serbuk menjadi 9,26 MPa. Pada perbandingan serat terhadap matriks 1:8, tegangan bending biokomposit dengan serat panjang mengalami peningkatan hingga 9,58 MPa, sedangkan serat serbuk mengalami kenaikan mencapai 16,53 MPa.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada perbandingan ini, penggunaan serat serbuk memberikan kontribusi yang jauh lebih besar dalam meningkatkan kekuatan lentur. Serat serbuk cenderung memiliki distribusi yang lebih merata dalam matriks, yang berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan mekanik, termasuk tegangan bending. Pada perbandingan serat yang lebih tinggi, penggunaan serat serbuk memberikan kekuatan lentur yang lebih baik dibandingkan penggunaan serat panjang. Serat serbuk juga memiliki sifat yang memungkinkan matriks untuk lebih mudah mengisi celah-celah di antara serat, yang meningkatkan homogenitas komposit dan meningkatkan ketahanan terhadap gaya lentur. Penggunaan serat serbuk umumnya memberikan tegangan bending yang lebih tinggi dibandingkan dengan serat panjang. Panjang serat sangat memengaruhi performa mekanik biokomposit, di mana serat yang lebih pendek lebih mudah terdispersi dan mampu mengisi matriks secara lebih homogen, sehingga menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan serat yang lebih panjang (Suherman dkk., 2021). Hal ini menunjukkan bahwa serat serbuk lebih efektif dalam memperkuat biokomposit terhadap gaya lentur.

5. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ampas tebu dan limbah karet *ribbed smoked sheet* (RSS) grade cutting dapat dikombinasikan secara efektif untuk menghasilkan biokomposit dengan kinerja mekanik yang dapat disesuaikan melalui pengaturan kondisi serat dan komposisi. Perlakuan alkali menggunakan NaOH akan meningkatkan kekuatan tarik biokomposit secara konsisten pada seluruh perbandingan massa serat–matriks yang diuji, dengan nilai maksimum dicapai pada perbandingan serat terhadap matriks 1:5. Jenis serat memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kekuatan tarik. Serat panjang lebih efektif dalam meningkatkan kekuatan tarik dibandingkan dengan penggunaan serat serbuk. Pada pengujian lentur, nilai tegangan bending tertinggi mencapai $\pm 19,54$ MPa pada rasio 1:8 ketika menggunakan serat serbuk, menunjukkan bahwa fraksi serat rendah hingga menengah lebih menguntungkan untuk aplikasi yang menuntut ketahanan lentur. Hasil pengujian lentur menunjukkan bahwa pengaruh perlakuan NaOH dan penggunaan serat panjang menunjukkan peningkatan tegangan bending pada volume matriks yang rendah. Hasil penelitian ini potensi ampas tebu dan limbah RSS sebagai bahan baku alternatif yang berkelanjutan untuk aplikasi material komposit di bidang Teknik Kimia dan rekayasa material.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPM) Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi melalui skema Penelitian BIMA yang telah memberikan dukungan pendanaan melalui Penelitian Tesis Magister tahun 2024.

References

- Adekunle, K. F. (2015). Surface treatments of natural fibres—A review: Part 1. *Open Journal of Polymer Chemistry*, 5(03), 41.
- Bisaria, H., Gupta, M. K., Shandilya, P., & Srivastava, R. K. (2015). Effect of Fibre Length on Mechanical Properties of Randomly Oriented Short Jute Fibre Reinforced Epoxy Composite. *Materials Today: Proceedings*, 2(4), 1193–1199.

- Ibrahim, M., Sapuan, S., Zainudin, E., & Zuhri, M. (2020). Preparation and characterization of cornhusk/sugar palm fiber reinforced Cornstarch-based hybrid composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(1), 200–211.
- Karp, S. G., Woiciechowski, A. L., Soccol, V. T., & Soccol, C. R. (2013). Pretreatment strategies for delignification of sugarcane bagasse: a review. *Brazilian archives of biology and technology*, 56, 679–689.
- Kordkheili, H. Y., Hiziroglu, S., & Farsi, M. (2012). Some of the physical and mechanical properties of cement composites manufactured from carbon nanotubes and bagasse fiber. *Materials & Design*, 33, 395–398.
- Loh, Y., Sujan, D., Rahman, M. E., & Das, C. A. (2013). Sugarcane bagasse—The future composite material: A literature review. *Resources, Conservation and Recycling*, 75, 14–22.
- Luz, S. M. d., Goncalves, A. R., & Del'Arco Jr, A. (2007). Mechanical behavior and microstructural analysis of sugarcane bagasse fibers reinforced polypropylene composites. *Composites Part A: applied science and manufacturing*, 38(6), 1455–1461.
- Moubarik, A., Grimi, N., & Boussetta, N. (2013). Structural and thermal characterization of Moroccan sugar cane bagasse cellulose fibers and their applications as a reinforcing agent in low density polyethylene. *Composites Part B: Engineering*, 52, 233–238.
- Ng, Y., Shahid, S., & Nordin, N. (2018). The effect of alkali treatment on tensile properties of coir/polypropylene biocomposite. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- Ramesh, M., & Deepa, C. (2018). Processing of green composites. In *Green Composites: Processing, Characterisation and Applications for Textiles* (pp. 47–72). Springer.
- Ramesh, M., Palanikumar, K., & Reddy, K. H. (2017). Plant fibre based bio-composites: Sustainable and renewable green materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 558–584.
- Ramesh, M., Rajeshkumar, L., & Bhuvaneswari, V. (2022). Leaf fibres as reinforcements in green composites: a review on processing, properties and applications. *Emergent Mater* 5: 833–857. In.
- Reddy, A. V., Bharathiraja, G., & Jayakumar, V. (2020). Experimental investigation on sugarcane powder filled glass fiber epoxy composite. *Materials Today: Proceedings*, 22, 762–765.
- Ribeiro Filho, S. L. M., Oliveira, P. R., Panzera, T. H., & Scarpa, F. (2019). Impact of hybrid composites based on rubber tyres particles and sugarcane bagasse fibres. *Composites Part B: Engineering*, 159, 157–164.
- Sajin, J., Aurtheron, P. B., Binoj, J., Manikandan, N., Saravanan, M. S., & Haarrison, T. (2021). Influence of fiber length on mechanical properties and microstructural analysis of jute fiber reinforced polymer composites. *Materials Today: Proceedings*, 39, 398–402.
- Sathees Kumar, S., Mugesh Raja, V., Chakravarthy, C. N., & Muthalagu, R. (2021). Determination of mechanical properties and characterization of alkali treated sugarcane bagasse, pine apple leaf and sisal fibers reinforced hybrid polyester composites for various applications. *Fibers and Polymers*, 22(6), 1675–1683.
- Sood, M., & Dwivedi, G. (2018). Effect of fiber treatment on flexural properties of natural fiber reinforced composites: A review. *Egyptian journal of petroleum*, 27(4), 775–783.
- Suherman, H., Aksa, K., Mahyoedin, Y., Septe, E., & Irmayani, I. (2021). The effect of different fibre lengths on the mechanical properties of biocomposites. *Mater Plast*, 58, 216–221.
- Toscano Miranda, N., Lopes Motta, I., Maciel Filho, R., & Wolf Maciel, M. R. (2021). Sugarcane bagasse pyrolysis: A review of operating conditions and products properties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111394.
- Vigneshwaran, S., Sundarakannan, R., John, K., Johnson, R. D. J., Prasath, K. A., Ajith, S., Arumugaprabu, V., & Uthayakumar, M. (2020). Recent advancement in the natural fiber polymer composites: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 277, 124109.
- Vilay, V., Mariatti, M., Taib, R. M., & Todo, M. (2008). Effect of fiber surface treatment and fiber loading on the properties of bagasse fiber–reinforced unsaturated polyester composites. *Composites Science and Technology*, 68(3–4), 631–638.
- Walte, A. B., Bhole, K., & Gholave, J. (2020). Mechanical characterization of coir fiber reinforced composite. *Materials Today: Proceedings*, 24, 557–566.

- Yan, L., Chouw, N., Huang, L., & Kasal, B. (2016). Effect of alkali treatment on microstructure and mechanical properties of coir fibres, coir fibre reinforced-polymer composites and reinforced-cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 112, 168–182.
- Zafeer, M. K., Prabhu, R., Rao, S., Mahesha, G. T., & Bhat, K. S. (2023). Mechanical Characteristics of Sugarcane Bagasse Fibre Reinforced Polymer Composites: A Review. *Cogent Engineering*, 10(1), 2200903.
- Zanatta, E. R., Reinehr, T. O., Awadallak, J. A., Kleinübing, S. J., dos Santos, J. B. O., Bariccatti, R. A., Arroyo, P. A., & da Silva, E. A. (2016). Kinetic studies of thermal decomposition of sugarcane bagasse and cassava bagasse. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 125(1), 437–445.