

ANALYSIS OF BENDING AND TENSILE STRENGTH OF KENAF FIBER REINFORCED COMPOSITES WITH VARIATIONS IN FIBER LENGTH 1cm - 5 cm

[ANALISIS KEKUATAN BENDING DAN TARIK PADA KOMPOSIT DIPERKUAT SERAT KENAF DENGAN VARIASI PANJANG SERAT 1 cm - 5 cm]

Faisal Aditya Alfiansyah¹⁾, Edi Widodo²⁾, Prantasi Harmi Tjahjanti³⁾, Iswanto⁴⁾.

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: ediwido@umsida.ac.id

Abstract. *This study was conducted to determine the effect of varying kenaf fiber length on the bending and tensile strength of a polyester resin-matrix composite material. Kenaf fiber (*Hibiscus cannabinus* L.) was used as the reinforcing material, varying in lengths of 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, and 5 cm. The composite was fabricated using the hand lay-up method, using a mixture of polyester resin and mexpo catalyst as the binding matrix. Prior to fabrication, the fibers were soaked in a 5% NaOH solution for 2 hours as an alkali treatment to improve adhesion between the fibers and the matrix. Mechanical testing included bending tests based on ASTM International standard ASTM D790 and tensile tests based on ASTM D3039. The results showed that varying fiber lengths affected the mechanical characteristics of the composite. In bending tests, the 4 cm fiber length specimen demonstrated the highest bending stress value of 6,631,560 N/mm² with an average load of 170,041 N. Meanwhile, the highest bending modulus of elasticity was obtained with a 2 cm fiber length variation, with a value of 6.2317×10^{10} MPa. In tensile tests, the maximum tensile stress value was obtained with a 1 cm fiber length specimen, at 13,664 N/mm², while the highest tensile modulus of elasticity was found with a 3 cm fiber length variation, with a value of 597,551 N/mm². Based on these results, it can be concluded that variations in kenaf fiber length affect the bending and tensile strength of the composite. The use of kenaf fiber as a reinforcing material also shows good potential for improving the mechanical properties of composites while also being an environmentally friendly alternative material.*

Keywords - composite, kenaf fiber, bending test, tensile test, hand lay-up.

Abstrak. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi panjang serat kenaf terhadap kekuatan bending dan kekuatan tarik pada material komposit bermatriks resin polyester. Serat kenaf *Hibiscus cannabinus* L. digunakan sebagai material penguat dengan variasi panjang 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, dan 5 cm. Pembuatan komposit dilakukan menggunakan metode hand lay-up dengan campuran resin polyester dan katalis mexpo sebagai matriks pengikat. Sebelum proses fabrikasi, serat terlebih dahulu direndam dalam larutan NaOH 5% selama 2 jam sebagai perlakuan alkali guna meningkatkan daya rekat antara serat dan matriks. Pengujian mekanik yang dilakukan meliputi uji bending berdasarkan standar ASTM International ASTM D790 serta uji tarik berdasarkan standar ASTM D3039. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa perbedaan panjang serat memberikan pengaruh terhadap karakteristik mekanik komposit. Pada pengujian bending, spesimen dengan panjang serat 4 cm menunjukkan nilai tegangan bending tertinggi sebesar 6.631.560 N/mm² dengan rata-rata beban sebesar 170,041 N. Sementara itu, modulus elastisitas bending terbesar diperoleh pada variasi panjang serat 2 cm dengan nilai $6,2317 \times 10^{10}$ MPa. Pada pengujian tarik, nilai tegangan tarik maksimum diperoleh pada spesimen dengan panjang serat 1 cm sebesar 13,664 N/mm², sedangkan modulus elastisitas tarik tertinggi terdapat pada variasi panjang serat 3 cm dengan nilai 597,551 N/mm². Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa variasi panjang serat kenaf berpengaruh terhadap kekuatan bending maupun kekuatan tarik komposit. Penggunaan serat kenaf sebagai material penguat juga menunjukkan potensi yang baik dalam meningkatkan sifat mekanik komposit sekaligus menjadi alternatif material ramah lingkungan.

Kata kunci: komposit, serat kenaf, uji bending, uji tarik, hand lay-up.

I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi dalam material telah menunjukkan dampak positif bagi sektor industri, termasuk manufaktur, otomotif, dan bidang lainnya. Salah satu area yang mengalami pertumbuhan sangat cepat adalah dunia teknik. Dengan adanya perbaikan dari waktu ke waktu, pemakaian material menjadi semakin efektif. Terutama, komposit yang terbuat dari serat alami sangat penting untuk perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sebagai pilihan lain. Dibandingkan dengan logam, komposit memiliki banyak kelebihan, seperti ketahanan terhadap korosi, desain yang bisa disesuaikan, ketangguhan yang baik, dan bobot yang ringan.[1] Komposit terbuat dari dua atau lebih bahan yang memberikan kinerja mekanik yang lebih unggul dibandingkan bahan aslinya. Umumnya, bahan komposit terdiri dari dua bagian, yakni serat yang berfungsi sebagai penguat serta matriks yang berperan sebagai pengikat serat tersebut. Komposit yang menggunakan serat alami sebagai penguat memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan yang menggunakan serat sintetis. Dengan mengganti serat sintetis dengan serat alam, tingkat kekuatan dan modulus spesifiknya akan menjadi lebih tinggi, lebih ramah lingkungan, memberikan penghematan biaya dalam proses produksi yang lebih baik, serta menghasilkan emisi karbon yang lebih rendah, dapat terurai secara alami, dan yang paling penting, tidak mengandung bahaya bagi kesehatan pekerja dan nyaman digunakan. Komposit serat alam juga memiliki sifat penyerapan dan isolasi akustik yang mudah. Serat alam memiliki sifat mekanik yang cukup baik, didukung oleh komposisi kimia yang terkandung di dalamnya. Komposisi tersebut antara lain berupa selulosa, hemiselulosa, lignin, serta lapisan lilin yang berperan dalam membentuk karakteristik khas serat alam.[2]

Matriks berfungsi sebagai pengikat yang menyatukan serat sebagai bahan penguat komposit, memastikan bahwa serat tetap dalam posisi dan orientasi yang tepat. Matriks yang digunakan dalam pembuatan komposit adalah resin *polyester* dalam bentuk cair. Resin ini akan mengalami proses perubahan dari fase cair menjadi padatan yang keras dan relatif getas melalui mekanisme ikatan silang. Selain berfungsi sebagai pengikat, resin juga berperan penting dalam melindungi serat dari potensi kerusakan akibat paparan bahan kimia. Pemilihan jenis matriks harus mempertimbangkan sifat-sifat tertentu, seperti ketahanan terhadap suhu tinggi, kemampuan menahan kondisi lingkungan yang buruk, serta ketahanan terhadap guncangan yang dapat merusak struktur serat. Secara umum, bahan polimer yang banyak dimanfaatkan sebagai matriks dalam pembuatan komposit terbagi menjadi dua kategori utama yaitu termoplastik dan *thermoset*. [3]

Salah satu jenis tanaman penghasil serat adalah Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L) yaitu tanaman serat tahunan yang berasal dari keluarga *Malvaceae* yang juga mencakup tanaman seperti kapas (*Gossypium*), okra (*Abelmoschus esculentus*), dan rosella (*Hibiscus sabdariffa*). Tanaman ini dikenal karena potensi seratnya yang tinggi, cepat tumbuh (dapat dipanen dalam waktu 4–5 bulan), dan kemampuannya untuk tumbuh di berbagai kondisi iklim tropis hingga subtropis. Memiliki batang yang tinggi bisa mencapai 2-5 meter, silindris, dan memiliki kandungan serat yang tinggi. Bagian kulit (*bast*) menghasilkan serat panjang, sementara inti batang (*core*) digunakan sebagai bahan tambahan industri seperti papan partikel. Daunnya bersifat berjari (*palmatilobed*) dengan jumlah lobus 3–7, tergantung pada varietas dan tahap pertumbuhan. Untuk bunganya sendiri mirip bunga kapas, berwarna kuning atau krem dengan bagian tengah keunguan, dan berumur pendek (mekar hanya beberapa hari).[4] Kenaf sendiri memiliki buah dan biji, buahnya berupa kapsul dengan biji kecil yang mengandung minyak sekitar 20%–25%, sehingga juga berpotensi sebagai bahan baku bioenergi. Kenaf memiliki banyak manfaat industri karena karakteristik serat dan kandungan selulosanya, di antaranya pada industri serat kenaf digunakan untuk membuat karung, tali, dan kain kasar. Kandungan selulosa yang tinggi menjadikan kenaf bahan alternatif untuk pembuatan *pulp* dan kertas. Bagian inti batang digunakan untuk membuat papan ringan dan produk bangunan ramah lingkungan. Tidak hanya pada dunia industri, di dunia otomotif serat kenaf digunakan untuk panel pintu dan komponen interior kendaraan karena ringan dan ramah lingkungan. Ternyata kenaf juga bisa digunakan untuk biodiesel, dan biomassa tanaman untuk *biofuel* (bahan bakar hayati) yang di dapat dari biji tumbuhan kenaf itu sendiri.[5]

Pengujian tarik merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui sifat mekanik suatu material dengan cara memberikan gaya tarik pada spesimen uji hingga mengalami deformasi atau patah. Melalui pengujian ini dapat diketahui kemampuan material dalam menahan beban tarik serta perubahan panjang yang terjadi selama proses pembebanan. Peralatan uji tarik harus memiliki tingkat ketelitian yang baik, sistem penjepit yang kuat, dan kekakuan alat yang memadai agar data hasil pengujian lebih akurat. Uji tarik termasuk jenis pengujian destruktif karena spesimen mengalami kerusakan setelah dilakukan pengujian. Beberapa parameter yang dapat diperoleh dari

pengujian ini meliputi tegangan tarik maksimum, modulus elastisitas, tegangan luluh, dan regangan material. Pada penelitian ini, pengujian tarik dilakukan berdasarkan standar ASTM *International* ASTM D3039 sehingga proses pengujian dan dimensi spesimen mengikuti ketentuan standar internasional agar hasil yang diperoleh memiliki tingkat validitas yang baik.[6]

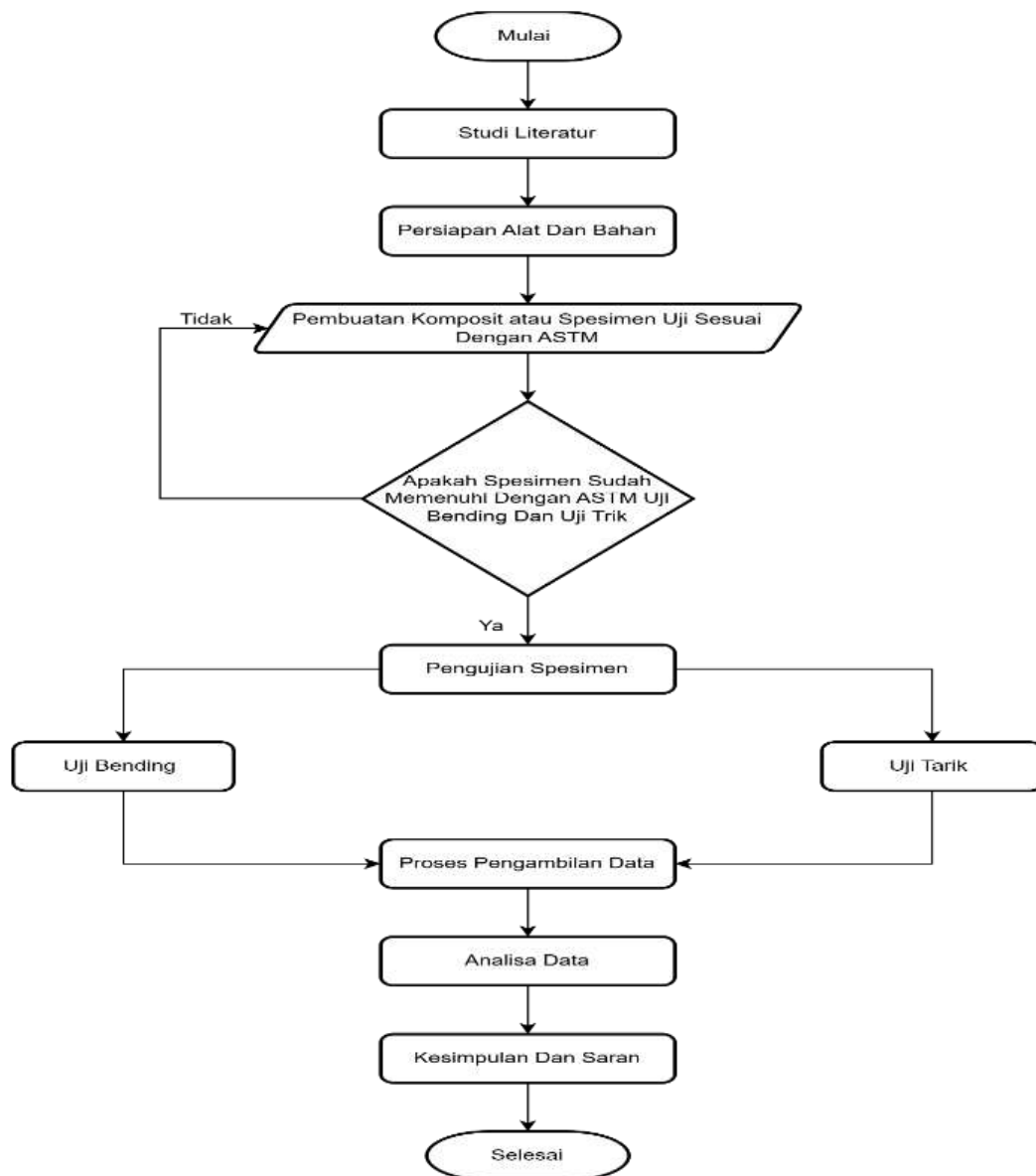
Selain uji tarik, penelitian ini juga menggunakan pengujian *bending* untuk mengetahui kemampuan material komposit dalam menerima pembebanan lentur. Kekuatan bending merupakan kemampuan material dalam menahan tegangan akibat gaya luar sebelum mengalami kerusakan atau deformasi berlebih. Pada saat pengujian berlangsung, bagian atas spesimen menerima gaya tekan sedangkan bagian bawah menerima gaya tarik. Pada material komposit, kegagalan umumnya terjadi ketika material tidak mampu menahan tegangan tarik yang bekerja sehingga spesimen mengalami retak atau patah. Besarnya kekuatan bending dipengaruhi oleh jenis material, struktur komposit, serta besar beban yang diberikan selama pengujian. Metode pengujian bending yang digunakan dalam penelitian ini adalah three-point bending test berdasarkan standar ASTM D790.[7]

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi panjang serat kenaf (*Hibiscus cannabinus L.*) terhadap kekuatan mekanik material komposit berbasis resin. Variasi panjang serat yang digunakan yaitu 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, dan 5 cm. Dalam proses pembuatan komposit, matriks berfungsi sebagai bahan pengikat yang menyatukan serat sehingga komposit memiliki bentuk dan kekakuan yang baik sesuai standar pengujian yang digunakan. Resin dipilih karena memiliki kemampuan menyebar dan melekat dengan baik pada permukaan serat sehingga ikatan antara matriks dan serat menjadi lebih kuat. Penelitian ini menggunakan dua jenis pengujian mekanik, yaitu uji tarik berdasarkan ASTM D3039 dan uji *bending* berdasarkan ASTM D790. Melalui kedua pengujian tersebut diharapkan dapat diketahui karakteristik kekuatan komposit berpenguat serat kenaf pada setiap variasi panjang serat yang digunakan.[8]

Variasi panjang serat 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, dan 5 cm diterapkan untuk mengamati pengaruh ukuran serat terhadap performa mekanik material komposit. Perbedaan panjang serat dapat memengaruhi proses penyaluran gaya dari matriks menuju serat penguat saat material menerima pembebanan. Serat dengan ukuran yang lebih pendek cenderung memiliki kemampuan pengikatan yang lebih rendah, sedangkan serat yang lebih panjang mampu meningkatkan kontak antar material sehingga kekuatan komposit dapat meningkat. Akan tetapi, penggunaan serat yang terlalu panjang juga dapat menyebabkan distribusi serat menjadi tidak merata dan berpotensi menimbulkan cacat pada komposit. Oleh sebab itu, variasi panjang serat dilakukan untuk memperoleh ukuran serat yang memberikan karakteristik mekanik terbaik pada material komposit.[9]

II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk menganalisis sifat mekanik material komposit polimer yang diperkuat menggunakan serat kenaf *Hibiscus cannabinus L.* melalui pengujian tarik dan bending. Bahan yang digunakan terdiri dari resin polyester 801 sebagai matriks dan serat kenaf sebagai bahan penguat dengan fraksi berat serat sebesar 2%. Sebelum proses fabrikasi dilakukan, serat terlebih dahulu diberi perlakuan alkali dengan cara merendamnya ke dalam larutan NaOH 5% selama 2 jam untuk meningkatkan kualitas ikatan antara serat dan matriks.[10] Pembuatan spesimen komposit dilakukan menggunakan metode hand lay-up, kemudian dilanjutkan dengan proses curing hingga material mengeras dan membentuk spesimen sesuai kebutuhan pengujian. Pengujian tarik dilaksanakan berdasarkan standar ASTM *International* ASTM D3039, sedangkan pengujian bending mengacu pada standar ASTM D790. Data hasil pengujian berupa nilai tegangan, regangan, beban, dan defleksi selanjutnya dianalisis dalam bentuk tabel dan grafik guna mengetahui pengaruh variasi panjang serat terhadap karakteristik mekanik komposit yang dihasilkan. Seluruh rangkaian penelitian dilaksanakan di Laboratorium Politeknik Negeri Malang, sedangkan alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

A. Persiapan Material dan Metode Pembuatan Komposit Polimer

Adapun material pada komposit polimer yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

1) Serat kenaf (*Hibiscus cannabinus L*)

Serat kenaf (*Hibiscus cannabinus L*) merupakan salah satu jenis serat alami yang memiliki banyak keunggulan serta potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai penguat dalam material komposit, khususnya komposit berbasis polimer. Pemanfaatan serat kenaf sebagai bahan penguat menjadi topik penelitian yang menarik karena secara umum, produksi komposit polimer masih didominasi oleh penggunaan serat sintesis seperti serat karbon, dan kaca. Namun demikian, serat kenaf menawarkan sifat mekanik yang sebanding dengan serat sintesis, disertai dengan biaya pengolahan yang relatif lebih rendah sehingga menjadi alternatif yang lebih ekonomis. Tanaman kenaf sendiri memiliki kandungan kimia utama berupa holoselulosa, selulosa, dan lignin yang berperan dalam menentukan karakteristik serat. Oleh sebab itu, upaya untuk mencari alternatif bahan penguat komposit berbasis serat alami semakin mendorong minat dalam pemanfaatan serat kenaf pada berbagai aplikasi rekayasa material.[8] Untuk tumbuhan dan serat kenaf bisa dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.



(A)



(B)

Gambar 2. (A) Tumbuhan Serat Kenaf (*Hibiscus cannabinus L*) (B) Serat Kenaf (*Hibiscus cannabinus L*)

2) NaOH (*Natrium Hidroksida*)

Natrium hidroksida (NaOH) adalah senyawa kimia anorganik yang bersifat basa (alkali), berbentuk kristal berwarna putih, higroskopis, serta mudah larut dalam air. Senyawa ini dapat membentuk hidrat dengan rumus umum $\text{NaOH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Ketika dilarutkan ke dalam air, NaOH akan terionisasi menghasilkan ion natrium (Na^+) dan ion hidroksida (OH^-), sehingga larutan yang terbentuk memiliki sifat basa (alkali).[10] Kemampuan NaOH untuk meningkatkan pH larutan secara signifikan menjadikannya bahan proses alkali terhadap serat *kenaf* dapat menghilangkan pengotor pada permukaan serat dan membuat diameter menjadi lebih kecil. Secara umum, ketika serat semakin kecil maka kekuatan material komposit semakin tinggi. Untuk NaOH (*Natrium Hidroksida*) bisa dilihat pada Gambar 3. Berikut persamaan rumus yang digunakan sebagai proses alkali. [11]

$$M \text{ NaOH} = \frac{n}{v} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

n = Massa NaOH (gram)

v = Massa Volume Air (ml)



Gambar 3. Serpihan Natrium Hidroksida (NaOH)

3) Matriks

Matriks yang digunakan dalam proses pembuatan komposit pada penelitian ini adalah resin bening *polyester* tipe 801 yang berfungsi sebagai pengikat serat penguat. Resin *polyester* 801 termasuk jenis resin *polyester* tak jenuh yang cukup banyak dimanfaatkan pada berbagai kebutuhan industri, terutama dalam pembuatan material

komposit. Penggunaan resin sebagai matriks bertujuan untuk menyatukan serat sehingga terbentuk material komposit dengan kekuatan mekanik yang baik.[12] Pada material komposit, kualitas ikatan antara serat dan matriks sangat mempengaruhi kekuatan material yang dihasilkan. Selain itu, matriks juga harus memiliki kecocokan secara kimia dengan serat agar tidak menimbulkan reaksi yang dapat menurunkan kualitas komposit. Dalam pemilihannya, matriks perlu memiliki beberapa karakteristik penting seperti tahan terhadap panas, kondisi lingkungan, serta mampu meredam getaran dengan baik. Oleh karena itu, pemilihan jenis matriks menjadi salah satu faktor penting dalam proses pembuatan komposit berbasis serat.[13] Gambar 4 menunjukkan bentuk cairan resin *polyester* 801 yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 4. Resin Bening *Polyester* Tipe 801

4) Katalis Mexpo

Pada proses pengerasan resin dibutuhkan juga yaitu katalis, pada Gambar 5 dibawah ini merupakan contoh katalis mexpo yang berperan sebagai bahan tambahan yang berfungsi mempercepat reaksi curing atau proses pengerasan, sehingga pengerasan dapat berlangsung lebih cepat meskipun hanya pada suhu ruang. Katalis yang digunakan dalam proses curing pada cairan resin ini menggunakan katalis berjenis *mexpo* (*methyl ethyl ketone peroxide*). Penggunaan katalis dalam proses ini mempercepat reaksi pengeringan atau curing, mengubah resin dari bentuk cair menjadi padat dan keras lebih cepat, terutama untuk pembuatan komposit membutuhkan waktu pengeringan yang lama terutama jika tidak ada katalis yang digunakan. Penggunaan katalis memungkinkan komposit selesai lebih cepat dan meningkatkan efisiensi proses pembuatan komposit. Penggunaan katalis dalam jumlah yang berlebihan dapat memicu timbulnya panas berlebih selama proses pengerasan. Kondisi ini berpotensi merusak hasil akhir dan menyebabkan penurunan pada kekuatan maupun kualitas komposit yang dihasilkan.[14]



Gambar 5. Katalis Mexpo

5) Aquadest

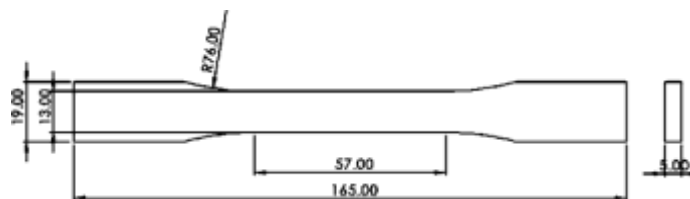
Aquadest, juga dikenal sebagai air demineralisasi atau air suling, adalah air yang telah diolah untuk menghilangkan kontaminan seperti mineral, ion, dan zat organik. Salah satu penggunaan aquadest pada penelitian ini adalah untuk melarutkan *natrium hidroksida*. [15] Pada Gambar 6 merupakan contoh dari aquadest.



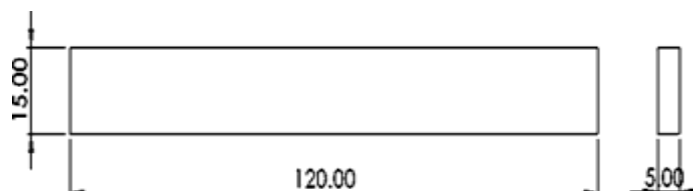
Gambar 6. Aquadest

6) Metode *Hand Lay Up*

Pembuatan komposit berbahan serat kenaf dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya adalah metode *Hand Lay-Up* yang dikenal sebagai teknik paling sederhana dan banyak digunakan. Metode ini dipilih karena memiliki sejumlah keunggulan, antara lain biaya produksi yang relatif rendah, tingkat fleksibilitas yang tinggi, serta tidak membutuhkan peralatan khusus dalam proses pembuatannya. Dalam metode *Hand Lay Up*, digunakan jarum untuk merapikan serat dan mengurangi gelembung pada resin. Ujung jarum yang tajam membantu meminimalkan terbentuknya gelembung baru saat merapikan serat serta menghilangkan kelembaban pada komposit. [16] Serat harus diletakkan lurus dengan panjang sesuai dengan cetakan yang digunakan. Untuk membuat spesimen, cetakan terbuat dari silikon dipilih agar mudah dicopot setelah mengeras, dan cetakan silikon ini dapat digunakan berkali-kali. Pengujian tarik menggunakan ASTM D3039, sedangkan untuk pengujian *bending* menggunakan ASTM D790. Konsep cetakan untuk uji tarik dapat dilihat pada Gambar 7 dan uji *bending* bisa dilihat pada Gambar 8.



Gambar 7. Spesimen Uji Tarik ASTM D3039



Gambar 8. Spesimen Uji *Bending* ASTM D790

B. Perhitungan Komposisi Pada Pembuatan Komposit Polimer

Penentuan takaran dan persiapan bahan pada pembuatan komposit dilakukan melalui perhitungan komposisi material untuk memperoleh perbandingan matriks dan penguat yang tepat sehingga menghasilkan sifat mekanik yang optimal. Salah satu aspek penting yang berpengaruh terhadap sifat komposit adalah perbandingan antara matriks dan serat penguat. Perbandingan tersebut biasanya dinyatakan dalam bentuk fraksi volume serat. Adapun perhitungan fraksi volume serat dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut.[17]

$$V_f = \frac{m_f/p_f}{m_f/p_f + m_f/p_m} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

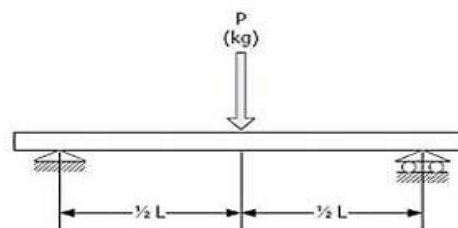
- V_f : Fraksi volume serat
- m_f : Massa Berat Serat (gr)
- p_f : Massa jenis serat (gr/mm³)
- p_m : Massa jenis matrik (gr/mm³)

Penggunaan persamaan fraksi volume serat bertujuan untuk mengetahui perbandingan kandungan serat terhadap total volume komposit yang terdiri dari serat dan matriks. Nilai fraksi volume serat memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik mekanik komposit, seperti kekuatan, kekakuan, dan daya tahan material. Melalui perhitungan tersebut, komposisi bahan penyusun komposit dapat dikendalikan dengan lebih tepat sehingga material yang dihasilkan mampu memenuhi kebutuhan dan fungsi pada proses aplikasi tertentu.

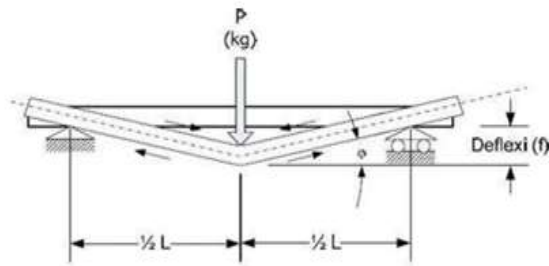
C. Pengujian komposit

1) Pengujian *bending*

Uji *bending* adalah pengujian dengan memberikan beban pada bagian atas material dan tegangan tarik dibawahnya. Karena kekuatan tekan material lebih besar daripada kekuatan tariknya yang membuat material tersebut akan pecah atau patah. Uji *bending* merupakan suatu metode untuk menguji material dengan cara menekannya untuk mengukur kekuatan lengan material. Ada dua jenis uji *bending* yaitu: tiga titik poin *bending* dan empat titik poin *bending*. [18] Jumlah titik poin yang membedakan pengujian tersebut. Pada penelitian ini akan menggunakan uji *bending* dengan ASTM D790 tiga titik yaitu satu titik poin pada bagian atas sebagai penekan dan dua titik poin dibagian bawah sebagai tumpuan. Berikut ini adalah ilustrasi dari pengujian kekuatan *bending* dengan Metode *Three Point Bending* yang ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Pembebanan Lengkung *Three Point Bending*



Gambar 10. Pengaruh Pembebanan Lengkung Menyebabkan Defleksi

Pada saat material menerima pembebanan, setiap bahan akan mengalami perubahan bentuk atau deformasi yang berlangsung secara bertahap, dimulai dari daerah elastis, kemudian memasuki daerah plastis, hingga akhirnya mengalami kegagalan berupa patah. Pada proses pembebanan bending, gaya bekerja pada titik tertentu dengan jarak tumpuan tertentu ($L/2$) dan arah gaya saling berlawanan sehingga menyebabkan material mengalami pembengkokan. Untuk menentukan nilai pada pengujian bending, digunakan persamaan perhitungan sesuai metode pengujian yang diterapkan.[19]

$$\textit{Three Point Bending} \quad \sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

- σ : Kekuatan *bending* (N/mm^2)
- P : Beban maksimum (N)
- b : Lebar dari benda uji (mm)
- h : Tebal dari benda uji (mm)
- L : Jarak antara penyangga (mm)

2) Uji Tarik

Karakteristik mekanik suatu material dapat dianalisis melalui pengujian tarik (tensile test). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dalam menahan gaya tarik sehingga hasilnya dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan pada proses perancangan konstruksi maupun aplikasi teknik lainnya. Dengan memberikan gaya tarik pada spesimen, dapat diamati respons material terhadap pembebanan serta perubahan panjang yang terjadi hingga material mengalami kerusakan atau putus. Agar data pengujian memiliki tingkat akurasi yang baik, mesin uji tarik harus memiliki sistem penjepit yang kuat, tingkat kekakuan yang tinggi, dan ketelitian pengukuran yang baik.[20]

Uji tarik termasuk salah satu metode pengujian mekanik yang umum digunakan untuk mengetahui sifat material melalui pemberian beban tarik secara aksial pada spesimen sampai terjadi deformasi permanen atau kegagalan material. Dalam proses pengujian, posisi spesimen harus sejajar dengan sumbu pembebanan agar gaya tarik dapat bekerja secara merata pada seluruh bagian spesimen.[21] Melalui pengujian ini dapat diperoleh beberapa parameter penting seperti tegangan, regangan, dan modulus elastisitas material. Nilai-nilai tersebut dihitung menggunakan persamaan tertentu yang digunakan sebagai dasar dalam analisis sifat mekanik material.[22]

$$\sigma = \frac{p}{a} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana :

- σ : Tegangan tarik (N/mm^2)
- p : Gaya (N)
- a : Luas penampang spesimen (mm^2)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana :

- ε : Regangan (mm)
- ΔL : Pertambahan panjang(mm)
- L : Panjang spesimen (mm)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots \dots \dots (6)$$

Dimana :

- E :Modulus elastisitas (N/mm²)
- σ : Tegangan tarik (N/mm²)
- ε : Regangan (mm)

D. Alat Uji *Bending* Dan Uji Tarik

Alat yang digunakan untuk melakukan pengujian tarik dan pengujian *bending* pada material komposit yang diperkuat dengan serat daun *kenaf* menggunakan alat TARNOGROCKI milik Politeknik Negeri Malang yang memiliki kapasitas sebesar 100 KN. Alat uji tarik dan uji *bending* ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Alat Uji Tarik Dan Uji *Bending*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Komposisi Pembuatan Spesimen

Penelitian ini berjenis eksperimen dengan menggunakan pencampuran resin *polyester*, NaOH, serat kenaf (*Hibiscus cannabinus L*) dengan variasi panjang serat 1, 2, 3, 4 dan 5cm. Dalam menentukan fraksi berat serat kenaf sebagai bahan penguat dari komposit, proses menghitung densitas dari serat dilakukan dengan mencari volume serta berat dari serat tersebut.

Serat kenaf digunakan dalam kondisi kering untuk meningkatkan daya ikat dengan resin, sedangkan resin *polyester* dicampur dengan katalis sesuai perbandingan yang dianjurkan agar proses curing berjalan optimal. Peningkatan kadar serat umumnya dapat meningkatkan kekuatan komposit, namun harus tetap seimbang agar resin mampu mengikat seluruh serat secara merata. [23]

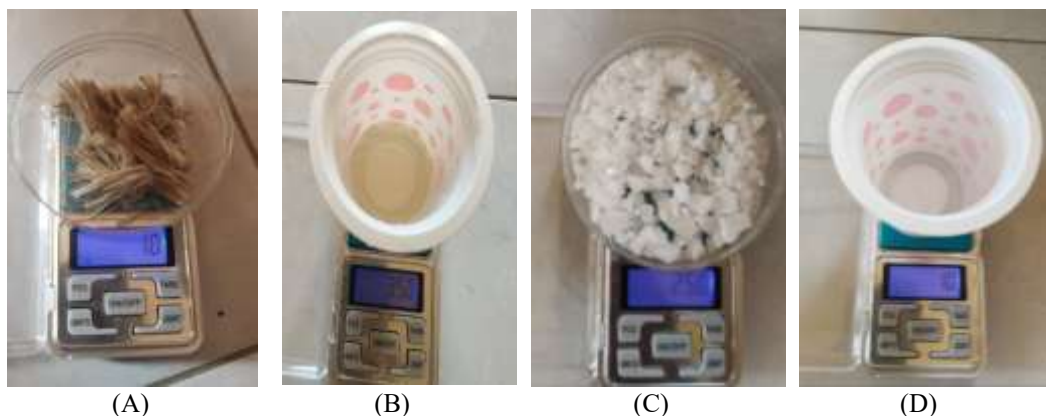
Penentuan komposisi yang tepat bertujuan untuk menghasilkan spesimen dengan struktur yang homogen, minim cacat, serta memiliki sifat mekanik yang sesuai dengan kebutuhan penelitian. Maka pada penelitian ini menggunakan data nilai perhitungan dengan rumus seperti tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi Komposit Spesimen

NO	Resin (Gram)	Serat (Gram)	Katalis (Gram)	Variasi Panjang serat (cm)
1	35	0,95	1	1 cm
2	35	0,95	1	2 cm
3	35	0,95	1	3 cm
4	35	0,95	1	4 cm
5	35	0,95	1	5 cm

B. Proses Pembuatan komposit

Proses pembuatan komposit serat kenaf (*Hibiscus cannabinus L*), diawali dengan membersihkan serat menggunakan air bersih, kemudian dikeringkan selama ± 1 jam. Selanjutnya, serat direndam dalam larutan NaOH 5% dan aquadest selama 2 jam untuk meningkatkan daya ikat antara serat dan matriks. Setelah perendaman, serat dibilas kembali dan dikeringkan, lalu dipotong sesuai variasi panjang 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, dan 5 cm. Tahap berikutnya yaitu penimbangan serat sesuai fraksi volume yang ditentukan, kemudian dilakukan pencampuran resin *polyester* dan katalis hingga homogen. Proses fabrikasi komposit menggunakan metode hand lay-up dengan menuangkan campuran resin ke dalam cetakan silikon, dilanjutkan penyusunan serat secara merata, kemudian ditutup kembali dengan resin hingga seluruh serat terlapisi sempurna. Setelah pencetakan selesai, spesimen didiamkan selama 1 hari hingga mengering dengan cetakan tertutup untuk mengurangi gelembung udara. Selanjutnya, spesimen dilepas dari cetakan dan dilakukan proses perataan permukaan menggunakan amplas atau gerinda agar sesuai standar ASTM. Spesimen yang telah selesai kemudian digunakan untuk pengujian tarik dan *bending*.

**Gambar 12.** Proses Perlakuan Alkali Atau Proses Perendaman Serat Kenaf**Gambar 13.** (A) Penimbangan Serat (B) Penimbangan Resin (C) Penimbangan NaOH (D) Penimbangan Katalis

C. Hasil Pengujian *Bending*

Hasil pengujian *bending* menunjukkan bahwa setiap spesimen memiliki kemampuan yang berbeda dalam menahan beban lentur. Nilai beban, tegangan bending, defleksi dipengaruhi oleh variasi komposisi material serta karakteristik susunan serat pada komposit. Spesimen dengan nilai tegangan bending dan modulus elastisitas yang lebih tinggi menunjukkan kemampuan menahan pembebanan yang lebih baik, sedangkan nilai defleksi yang besar menandakan material lebih mudah mengalami lenturan. [24] Berdasarkan hasil pengujian, material komposit yang digunakan memiliki karakteristik mekanik yang cukup baik terhadap pembebanan lentur.

Tabel 2. Hasil Uji *Bending*

Spesimen	Variasi	Kode	Beban (N)	Defleksi (N/mm ²)	Tegangan (N/mm ²)
SP 1	1	1A	119,682	49,01	44
	1	1B	133,454	52,48	49
	1	1C	103,986	39,6	38
SP 2	2	2A	92,214	173,8	34,048
	2	2B	121,644	34,65	44,915
	2	2C	129,492	43,56	47,812
SP 3	3	3A	115,758	65,84	42,741
	3	3B	133,416	49,5	49,261
	3	3C	115,758	34,66	42,741
SP 4	4	4A	164,808	67,82	61
	4	4B	143,226	57,92	52,883
	4	4C	202,09	65,34	75
SP 5	5	5A	102	44,5	37,670
	5	5B	113,796	57,43	40,461
	5	5C	123,606	38,62	44

Data pada Tabel 2 di atas menunjukkan bahwa spesimen 1 (SP 1) memiliki panjang serat 1 cm, spesimen 2 (SP 2) memiliki panjang serat 2 cm, spesimen 3 (SP3) memiliki panjang serat 3 cm, spesimen 4 (SP 4) memiliki panjang serat 4 cm, begitupun juga untuk spesimen 5 (SP 5) memiliki panjang serat 5 cm. Hasil pengujian terhadap lima kelompok spesimen (SP 1 hingga SP 5) dengan masing-masing tiga variasi sampel. Tabel menunjukkan hasil pengujian mekanik pada lima kelompok spesimen komposit (SP 1 hingga SP 5) dengan masing-masing tiga variasi sampel. Parameter yang diamati meliputi beban, defleksi, tegangan, dan modulus elastisitas. Berdasarkan data tersebut, nilai beban tertinggi diperoleh pada spesimen 4C sebesar 202,09 N, sedangkan nilai beban terendah terdapat pada spesimen 2A sebesar 92,214 N.

Nilai tegangan juga menunjukkan perbedaan pada setiap spesimen. Tegangan tertinggi diperoleh pada spesimen 4C sebesar 75 N/mm², sedangkan nilai terendah terdapat pada spesimen 2A sebesar 34,048 N/mm². Hal ini menunjukkan bahwa spesimen SP 4 memiliki kemampuan menahan beban yang lebih baik dibandingkan spesimen lainnya.

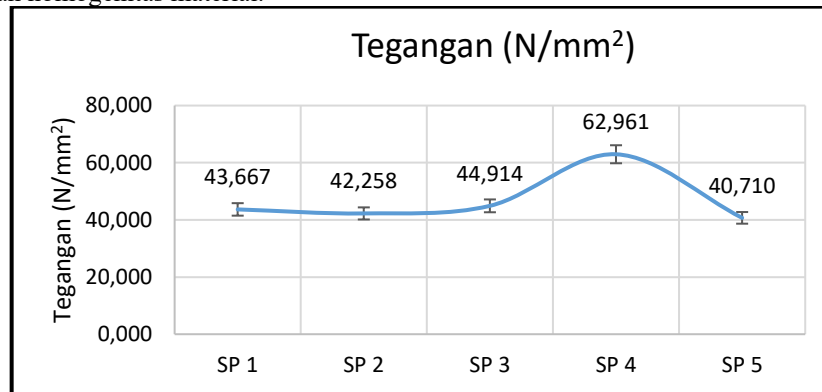
Tabel 3 Hasil Rata – Rata Uji *Bending*

Spesimen	Beban (N)	Defleksi (N/mm ²)	Tegangan (N/mm ²)
SP 1	119,041	47,03	43,6667
SP 2	114,45	84,0033	42,2583
SP 3	121,644	50	44,9143
SP 4	170,041	63,6933	62,961
SP 5	113,134	46,85	40,7103

Berdasarkan dari Tabel 3 di atas hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh data beban, defleksi, dan tegangan, pada lima spesimen uji. Nilai beban yang diterima spesimen berkisar antara 113,134 N hingga 170,041 N, dengan nilai tertinggi terjadi pada spesimen SP 4. Defleksi yang dihasilkan menunjukkan variasi yang cukup signifikan, dimana spesimen SP 2 mengalami defleksi terbesar sebesar 84,0033 (N/mm²), sedangkan defleksi terkecil terjadi pada spesimen SP 5 sebesar 46,85 (N/mm²).

Nilai tegangan yang diperoleh berada pada rentang 40,7103 (N/mm^2), hingga 62,961 (N/mm^2), dengan tegangan maksimum juga terjadi pada spesimen SP 4. Hal ini menunjukkan bahwa spesimen tersebut mampu menahan beban yang lebih besar dibandingkan spesimen lainnya.

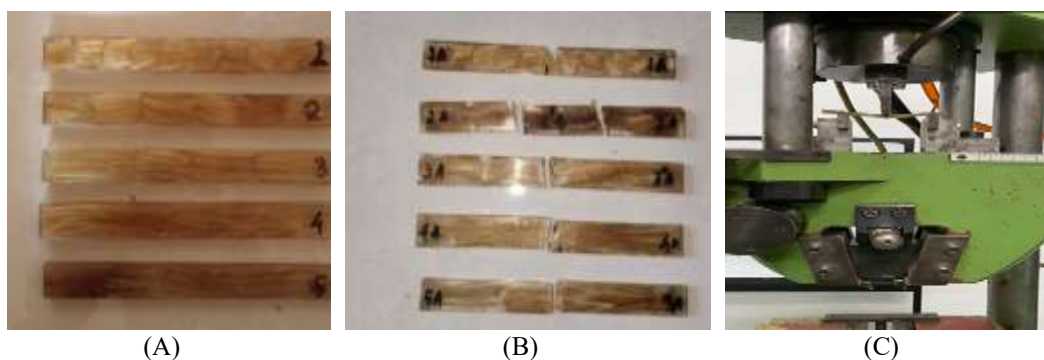
Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan beban cenderung diikuti oleh peningkatan tegangan, namun tidak selalu berbanding lurus dengan nilai defleksi. Hal ini mengindikasikan bahwa karakteristik mekanik material dipengaruhi oleh faktor lain, seperti struktur internal dan homogenitas material.



Gambar 12. Grafik Hasil Perhitungan Nilai Rata - Rata Tegangan (N/mm^2)

Pada gambar 12 di atas, grafik menunjukkan perbandingan nilai tegangan rata-rata pada masing-masing kelompok spesimen (SP 1 hingga SP 5). Berdasarkan data, nilai tegangan mengalami fluktuasi pada setiap spesimen. SP 1 memiliki nilai tegangan sebesar 43,667 N/mm^2 , kemudian mengalami penurunan pada SP 2 menjadi 42,258 N/mm^2 . Selanjutnya, nilai tegangan meningkat pada SP 3 sebesar 44,914 N/mm^2 dan mencapai nilai maksimum pada SP 4 sebesar 62,961 N/mm^2 . Setelah itu, terjadi penurunan kembali pada SP 5 menjadi 40,710 N/mm^2 .

Perbedaan nilai tegangan ini menunjukkan adanya variasi kemampuan material dalam menahan beban. SP 4 memiliki ketahanan tertinggi terhadap tegangan, sedangkan SP 2 menunjukkan nilai terendah. Adanya error bar pada grafik mengindikasikan sebaran data atau variasi hasil pengujian pada masing-masing spesimen, yang dapat dipengaruhi oleh faktor ketidakhomogenan material maupun proses pembuatan spesimen. Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa karakteristik mekanik material tidak konstan dan dipengaruhi oleh variasi perlakuan pada setiap spesimen.



Gambar 14. (A) Spesimen sebelum Uji *Bending*, (B) Spesimen setelah di Uji *Bending*, (C) Proses pengujian Uji *Bending*

D. Hasil Uji Tarik

Hasil uji tarik menunjukkan bahwa material komposit memiliki kemampuan menahan gaya tarik yang berbeda pada setiap variasi spesimen. Nilai kekuatan tarik dan regangan dipengaruhi oleh ikatan antara serat dan matriks, distribusi serat, serta proses pembuatan komposit. Spesimen dengan kekuatan tarik tertinggi menunjukkan ikatan material yang lebih baik sehingga mampu menahan beban tarik secara optimal sebelum mengalami kegagalan. [25]

Tabel 4. Hasil Uji Tarik

Spesimen	Variasi	Kode	Beban (N)	Tegangan (N/mm ²)	Regangan	Modulus (N/mm ²)
SP 1	1	1A	955,494	12,74	0,043	296,947
	1	1B	1171,31	15,618	0,029	536,629
	1	1C	947,646	12,635	0,02	637,95
SP 2	2	2A	886,824	11,824	0,03	398,085
	2	2B	802,458	10,699	0,027	391,877
	2	2C	729,864	9,732	0,023	421,333
SP 3	3	3A	1110,492	14,807	0,028	530,643
	3	3B	1092,834	14,571	0,023	630,702
	3	3C	827,964	11,04	0,018	631,307
SP 4	4	4A	875,052	11,667	0,028	418,14
	4	4B	1024,164	13,656	0,026	517,255
	4	4C	818,154	10,909	0,017	649,094
SP 5	5	5A	963,342	12,845	0,07	184,613
	5	5B	1126,188	15,016	0,023	658,589
	5	5C	888,786	11,85	0,073	163,216

Berdasarkan dari tabel 4 di atas, hasil pengujian pada spesimen SP1 hingga SP5, diperoleh variasi nilai beban, tegangan, regangan, dan modulus elastisitas yang menunjukkan perbedaan karakteristik mekanik tiap spesimen. Pada SP1, nilai beban dan tegangan tergolong tinggi dengan modulus yang cukup besar, sehingga menunjukkan kekakuan material yang baik meskipun terdapat variasi antar sampel.

SP2 cenderung memiliki nilai beban dan tegangan lebih rendah dibandingkan spesimen lainnya, dengan modulus elastisitas pada kisaran menengah, yang mengindikasikan kemampuan menahan beban yang relatif lebih rendah. SP3 menunjukkan distribusi nilai yang lebih konsisten, terutama pada tegangan dan modulus yang relatif tinggi, sehingga mencerminkan sifat material yang lebih stabil dan homogen.

Pada SP4, terlihat adanya peningkatan modulus elastisitas hingga nilai tertinggi pada salah satu variasi, yang menunjukkan tingkat kekakuan material yang optimal meskipun nilai beban tidak selalu paling tinggi. Sementara itu, SP5 menunjukkan nilai regangan yang relatif besar pada beberapa variasi dengan modulus yang cenderung rendah, yang mengindikasikan material lebih mudah mengalami deformasi dibandingkan spesimen lainnya.

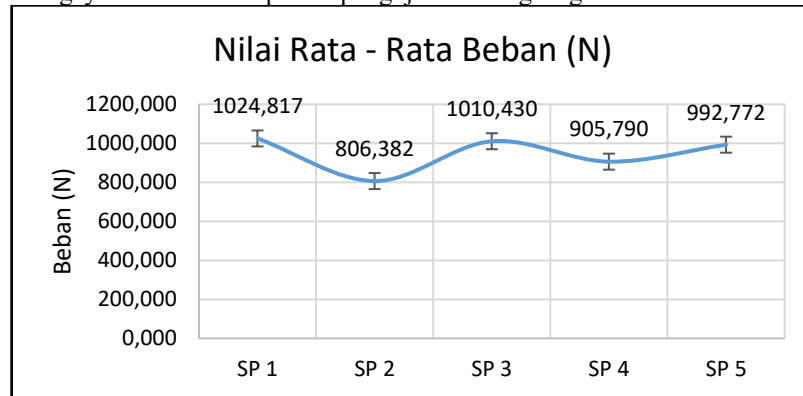
Secara keseluruhan, perbedaan hasil pengujian ini dipengaruhi oleh faktor ketidakhomogenan material, variasi proses manufaktur, serta kemungkinan ketidaksesuaian selama proses pengujian, yang berdampak pada distribusi beban dan respon mekanik masing-masing spesimen.

Tabel 5. Hasil Rata – Rata Uji Tarik

Spesimen	Beban (N)	Tegangan (N/mm ²)	Regangan	Modulus (N/mm ²)
SP 1	1024,817	5,231	13,664	490,509
SP 2	806,382	4,406	10,752	403,765
SP 3	1010,430	3,795	13,473	597,551
SP 4	905,790	3,911	12,077	528,163
SP 5	992,772	9,074	13,237	335,473

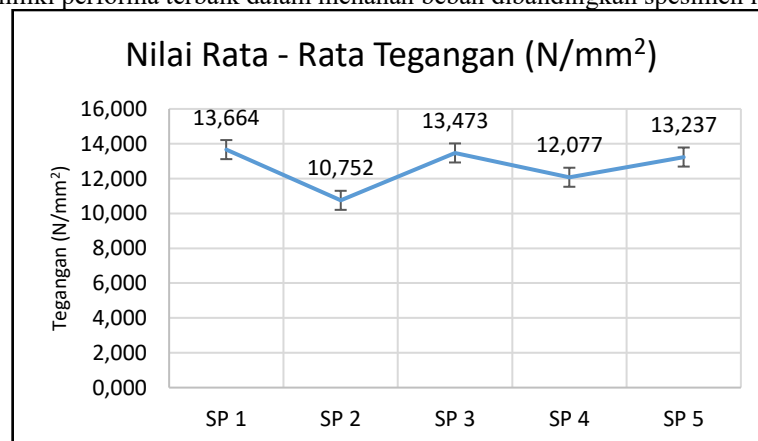
Berdasarkan data pengujian pada tabel 5, spesimen SP 1 memiliki nilai beban sebesar 1024,817 N dengan tegangan 5,231 N/mm² dan modulus elastisitas 490,509 N/mm². Sementara itu, spesimen SP 3 menunjukkan nilai modulus elastisitas tertinggi sebesar 597,551 N/mm² meskipun nilai tegangannya lebih rendah dibanding spesimen lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa SP 3 memiliki tingkat kekakuan material yang lebih baik dalam menahan deformasi elastis.

Di sisi lain, spesimen SP 5 menghasilkan nilai tegangan tertinggi sebesar 9,074 N/mm², namun memiliki modulus elastisitas paling rendah yaitu 335,473 N/mm². Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa material pada SP 5 cenderung mengalami deformasi lebih besar ketika menerima pembebanan. Secara umum, perbedaan nilai beban, tegangan, regangan, dan modulus elastisitas pada setiap spesimen dipengaruhi oleh karakteristik material serta kemampuan material dalam menahan gaya lentur selama proses pengujian berlangsung.



Gambar 15. Grafik Hasil Nilai Rata - Rata Beban (N)

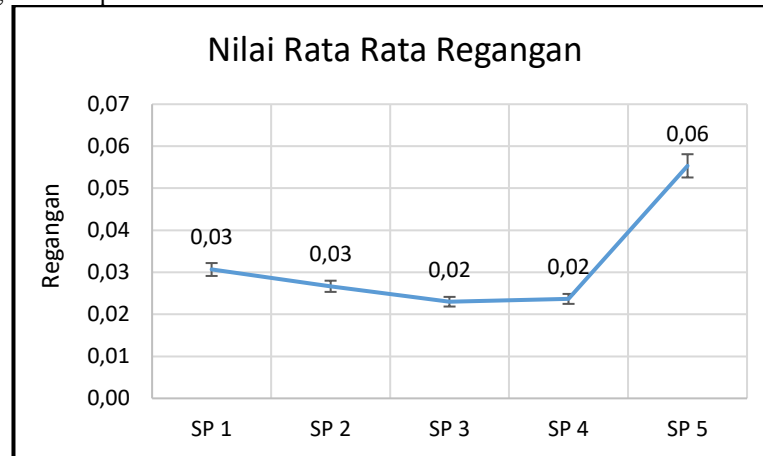
Berdasarkan grafik dari gambar 15, nilai rata-rata beban terlihat adanya fluktuasi kemampuan tiap spesimen dalam menahan beban. Spesimen SP1 menunjukkan nilai beban tertinggi sebesar 1024,817 N, kemudian mengalami penurunan signifikan pada SP2 menjadi 806,382 N. Selanjutnya, nilai beban kembali meningkat pada SP3 sebesar 1010,430 N, sebelum kembali menurun pada SP4 menjadi 905,790 N, dan sedikit meningkat pada SP5 sebesar 992,772 N. Pola ini menunjukkan bahwa distribusi kekuatan tidak seragam antar spesimen. Perbedaan tersebut mengindikasikan adanya variasi sifat mekanik yang kemungkinan dipengaruhi oleh ketidakhomogenan material, proses manufaktur, atau kondisi pengujian. Secara keseluruhan, SP1 dan SP3 memiliki performa terbaik dalam menahan beban dibandingkan spesimen lainnya.



Gambar 16. Grafik Nilai Rata – Rata Tegangan (N/mm²)

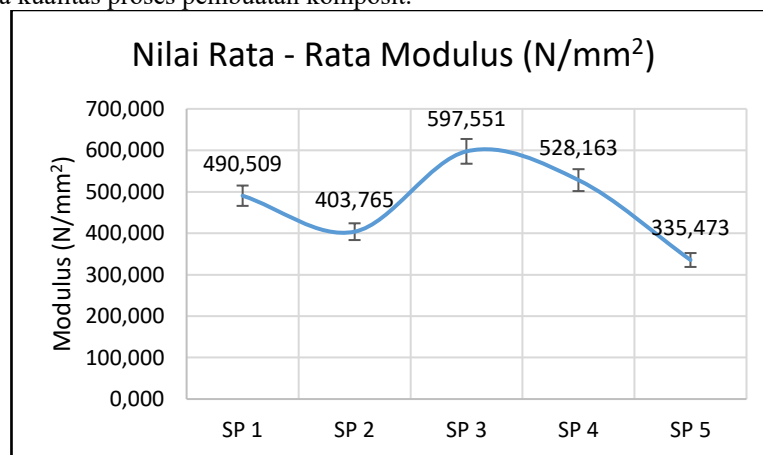
Grafik pada gambar 16, menunjukkan nilai rata-rata tegangan pada masing-masing variasi spesimen (SP 1 hingga SP 5). Tegangan tertinggi terdapat pada SP 1 sebesar 13,664 (N/mm²), kemudian mengalami penurunan signifikan pada SP 2 menjadi 10,752 (N/mm²). Selanjutnya, pada SP 3 terjadi peningkatan kembali hingga 13,473 (N/mm²), diikuti penurunan pada SP 4 sebesar 12,077 (N/mm²), dan kembali meningkat pada SP 5 menjadi 13,237 (N/mm²). Fluktuasi ini mengindikasikan bahwa variasi parameter perlakuan pada setiap spesimen memberikan pengaruh

yang tidak linier terhadap kemampuan material dalam menahan beban. Secara umum, SP 1, SP 3, dan SP 5 menunjukkan performa tegangan yang relatif lebih tinggi dibandingkan SP 2 dan SP 4. Error bar yang ditampilkan menunjukkan adanya variasi data, namun tidak mengubah kecenderungan utama bahwa distribusi tegangan antar spesimen bersifat fluktuatif dengan kecenderungan stabil pada kisaran nilai tertentu.



Gambar 17. Grafik Nilai Rata - Rata Regangan

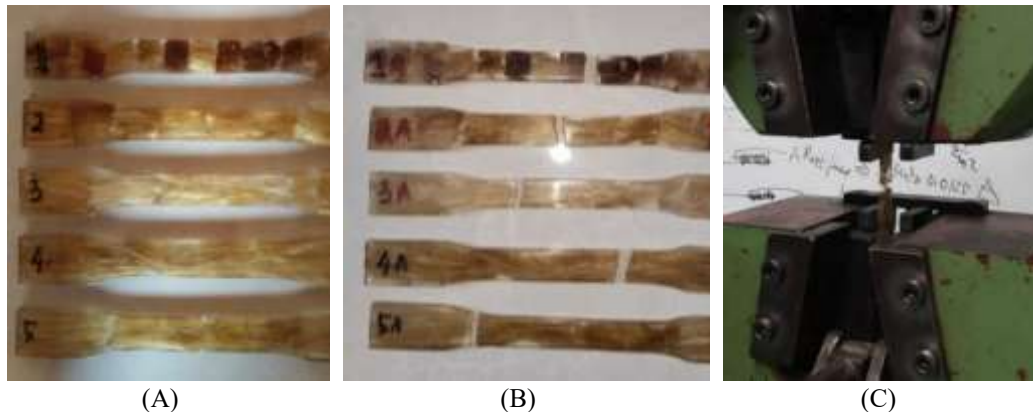
Gambar 17 menunjukkan grafik nilai rata-rata regangan, dapat diketahui bahwa setiap spesimen memiliki nilai regangan yang berbeda. Spesimen SP 1 dan SP 2 menunjukkan nilai regangan sebesar 0,03, kemudian mengalami penurunan pada SP 3 dan SP 4 menjadi 0,02. Nilai regangan terendah terdapat pada SP 3 dan SP 4, yang menunjukkan bahwa material mengalami deformasi yang lebih kecil saat menerima beban tarik. Selanjutnya, pada SP 5 terjadi peningkatan regangan yang cukup signifikan hingga mencapai 0,06. Hal ini menunjukkan bahwa spesimen SP 5 memiliki kemampuan deformasi yang lebih tinggi dibandingkan spesimen lainnya. Secara umum, perbedaan nilai regangan pada setiap spesimen dapat dipengaruhi oleh distribusi serat, ikatan matriks, serta kualitas proses pembuatan komposit.



Gambar 18. Grafik Nilai Rata - Rata Modulus (N/mm²)

Gambar 18 menunjukkan bahwa grafik nilai rata-rata modulus elastisitas pada masing-masing variasi spesimen (SP 1 hingga SP 5). Terlihat bahwa nilai modulus pada SP 1 sebesar 490,509 N/mm², kemudian menurun pada SP 2 menjadi 403,765 N/mm². Selanjutnya, terjadi peningkatan signifikan pada SP 3 hingga mencapai nilai tertinggi sebesar 597,551 N/mm², yang menunjukkan peningkatan kekakuan material secara optimal pada variasi tersebut. Setelah itu, nilai modulus kembali menurun pada SP 4 menjadi 528,163 N/mm² dan mengalami penurunan lebih lanjut pada SP 5 hingga 335,473 N/mm². Tren ini mengindikasikan bahwa variasi parameter pada SP 3 memberikan kontribusi paling efektif terhadap peningkatan kekakuan material, sedangkan pada SP 5 terjadi penurunan kemampuan material dalam menahan deformasi elastis. Error bar yang

ditampilkan menunjukkan adanya variasi data pada setiap spesimen, namun secara keseluruhan pola perubahan modulus tetap konsisten dan dapat dijadikan dasar dalam analisis sifat mekanik material.



Gambar 19. (A) Spesimen sebelum di Uji Tarik, (B) Spesimen setelah di Uji Tarik, (C) Proses Pengujian Tarik

VII. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan pada material komposit berpenguat serat kenaf (*Hibiscus cannabinus L.*) dengan variasi panjang serat 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, dan 5 cm, dapat disimpulkan bahwa variasi panjang serat memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik komposit, khususnya pada kekuatan bending dan kekuatan tarik. Hasil pengujian bending menunjukkan bahwa spesimen dengan variasi panjang serat 4 cm (SP 4) menghasilkan nilai tegangan bending tertinggi sebesar 6.631.560 N/mm² dengan nilai beban rata-rata sebesar 170,041 N. Hal tersebut menunjukkan bahwa variasi panjang serat 4 cm memiliki kemampuan paling baik dalam menahan pembebanan lentur dibandingkan variasi lainnya. Selain itu, nilai modulus elastisitas bending tertinggi diperoleh pada spesimen SP 2 sebesar $6,2317 \times 10^{10}$ MPa yang menunjukkan tingkat kekakuan material yang lebih tinggi. Pada pengujian tarik, nilai tegangan tarik tertinggi diperoleh pada spesimen SP 1 sebesar 13,664 N/mm², sedangkan nilai modulus elastisitas tertinggi diperoleh pada spesimen SP 3 sebesar 597,551 N/mm². Hasil tersebut menunjukkan bahwa panjang serat mempengaruhi kemampuan material dalam menahan gaya tarik dan deformasi elastis. Secara umum, penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan serat kenaf sebagai bahan penguat komposit mampu meningkatkan karakteristik mekanik material. Akan tetapi, penggunaan serat yang terlalu panjang juga dapat menyebabkan distribusi serat menjadi tidak merata dan berpotensi menimbulkan cacat pada komposit ikatan antara serat dan matriks resin *polyester* serta distribusi serat yang baik memberikan pengaruh terhadap peningkatan kekuatan bending dan tarik pada komposit. Oleh sebab itu, variasi panjang serat dilakukan untuk memperoleh ukuran serat yang memberikan karakteristik mekanik terbaik pada material komposit. Selain itu, metode *Hand Lay-Up* dapat digunakan sebagai metode fabrikasi komposit yang cukup efektif untuk menghasilkan spesimen komposit berbasis serat alam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo atas segala ilmu, arahan, serta pengalaman berharga yang telah saya peroleh selama menempuh pendidikan hingga proses penyusunan penelitian ini. Semoga segala kebaikan, dukungan, dan kontribusi yang telah diberikan mendapatkan balasan yang setimpal serta menjadi amal yang bermanfaat bagi semua.

REFERENSI

- [1] Y. Hidayati, "Hormon Auksin Pada Tanaman Kenaf," *J. Agrovigor*, Vol. 2, No. 2, Pp. 89–96, 2018.
- [2] R. Prasetyo And E. Widodo, "[Studi Kekuatan Impact Dan Kekuatan Bending Pada Komposit Diperkuat Serat Sansevieria (Lidah Mertua) Dengan Variasi Penambahan Amilum (Tepung Tapioka)] [Study Of Impact Strength And Bending Strength Of Composite Reinforced With Sansevieria Fiber (M," Pp. 1–8.
- [3] C. Budiyanoro, H. Sosiati, K. A. Syahputra, And S. Sudarisman, "The Influence Of Fiber Treatment And Matrix Type On The Impregnation Quality Of Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics," *Semesta Tek.*, Vol. 26, No. 1, Pp. 106–116, 2023, Doi: 10.18196/St.V26i1.18597.
- [4] P. Komposisi, S. Kenaf, D. A. N. Serbuk, A. H. Laksana, And M. B. Waluyo, "Terhadap Kekuatan Tekuk Dan Water Absorption Komposit Hybrid -Poliester," Vol. 1, No. 2, 2021.
- [5] D. Y. Irawati And M. Kurniawati, "Life Cycle Assessment Dan Life Cycle Cost Untuk Serat Kenaf," *J. Rekayasa Sist. Ind.*, Vol. 9, No. 3, Pp. 213–224, 2020, Doi: 10.26593/Jrsi.V9i3.4109.213-224.
- [6] L. Widodo, K. Priyanto, And B. Margono, "Analisis Ketangguhan Impak Komposit Polyester Berpenguat Serat Daun Nanas," Vol. 7, Pp. 217–227, 2022.
- [7] D. A. Prayoga And N. S. Drastiawati, "Pengaruh Jumlah Laminasi Core Komposit Sandwich Serat Kenaf Dengan Core Kayu Sengon Terhadap Kekuatan Bending," *Jtm*, Vol. 09 Nomer 0, No. 01, Pp. 1–10, 2021.
- [8] Yuniarti Nur Azizah, Jupriyanto, I. B Putra Jandhana, And George Royke Deksin, "Studi Efektivitas Karakteristik Serat Alami Kenaf (Hibiscus Cannabinus) Sebagai Pengganti Serat Sintesis Kevlar Untuk Bahan Komposit Anti Peluru: Jurnal Review," *J-Proteksion J. Kaji. Ilm. Dan Teknol. Tek. Mesin*, Vol. 9, No. 1, Pp. 37–45, 2024, Doi: 10.32528/Jp.V9i1.2030.
- [9] A. D- And P. U. Tarik, "Page | 1 I. P.," No. 1, Pp. 1–8.
- [10] Nurfajri And K. Arwizet, "Analisis Kekuatan Tarik Komposit Serabut Kelapa Dan Ijuk Dengan Perlakuan Alkali (Naoh)," *J. Multidisciplinary Res. Dev.*, Vol. 1, No. 4, Pp. 791–797, 2019.
- [11] E. Widodo And I. Dwiyooga, "Analisis Pengaruh Alkalisasi Naoh Terhadap Serat Nanas Sebagai Penguatan Bio Komposit," *Otopro*, Vol. 18, No. 1, Pp. 1–6, 2022, Doi: 10.26740/Otopro.V18n1.P1-6.
- [12] B. Bolasodun, S. Durowaye, And T. Akano, "Synthesis And Characterisation Of Sugarcane Bagasse And Pineapple Leaf Particulate Reinforced Polyester Resin Matrix Composites," *Gazi Univ. J. Sci.*, Vol. 35, No. 3, Pp. 1091–1100, 2022, Doi: 10.35378/Gujs.787964.
- [13] J. Teknologi, O. E. Babatunde, J. M. Yatim, Y. Ishak, R. Masoud, And R. Meisam, "23-30 | Www.Jurnalteknologi.Utm.My | Eissn," Vol. 77, Pp. 2180–3722, 2015.
- [14] S. Suharto, "Zona Laut," *Zo. Laut J. Inov. Sains Dan Teknol. Kelaut.*, Vol. 2, No. 3, Pp. 92–98, 2021.
- [15] Syarifah Ramadhani Nurbaya, W. D. R. Putri, And E. S. Murtini, "Pengaruh Campuran Pelarut Aquades-Etanol Terhadap Karakteristik Ekstrak Betasianin Dari Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus Polyrhizus*) The Effect Of Water-Ethanol Solvent Mixture On The Characteristics Of Betacyanin Extract From Red Dragon Fruit Peel (H," *J. Teknol. Pertan.*, Vol. 19, No. 3, Pp. 153–160, 2018.
- [16] A. Isra, W. Weriono, M. Mirfaturiq, And H. H. Sihite, "Sifat Mekanik Komposit Hybrid Serat Tebu Bermatrik E-Glass Epoxy Dengan Metode Hand Lay-Up," *Sainstek*, Vol. 12, No. 1, Pp. 110–113, 2024, [Online]. Available: <https://www.ejournal.stp-yds.ac.id/index.php/js/article/view/241>
- [17] M. Erwin, H. Sya'roni, And T. H. Ningsih, "Pengaruh Fraksi Volume Komposit Bambu Terhadap Kekuatan Tekan Dengan Metode Hand Lay-Up Dan Vacuum Bag," *Jtm*, Vol. 9, Pp. 69–74, 2021.
- [18] Taqwanur And Mega Bilqis Suryawantiningtyas, "G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan," *G-Tech J. Teknol. Terap.*, Vol. 6, No. 2, Pp. 295–305, 2022.
- [19] P. Rózyło, "Failure Analysis Of Beam Composite Elements Subjected To Three-Point Bending Using Advanced Numerical Damage Models," *Acta Mech. Autom.*, Vol. 17, No. 1, Pp. 133–144, 2023, Doi: 10.2478/Ama-2023-0015.
- [20] S. Supriyanto, "Karakteristik Kekuatan Komposit Serat Daun Nanas Dengan Variasi Panjang

- Serat,” *J. Mesin Nusant.*, Vol. 4, No. 1, Pp. 30–39, 2021, Doi: 10.29407/Jmn.V4i1.16039.
- [21] M. Mulyadi, “Pengaruh Model Speciment Uji Tarik Pada Pengelasan Besi Fc-30 Di Lihat Dari Kekuatan Tarik Pengelasan,” *Rekayasa Energi Manufaktur*, Vol. 1, No. 2, P. 29, 2016, Doi: 10.21070/R.E.M.V1i2.658.
- [22] M. T. Marantika, I. Sujana, And M. Ivanto, “Analisa Uji Tarik Komposit Berpenguat Serat Daun Nanas Dengan Variasi Susunan Menggunakan Perlakuan Alkali,” *J. Teknol. Rekayasa Tek. Mesin*, Vol. 3, No. 1, Pp. 62–68, 2022.
- [23] T. W. Khofifah Enggar Wihardo), “Analisis Kekuatan Material Komposit Hybrid Berpengubat Serat Batang Pisang Dan Serat Kulit Jagung Menggunakan Metode Hand Lay Up,” *Sci. J. Ilm. Sain Dan Teknol.*, Vol. 3, Pp. 454–459, 2024.
- [24] P. Susunan *Et Al.*, “Pengaruh Susunan Lamina Komposit Berpenguat Serat Karbon - Serat Abstrak,” 2022.
- [25] D. W. Agung Mulyoaji, . “Teknik Yang Dipakai Pada Proses Pencetakan Spesimen Yaitu Teknik Hand Lay-Up .Ukuran Spesimen Yang Akan Digunakan Pada Uji Bending Yaitu Standar Astm D790 Dan Pada Ukuran Spesimen Yang Akan Digunakan Pada Uji Tarik Yaitu Standar Astm D638. Berdasarkan,” *J. Tek. Mesin*, Vol. 13, Pp. 1–6, 2024.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.