

The Effect Of Alkali Types NAOH, CAO₂, KOH On The Strength Of Natural Fiber Reinforced Polymer Composites

[Pengaruh Jenis Alkali NAOH,CAOH,KOH Terhadap Kekuatan Komposit Polimer Diperkuat Serat Alam]

Bagus Aris Prasajo

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

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

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

Abstract. *In the industrial sector, selecting the appropriate material composition is an important factor in producing products that are not only high in quality but also environmentally friendly. One material that continues to be developed and widely studied is composite material, especially polymer composites reinforced with natural fibers. These composites are considered a promising alternative to synthetic materials because they offer several advantages, including lightweight characteristics, renewable resources, biodegradability, and relatively low production costs. Composite materials are formed from a combination of two or more materials with different physical and chemical properties in order to produce a new material with better performance compared to each individual component. Various natural fibers can be used as reinforcement in polymer composites, such as hemp fiber, kenaf fiber, and coconut fiber. In this study, brown coir coconut fiber was selected as the reinforcing material because it is easy to obtain and has the potential to improve the mechanical properties of composites. Based on these considerations, this research was conducted with the title "The Effect of Alkali Types of NaOH, Ca(OH)₂, and KOH on the Strength of Natural Fiber Reinforced Polymer Composites." The study applied two treatment conditions, namely composites treated with alkali and composites without alkali treatment. Three variations of alkali solutions were used, consisting of NaOH, KOH, and Ca(OH)₂, each with a concentration of 5%. The research process included several stages, such as extracting coconut fiber, determining specimen dimensions, and preparing specimen molds. The results showed that the type of alkali treatment significantly influenced the tensile strength of the polymer composites because each alkali solution produced different mechanical characteristics. Among all variations, the composite treated with NaOH showed the best performance, with a tensile stress value of 29.07, strain of 0.381, and elastic modulus of 76.29. In addition, the microscopic test results for the NaOH-treated composite showed a length of 0.202 mm, a slope value of -111.000, and an angle of 90.516°.*

Keywords - *the influence of alkaline types, polymer composites, coconut fiber*

Abstrak. Di sektor perindustrian, pemilihan komposisi sangat penting agar menghasilkan produk berkualitas tinggi dan ramah lingkungan. Salah satu material yang banyak dipertimbangkan ialah komposit. Komposit polimer yang diperkuat dengan serat alami kini menjadi alternatif yang menarik bagi material sintesis, karena menawarkan beberapa keunggulan, antara lain ringan, terbarukan, biodegradabilitas, dan biaya produksi yang relatif rendah. Komposit merupakan beberapa material komponen dengan karakteristik fisik dan kimia berbeda, yang dicampur untuk memperoleh material dengan performa yang lebih optimal dibandingkan masing-masing komponen secara individual. Berbagai jenis material penguat dapat digunakan dalam pembuatan komposit, termasuk serat alami seperti rami, sabut kelapa, dan kenaf, yang telah banyak diteliti sebagai penguat dalam matriks polimer. Melihat besarnya peluang yang ada, peneliti tertarik untuk membuat penelitian berjudul Pengaruh Jenis Alkali NAOH, CAO₂, dan KOH, Terhadap Kekuatan Komposit Polimer Diperkuat Serat Alam. Dalam penelitian ini menggunakan dua perlakuan yakni perlakuan menggunakan alkali dan tanpa menggunakan alkali, selain itu serat yang dipilih sebagai bahan penguat komposit polimer yakni serat sabut kelapa yang berjenis brown coir, karena serat tersebut dinilai masih mudah didapatkan. Pembuatan komposit polimer dalam penelitian ini menggunakan 3 variasi larutan alkali, yakni menggunakan cairan alkali NaOH, KOH, dan Ca(OH)₂. Konsentrasi larutan alkali dalam pembuatan komposit sebesar 5% pada setiap variasinya. Penelitian ini diharapkan menghasilkan komposisi terbaik dalam pembuatan komposit polimer dan dapat menghasilkan produk yang berkualitas. penelitian ini terdapat beberapa metode penelitian antara lain, melakukan ekstraksi serat sabut kelapa, menentukan ukuran spesimen, dan menentukan cetakan spesimen. Jenis alkali terbukti berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit dikarenakan setiap larutan alkali berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan dari komposit polimer yang dihasilkan komposit polimer dengan larutan NaOH menunjukkan hasil paling efektif dengan menghasilkan tegangan tarik 29,07, regangan 0,381, dan modulus elastisitas 76,29, sedangkan dalam uji mikroskopis menghasilkan length sebesar 0,202mm, slope sebesar -111.000, dan eagle sebesar 90.516°.

Kata Kunci - pengaruh jenis alkali, komposit polimer, serat sabut kelapa

I. PENDAHULUAN

Di sektor perindustrian, pemilihan komposisi sangat penting agar menghasilkan produk berkualitas tinggi dan ramah lingkungan. Material yang banyak dipertimbangkan ialah material komposit. Permintaan akan komposit ramah lingkungan terus meningkat seiring dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya keberlanjutan dan efisiensi energi di berbagai bidang industri, seperti otomotif, konstruksi, dan pengemasan. Komposit polimer yang diperkuat dengan serat alami kini menjadi alternatif yang menarik bagi material sintetis karena menawarkan beberapa keunggulan, antara lain ringan, terbarukan, biodegradabilitas, dan biaya produksi yang relatif rendah. Secara umum, komposit merupakan campuran berbagai bahan yang tidak menyatu secara seragam, di mana masing-masing bahan memiliki sifat mekanis yang berbeda namun saling melengkapi untuk menghasilkan karakteristik baru yang unggul.[1]

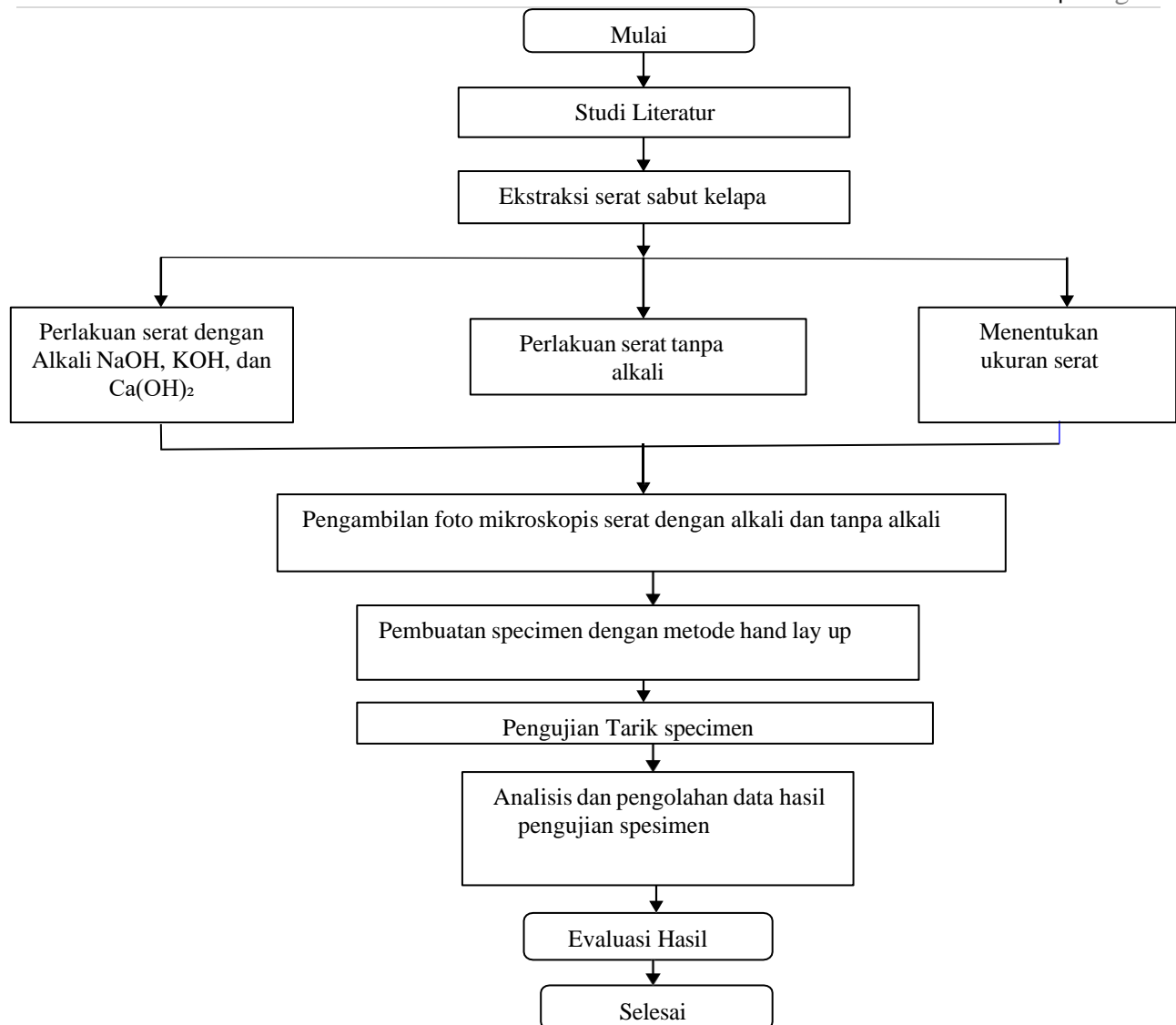
Komposit adalah material yang terdiri dari beberapa komponen dengan karakteristik fisik dan kimia berbeda, yang dicampur untuk memperoleh material dengan performa yang lebih optimal dibandingkan masing-masing komponen secara individual. Berbagai jenis material penguat dapat digunakan dalam pembuatan komposit, termasuk serat alami seperti rami, sabut kelapa, dan kenaf, yang telah banyak diteliti sebagai penguat dalam matriks polimer. Namun, serat alami memiliki beberapa keterbatasan, termasuk higroskopisitas yang tinggi dan daya rekat yang rendah dari serat dan matriks polimer.[2] Untuk menambah kekuatan ikatan serat dengan matriks polimer, diperlukan perlakuan kimia pada serat, salah satunya menggunakan tahapan alkalinisasi. Perlakuan ini bertujuan untuk menghapus komponen-komponen selain selulosa seperti lignin, hemiselulosa, dan zat ekstraktif lainnya dari permukaan serat, sehingga menambah kekasaran permukaan dan memperbaiki ikatan antarmuka antara serat dengan matriks polimer. Tiga jenis senyawa alkali yang umum digunakan dalam proses ini ialah natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH), dan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Di antara ketiganya, NaOH merupakan senyawa yang paling sering digunakan; namun, penelitian yang membandingkan efektivitas ketiga jenis alkali ini terhadap sifat mekanik komposit masih relatif terbatas. Maka dari itu, Studi ini diharapkan dapat memberikan panduan untuk mengetahui pengaruh berbagai jenis alkali ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, KOH, dan NaOH) terhadap kekuatan tarik dan hasil uji mikroskopis komposit polimer yang diperkuat dengan serat alam. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi sumber referensi dalam inovasi material komposit berbasis serat alam yang memiliki kinerja yang unggul dan lebih ramah lingkungan. Kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) termasuk dalam golongan basa kuat. Ketika dilarutkan dalam air, senyawa ini mengalami ionisasi sempurna, menghasilkan larutan yang sangat basa. Kalsium hidroksida juga dapat diperoleh sebagai endapan melalui reaksi antara cairan kalsium klorida dan cairan natrium hidroksida. Senyawa ini sekitar 95% efektif dalam menetralkan air asam tambang, dan faktor konversi 0,74.[3]

Variasi melalui perlakuan alkali menyebabkan beberapa komponen hidrogen dalam serat rusak, sehingga meningkatkan kekasaran permukaan serat. Proses ini juga berperan dalam menghilangkan lignin, lilin, dan minyak dari permukaan serat, yang akhirnya memicu depolimerisasi serat dan memperpendek ukuran serat. Penambahan NaOH dalam proses ini bertujuan untuk mengionisasi gugus hidroksil (-OH) dalam serat, sehingga menciptakan keadaan alkali. Dalam konteks bahan komposit polimer, pemberian alkali pada serat sebagai bentuk variasi kimia yang tepat untuk menambah daya rekat pada permukaan serat dan kerangka polimer, sebab menciptakan ikatan antarmuka yang lebih kuat dan lebih stabil.[4]

II. METODE

2.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Diagram alir penelitian digunakan untuk mendiskripsikan tahapan penelitian mulai dari persiapan bahan, proses pembuatan spesimen, pengujian, sampai pada analisis data. Diagram ini diharapkan dapat mempermudah pemahaman terhadap alur pelaksanaan penelitian yang dilakukan.



Gambar 1. Diagram alir

2.2. Metode

Jenis penelitian yang digunakan ialah penelitian eksperimen (*experimental research*), yang bertujuan untuk membuktikan pengaruh suatu perlakuan terhadap karakteristik objek yang diteliti.[5] Penelitian ini secara khusus dirancang untuk menguji nilai kekuatan tarik sekaligus melakukan analisis mikroskopis pada komposit polimer berpenguat serat sabut kelapa. Dalam proses manufakturnya, komposit dibuat dengan metode *hand lay-up* kemudian mengombinasikan resin poliester bening tipe 801 sebagai matriks dan serat sabut kelapa (*brown coir*) sebagai penguat dengan fraksi berat sebesar 3%. Sebelum dicampur ke dalam matriks, serat sabut kelapa terlebih dahulu diberikan perlakuan alkali (*alkali treatment*) berupa perendaman selama 2 jam menggunakan tiga variasi larutan alkali berkonsentrasi 5%, yaitu Natrium Hidroksida (NaOH), Kalsium Hidroksida (CaOH), dan Kalium Hidroksida (KOH). Pemilihan jenis *brown coir* didasarkan pada kandungan ligninnya yang tinggi, sehingga menghasilkan karakteristik serat yang lebih kuat, keras, serta lebih tahan terhadap kelembapan dibandingkan jenis *white coir*. Selain sifatnya yang ramah lingkungan, ekonomis, dan mudah diperoleh, serat ini juga memiliki permukaan yang kasar. Struktur permukaan yang kasar tersebut sangat menguntungkan karena dapat meningkatkan kekuatan ikatan antarmuka (*interfacial bonding*) antara serat dan matriks, yang pada gilirannya akan mendongkrak karakteristik komposit yakni kekuatan tarik dan ketahanan bentur (*impact strength*). Pengujian kekuatan mekanis tarik pada penelitian ini mengacu pada standar internasional ASTM D638. Adapun material yang dipersiapkan dalam pembuatan komposit polimer pada penelitian ini meliputi:

Serat Sabut Kelapa

Serat sabut kelapa berasal dari tanaman kelapa (*Cocos nucifera*) yang termasuk dalam famili Palmae. Tanaman kelapa memiliki nilai ekonomi yang tinggi karena hampir seluruh bagian pohonnya dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan manusia, sehingga sering dikenal sebagai *tree of life*. Serat sabut kelapa atau *coco fiber* merupakan hasil pengolahan bagian sabut kelapa melalui proses ekstraksi.[6] Dari proses tersebut dihasilkan perbandingan serat panjang, sedang, dan pendek dengan rasio sekitar 60:30:10. Serat panjang umumnya memiliki ukuran lebih dari 150 mm hingga sekitar 350 mm, serat sedang berkisar antara 50–150 mm, sedangkan serat pendek memiliki ukuran kurang dari 50 mm. Diameter serat kelapa berada pada rentang 50–300 μm dan tersusun atas sel serat dengan panjang sekitar 1 mm serta diameter 5–8 μm . Secara umum, serat kelapa dibedakan menjadi dua jenis, yaitu serat putih dan serat coklat (*brown coir*). Serat putih diperoleh dari buah kelapa yang belum matang sehingga memiliki tekstur yang lebih halus dan warna yang lebih terang. Sementara itu, serat coklat berasal dari buah kelapa yang sudah matang dan memiliki sifat lebih kuat serta lebih keras, sehingga lebih banyak dimanfaatkan sebagai bahan penguat pada material komposit. Pada penelitian ini digunakan serat sabut kelapa jenis *brown coir* atau serat coklat sebagai bahan penguat komposit. Selain itu, densitas serat sabut kelapa berada pada kisaran 1,1–1,5 g/cm^3 , yang nilainya sedikit lebih rendah dibandingkan sebagian besar jenis serat alami lainnya..[7]



Gambar 2. Sabut kelapa

Pada penelitian ini, spesimen komposit dirancang dengan menggunakan rasio fraksi berat serat sabut kelapa sebesar 3% terhadap total material komposit. Penentuan komposisi antara serat penguat dan matriks poliester dilakukan berdasarkan metode fraksi berat agar diperoleh perbandingan yang tepat sesuai dengan kebutuhan pembuatan spesimen. Perhitungan fraksi berat ini bertujuan untuk memastikan distribusi material penyusun komposit berada pada komposisi yang seragam sehingga karakteristik mekanik yang dihasilkan dapat dianalisis secara optimal.[8] Adapun perhitungan komposisi serat dan matriks poliester dilakukan menggunakan persamaan fraksi berat sebagai berikut.

$$v_f = \frac{w_f/\rho_f}{w_f/\rho_f + w_m/\rho_m} = \dots\dots\dots \text{(Persamaan 1)}$$

NaOH (Natrium Hidroksida)

Natrium Hidroksida (NaOH) merupakan senyawa alkali yang tergolong sebagai basa kuat karena mengalami ionisasi secara sempurna di dalam air. Secara umum, larutan basa dicirikan oleh rasa yang pahit dan memberikan sensasi licin saat menyentuh kulit—kemiripan tekstur dengan sabun ini dikenal sebagai sifat kaustik basa. Dalam konteks rekayasa material, perlakuan alkali (*alkali treatment*) menggunakan (NaOH) menjadi salah satu metode kimia yang sangat efektif untuk meningkatkan kadar selulosa pada serat alam. Proses ini bekerja dengan cara melarutkan serta menghilangkan kandungan komoditas non-selulosa seperti hemiselulosa dan lignin dari struktur serat.[9] Dalam konteks bahan komposit polimer, pemberian alkali pada serat sebagai bentuk variasi kimia yang tepat untuk menambah daya rekat pada permukaan serat dan kerangka polimer, sebab menciptakan ikatan antarmuka yang lebih kuat dan lebih stabil. Perlakuan alkali menggunakan (NaOH) merupakan salah satu metode modifikasi kimia yang umum diterapkan pada serat alam untuk meningkatkan kadar selulosa. Proses ini bekerja secara efektif dengan cara melarutkan serta menghilangkan senyawa non-struktural seperti hemiselulosa dan lignin dari permukaan serat.



Gambar 3. NaOH

KOH (*Kalium Hidroksida*)

Kalium hidroksida (KOH) adalah larutan basa kuat yang berasal dari logam alkali kalium. Senyawa ini berbentuk kristal putih dan bersifat higroskopis. Untuk mendapatkan larutan KOH dengan konsentrasi 5%, kristal kalium hidroksida harus dilarutkan terlebih dahulu dalam air. Kalium hidroksida tergolong bahan kimia yang berbahaya karena dapat menimbulkan luka bakar kimia yang serius, berpotensi menyebabkan kerusakan jaringan permanen, termasuk kebutaan. Maka dari itu, alat pelindung diri yang memadai, terutama pelindung mata, sangat dianjurkan selama penanganannya. Kalium hidroksida dapat berfungsi sebagai bahan baku pendukung pada industri pupuk, fosfat, kimia agro (agro chemical), baterai alkaline, dan pada industri tekstil.[10]



Gambar 3. KOH

CaOH (*Kalsium Hidroksida / Calcium Hydroxide*)

CaOH (*Kalsium Hidroksida / Calcium Hydroxide*) merupakan senyawa alkali yang digunakan dalam perlakuan serat alam untuk membantu mengurangi kandungan pengotor seperti lignin, hemiselulosa, dan zat non-selulosa pada permukaan serat. Kalsium hidroksida merupakan kristal tak berwarna yang dihasilkan melalui reaksi kalsium oksida (CaO) dengan air dan dapat melalui penggabungan larutan kalsium klorida (CaCl₂) dengan larutan natrium hidroksida (NaOH).[11] Perlakuan menggunakan CaOH dapat meningkatkan tekstur kasar permukaan serat dan memperbaiki ikatan adhesi antara serat dan matriks komposit sehingga sifat mekanik material menjadi lebih baik. Senyawa ini sekitar 95% efektif dalam menetralkan air asam tambang, dengan faktor konversi 0,74



Gambar 4. CaOH

Matriks

Resin poliester bening tipe 801 digunakan sebagai matriks atau bahan pengikat utama dalam proses fabrikasi komposit ini. Material tersebut merupakan jenis resin poliester tak jenuh (*unsaturated polyester resin*) yang telah diaplikasikan secara luas pada berbagai bidang rekayasa material. Penggunaan matriks ini sangat mendukung efektivitas pembuatan komposit, di mana kekuatan ikatan antarmuka (*interfacial bonding*) yang kokoh antara serat alam dan matriks menjadi faktor kunci keberhasilan sifat mekanisnya.



Gambar 5. Resin Bening Polyester Tipe 801

Katalis

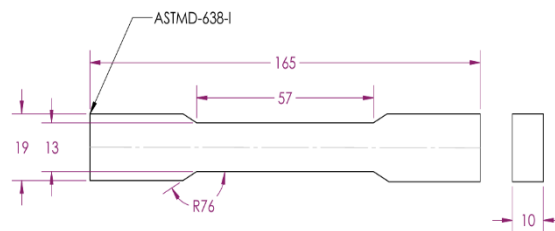
Katalis yang diterapkan pada penelitian ini ialah katalis *mexpo* (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*) yang berfungsi sebagai inisiator dalam proses pengerasan resin poliester tipe 801. Penggunaan katalis ini sangat cocok untuk resin poliester tipe 801 karena resin tersebut termasuk jenis *unsaturated polyester resin* yang memang memerlukan katalis peroksida untuk proses *curing*. Penggunaan katalis pada proses pembuatan komposit berfungsi untuk mempercepat reaksi *curing* pada resin sehingga resin yang awalnya berbentuk cair dapat lebih cepat berubah menjadi padat dan keras. Tanpa penambahan katalis, proses pengeringan resin cenderung membutuhkan waktu lebih lama sehingga kurang efisien dalam proses pembuatan material komposit. Namun, jika digunakan terlalu banyak, katalis dapat menyebabkan panas yang berlebihan pada saat proses pengerasan.[12] Umumnya penggunaan katalis *mexpo* berkisar antara 1–2% dari berat resin agar proses *curing* berlangsung optimal tanpa menyebabkan resin terlalu cepat panas atau menjadi rapuh.



Gambar 6. Katalis *mexpo*

Hand Lay Up

Di antara berbagai teknik fabrikasi komposit, *hand lay-up* merupakan metode cetakan terbuka yang paling praktis dan sederhana. Prinsip kerja metode ini adalah menumpuk material secara bertahap, lapis demi lapis, hingga mencapai tingkat ketebalan spesimen yang direncanakan. Pada setiap lapisan tersebut, cairan matriks (resin) dan penguat (*filler/serat*) dituangkan dan diratakan secara manual agar menyatu dengan baik..[13] Bentuk dan dimensi spesimen untuk pengujian tarik dalam penelitian ini dibuat dengan mengacu pada regulasi internasional, tepatnya mengikuti standar ukuran ASTM D638-01..[14]



Gambar 7. Cetakan Spesimen Komposit

Kekuatan tarik dapat dihitung dengan persamaan :

- a. Kekuatan tarik

$$(\sigma) = \frac{A}{F} = \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2)}$$

Dimana σ Engineering stress (Tegangan) (MPa), F beban yang diberikan dalam arah tegak lurus terhadap spesimen (N) dan A0 Luas penampang awal sebelum spesimen diberikan pembebanan (mm²).

- b. Besarnya regangan (ϵ)

$$\epsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0} = \dots\dots\dots \text{(Persamaan 3)}$$

Dimana ϵ Engineering Strain (Regangan) (%), L₀ panjang mula – mula spesimen sebelum diberikan pembebanan (mm), ΔL penambahan panjang (mm).

- c. Modulus elastisitas (E)

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \dots\dots\dots \text{(Persamaan 4)}$$

Dimana E Modulus elastisitas (GPa), σ Engineering stress (tegangan) (MPa) dan ε Engineering Strain (regangan) (%). [15]

Uji mikroskopis

Analisis menggunakan mikroskop menjadi metode paling krusial sekaligus andalan utama dalam mengidentifikasi serat, khususnya ketika menghadapi sampel yang terdiri dari campuran berbagai jenis serat berbeda. Melalui pengujian morfologi ini, karakteristik fisik material dapat diamati secara mendalam. Peneliti dapat melihat dengan jelas perubahan pada struktur permukaan, bentuk geometri, serta dimensi ukuran serat yang terjadi akibat variasi perlakuan kimia yang diberikan pada material tersebut.. [16] pada proses pengujian mikroskopis ini dilakukan pada 4 variasi serat yang telah diberi perlakuan alkali yaitu NaOH, KOH dan CaOH. Dengan menggunakan lensa tipe *MPlan N* dengan kekuatan perbesaran 10x dan memiliki nilai *Numerical Aperture* (NA) sebesar 0.25. Lensa tersebut diatur tepat di atas serat yang diterangi oleh sumber cahaya dari meja mikroskop.



Gambar 7. Alat Uji Mikroskopis

Uji Tarik

Pengujian tarik merupakan salah satu jenis pengujian mekanik yang dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan, regangan, dan modulus elastisitas suatu material dengan cara memberikan gaya tarik pada spesimen hingga mengalami patah atau putus. [17] Hasil data yang diperoleh dari pengujian ini sangat penting dalam bidang rekayasa teknik maupun perancangan suatu produk karena dapat menunjukkan kemampuan material dalam menerima beban. Pada dasarnya, uji tarik digunakan untuk mengamati ketahanan material terhadap beban statis yang diberikan secara perlahan dan bertahap. Melalui pengujian ini, berbagai sifat mekanis material komposit dapat dianalisis dengan lebih jelas, seperti kekuatan tarik (*tensile strength*), keuletan (*ductility*), dan ketangguhan (*toughness*). [15] Visualisasi dari perangkat yang digunakan dalam pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Alat Uji Tarik *Universal Testing Machine* (UTM) merek *Tarno Grocki*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perhitungan fraksi volume

A. Hasil perhitungan fraksi volume

$$v_f = \frac{w_f/\rho_f}{w_f/\rho_f + w_m/\rho_m} = \dots \dots \dots \text{(Persamaan 5)}$$

$$V_f = \frac{1,2/1,25}{1,2/1,25 + 35/1,15}$$

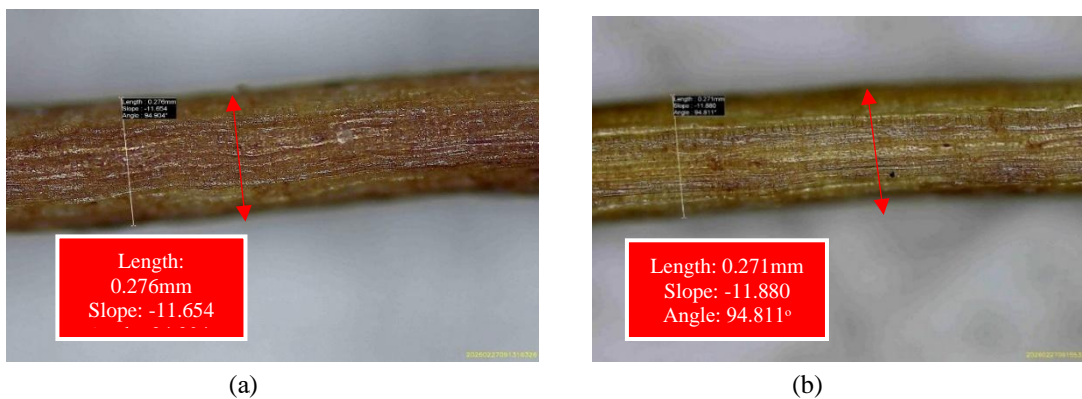
$$V_f = \frac{0,96}{0,96 + 30,43}$$

$$V_f = 0,030$$

$$V_f = 0,030 \times 100\% = 3\%$$

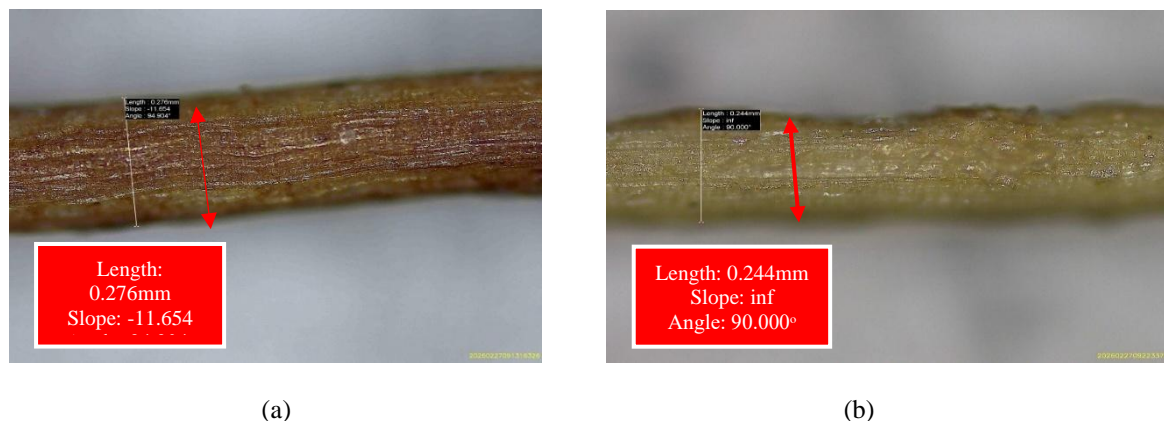
3.2. Hasil Uji Mikroskopis

Analisis mikroskopis dilakukan untuk mengamati perubahan topografi permukaan dan dimensi diameter serat pada keempat variasi perlakuan, yaitu tanpa alkali (TA), serta perlakuan alkali menggunakan CaOH , KOH , dan NaOH . Secara umum, hasil pengujian memperlihatkan adanya perbedaan sifat fisik yang cukup signifikan antara serat tanpa perlakuan dan serat yang telah mengalami perlakuan alkali..



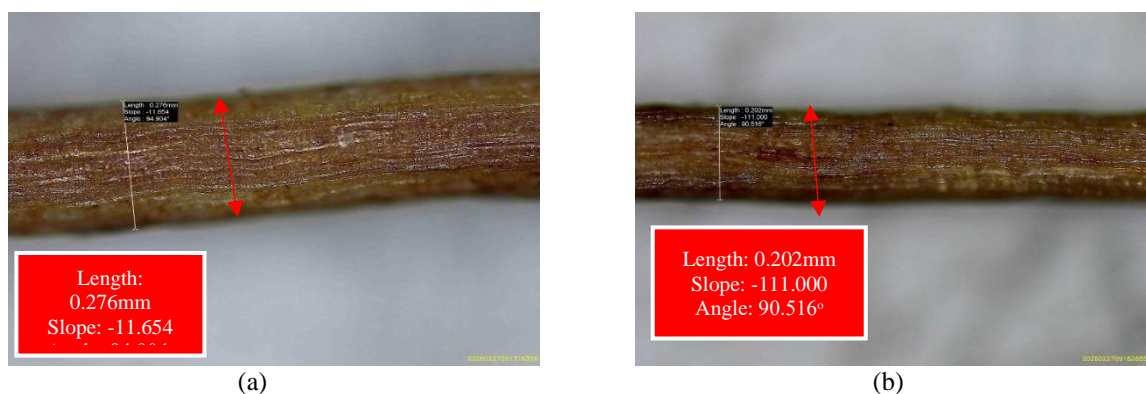
Gambar 9. a. Hasil uji mikroskop pada serat tanpa perlakuan alkali, b. Hasil uji mikroskop pada serat dengan perlakuan alkali KOH

Berdasarkan hasil uji mikroskop pada Gambar 9, perbandingan antara kedua sampel membuktikan bahwa perlakuan alkali sangat diperlukan untuk mengoptimalkan kualitas serat dalam pembuatan komposit polimer. Pada serat tanpa perlakuan (a), diameter serat terlihat lebih tebal (0,276 mm) karena permukaannya masih diselubungi lapisan luar alami seperti lignin, hemiselulosa, dan zat pengotor yang membuat permukaannya cenderung licin. Sebaliknya, setelah diberi perlakuan alkali KOH (b), diameter serat menyusut menjadi 0,271 mm akibat terkikis dan larutnya komponen non-selulosa tersebut. Fenomena ini membuktikan bahwa perlakuan alkali berhasil membersihkan permukaan serat dan menciptakan topografi yang lebih kasar serta beralur. Dalam pembuatan komposit polimer, permukaan yang kasar ini sangat krusial karena mampu meningkatkan efek penguncian mekanis (*mechanical interlocking*) dan memperkuat ikatan interfasi antara serat dengan matriks polimer, analisis dilanjutkan pada variasi CaOH .



Gambar 10. a. Hasil uji mikroskop pada serat tanpa perlakuan alkali ,b. Hasil uji mikroskop pada serat yang diberi perlakuan alkali CaOH

Berdasarkan hasil uji mikroskop pada Gambar 10, perbandingan antara kedua sampel memperkuat bukti bahwa perlakuan alkali memegang peranan krusial dalam memodifikasi karakteristik fisik serat untuk pembuatan komposit polimer. Pada serat tanpa perlakuan (a), diameter serat terlihat lebih tebal mencapai 0,276 mm dengan kondisi permukaan yang cenderung rata dan licin karena masih tertutupi oleh lapisan pelindung alami seperti lilin, lignin, dan hemiselulosa. Sebaliknya, setelah diberikan perlakuan alkali $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (b), terjadi penyusutan diameter yang signifikan menjadi 0,244 mm yang menandakan bahwa larutan alkali telah berhasil mengikis dan melarutkan kandungan komponen non-selulosa serta zat pengotor pada dinding luar serat. Proses pengikisan tersebut sangat berperan penting dalam fabrikasi komposit polimer karena mampu membentuk topografi permukaan serat yang lebih kasar dan beralur. Kondisi ini memberikan efek penguncian mekanis (*mechanical interlocking*) yang lebih efektif serta memperkuat ikatan antarmuka (*interfacial bonding*) antara serat dan matriks polimer. Dengan adanya perlakuan permukaan ini, potensi kegagalan berupa tercabutnya serat (*fiber pull-out*) dapat ditekan, sehingga proses transfer tegangan dari matriks menuju serat penguat menjadi lebih optimal. Hal tersebut pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan kekuatan mekanis dan kekakuan komposit secara keseluruhan. Selanjutnya, analisis akan difokuskan pada variasi perlakuan NaOH.



Gambar 11. a. Hasil uji mikroskop pada serat tanpa perlakuan alkali ,b. Hasil uji mikroskop pada serat yang diberi perlakuan alkali NaOH

Berdasarkan hasil uji mikroskop pada Gambar 11, perbandingan antara kedua sampel menunjukkan adanya perubahan karakteristik fisik dan dimensi serat yang sangat signifikan akibat pengaruh perlakuan kimia. Pada serat tanpa perlakuan (a), kondisi fisik serat terlihat jauh lebih tebal dengan diameter mencapai 0,276 mm serta memiliki permukaan yang relatif rata dan halus karena masih dilapisi oleh komponen mikro alami seperti lignin, hemiselulosa, dan zat lilin pengotor. Sebaliknya, setelah serat diberi perlakuan alkali menggunakan NaOH (b), diameter serat mengalami penyusutan yang sangat drastis hingga menjadi 0,202 mm. Penurunan ukuran yang masif ini membuktikan bahwa larutan NaOH memiliki kemampuan degradasi yang sangat kuat dan efektif dalam mengikis serta melarutkan lapisan non-selulosa pada dinding luar serat. Proses ini menghasilkan topografi serat yang jauh lebih bersih, beralur dalam, dan memiliki tingkat kekasaran permukaan yang tinggi, yang mana kondisi tersebut sangat menguntungkan

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.

Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

dalam pembuatan komposit polimer untuk menciptakan ikatan antarmuka (*interfacial bonding*) yang jauh lebih kuat dan intim antara serat penguat dengan matriks resin..Berikut tabel dari uji mikroskopis:

No	Variasi larutan	Length	Slope	Engle
1.	KoH	0,271mm	-11.880	94.811°
2.	CaOH	0,244mm	Inf	90.000°
3.	NaOH	0,202mm	-111.000	90.516°
4.	Tanpa Alkali	0,276mm	-11654	94.904°

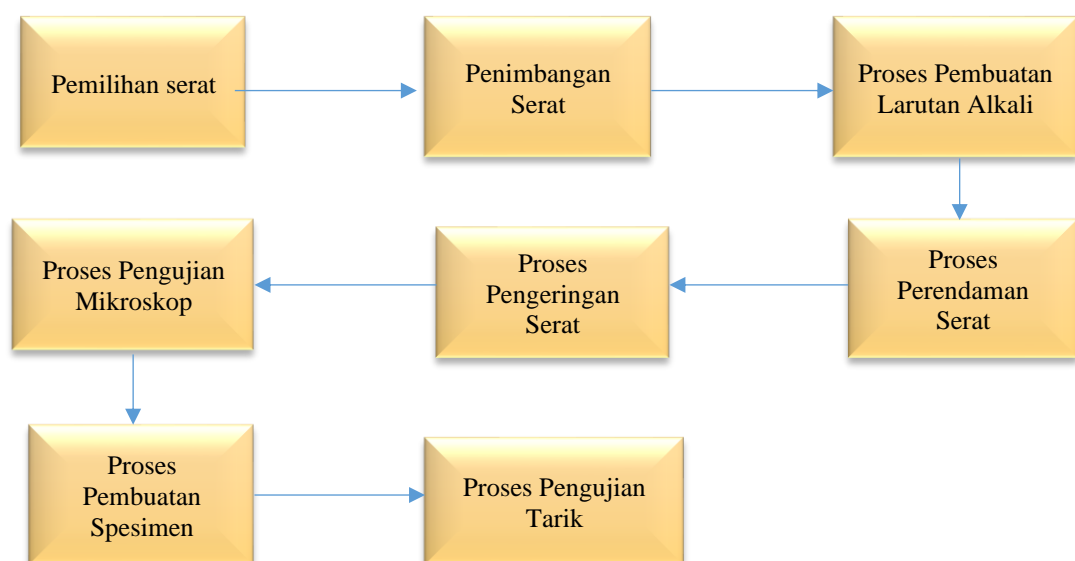
Berdasarkan data hasil uji mikroskopis pada tabel, perbandingan dimensi diameter (*length*) menunjukkan tingkat efektivitas masing-masing larutan dalam mengikis lapisan pengotor alami (lignin, hemiselulosa, dan lilin). Serat tanpa alkali memiliki diameter paling tebal yaitu 0,276 mm, disusul oleh variasi KOH (0,271 mm), dan Ca(OH) (0,244 mm). Sementara itu, variasi NaOH terbukti paling agresif karena menghasilkan penyusutan diameter paling drastis hingga mencapai 0,202 mm. Oleh karena itu, perlakuan alkali menggunakan NaOH adalah variasi terbaik untuk pembuatan komposit polimer. Penyusutan diameter yang maksimal ini menandakan bahwa lapisan pengotor telah luruh secara optimal, sehingga menghasilkan topografi permukaan serat yang jauh lebih bersih, kasar, dan beralur. Kondisi permukaan yang kasar ini sangat krusial untuk menciptakan efek penguncian mekanis (*mechanical interlocking*) dan ikatan antarmuka (*interfacial bonding*) yang kuat dengan matriks resin, sehingga transfer beban mekanis dapat berjalan maksimal dan meningkatkan kekuatan komposit secara keseluruhan. Berikut proses dan tahapan dalam pembuatan komposit menggunakan cairan alkali yang diperkuat sabut kelapa.

3.3 Proses Pembuatan Komposit

Proses pengerjaan dan metodologi pembuatan komposit polimer dalam penelitian ini dilakukan melalui serangkaian tahapan eksperimental yang sistematis, mulai dari persiapan bahan baku hingga diperoleh spesimen siap uji. Untuk memberikan gambaran yang jelas, terstruktur, dan mudah dipahami, keseluruhan langkah serta prosedur pembuatan spesimen tersebut diringkas ke dalam sebuah diagram alir (*flowchart*). Alur ini memetakan setiap fase krusial secara kronologis, termasuk proses perlakuan kimia pada serat, guna memastikan konsistensi dan pemenuhan standar selama pembuatan material komposit. Seluruh tahapan proses pembuatan spesimen komposit polimer dengan perlakuan alkali tersebut secara rinci diringkas dan disajikan pada Gambar 12 untuk spesimen dengan perlakuan alkali dan Gambar 13 untuk spesimen tanpa perlakuan alkali sebagai berikut:

1. Pembuatan komposit dengan perlakuan alkali

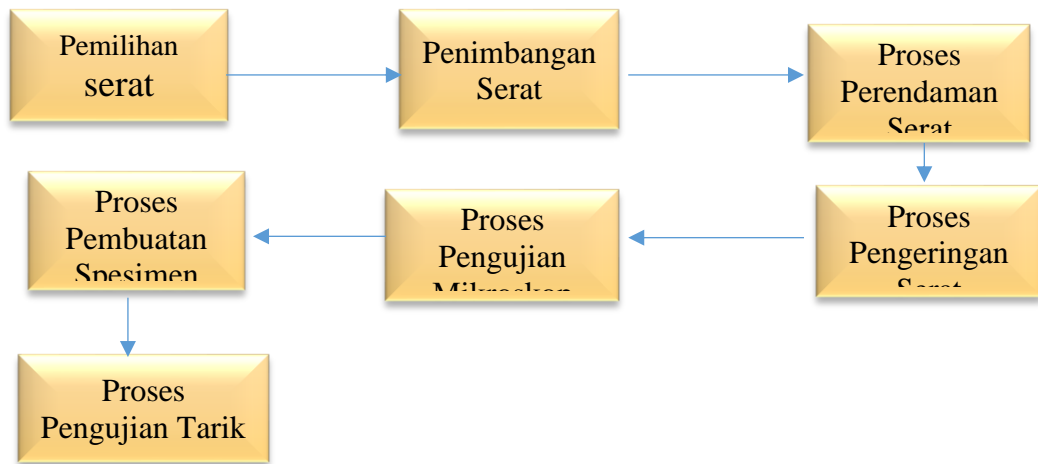
Pembuatan komposit polimer dengan perlakuan larutan alkali memiliki beberapa tahapan proses, berikut merupakan Langkah – Langkah pembuatan spesimen :



Gambar 12. Alur proses pembuatan komposit dengan larutan alkali

2. Pembuatan komposit tanpa perlakuan alkali

Pemuaian komposit polimer tanpa larutan alkali memiliki beberapa tahapan proses, berikut merupakan Langkah – Langkah pembuatan spesimen :



Gambar 13. Alur proses pembuatan komposit tanpa larutan alkali

3.3. Hasil Uji Tarik

A. Hasil perhitungan variasi 1 menggunakan larutan Naoh

a. Tegangan Tarik (Stress)

$$\sigma = \frac{F}{A} = \dots\dots\dots(\text{Persamaan 6})$$

$$\sigma = \frac{3488}{120}$$

$$\sigma = 29,07$$

b. Regangan (Strain)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \dots\dots\dots(\text{Persamaan 7})$$

$$\epsilon = \frac{64,35}{165}$$

$$\epsilon = 0,381$$

c. Modulus Elastisitas

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \dots\dots\dots(\text{Persamaan 8})$$

$$E = \frac{29,07}{0,381}$$

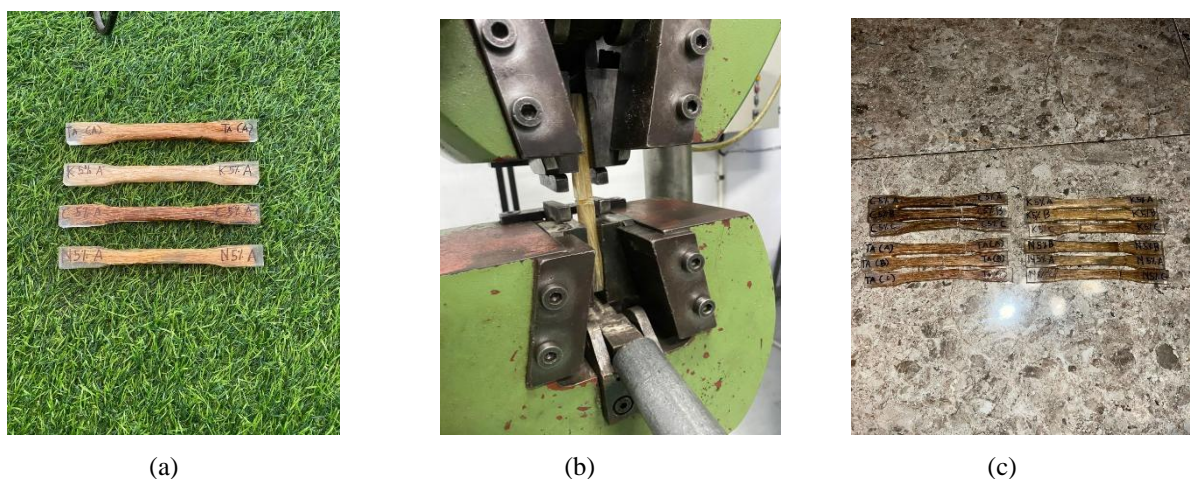
$$E = 76,29$$

Pengujian tarik dilakukan untuk memperoleh parameter-parameter penting, seperti kekuatan tarik maksimum, regangan, serta karakteristik deformasi material selama pembebanan berlangsung.

Tabel 1. Hasil Pengujian Tarik

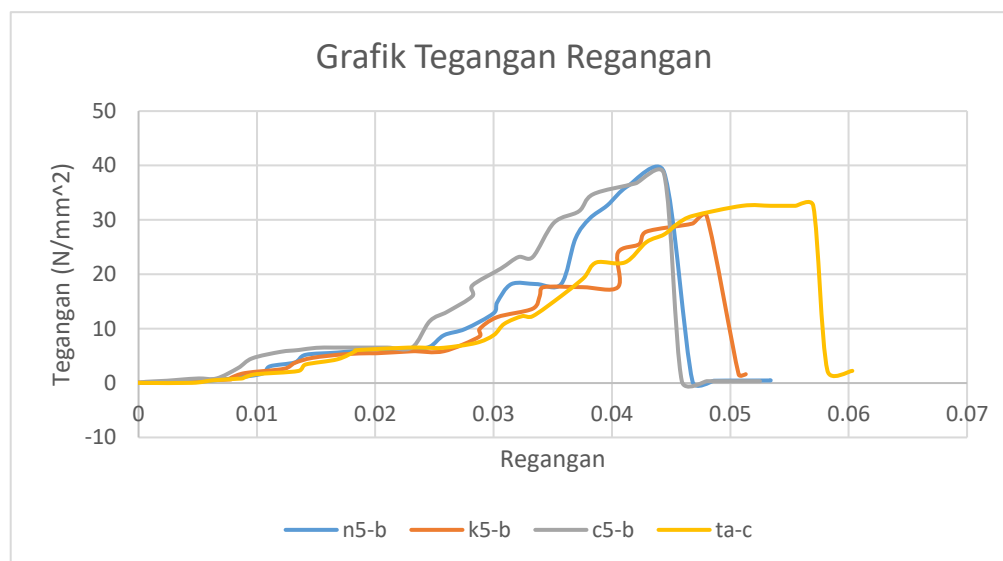
Spesimen	Variasi (jam)	Beban (N)	Perpanjangan (mm)	Tegangan (N/mm ²)	Regangan %	Modulus Elastisitas (N/mm ²)
c5-a	2	4459.63	11.781	37.16	0.71	622.41
c5-b	2	4608.74	8.663	38.41	0.053	903.8
c5-c	2	4410.58	9.456	36.76	0.057	892.2
k5-a	2	3759.19	9.653	28.92	0.059	573.8
k5-b	2	3988.75	8.465	30.68	0.051	648.7
k5-c	2	3937.73	8.069	30.29	0.049	855.5
n5-a	2	3488.44	9.802	29.07	0.059	762.9
n5-b	2	4646.02	8.812	38.72	0.053	877
n5-c	2	2748.76	7.772	22.91	0.047	734
ta-a	2	3382.49	6.485	26.02	0.039	850.3
ta-b	2	2858.63	6.535	21.99	0.040	735.1
ta-c	2	3910.27	9.951	32.59	0.060	656.4

Berdasarkan tabel tersebut, dapat diketahui bahwa variasi perlakuan memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap sifat mekanik material, terutama pada nilai tegangan, regangan, dan modulus elastisitas. Spesimen yang mendapat perlakuan alkali (kode c5, k5, dan n5) secara umum menunjukkan nilai tegangan serta modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan spesimen tanpa perlakuan alkali (ta). Pada variasi c5, nilai tegangan berada pada kisaran 36,76–38,41 N/mm² dengan modulus elastisitas yang dapat mencapai 903,8 N/mm². Hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan alkali pada kondisi tersebut mampu memperbaiki ikatan antara serat dan matriks, sehingga meningkatkan kekuatan tarik material. Variasi k5 memang menunjukkan nilai tegangan yang sedikit lebih rendah dibandingkan c5, tetapi masih lebih tinggi jika dibandingkan sebagian besar nilai pada spesimen tanpa perlakuan alkali. Sementara itu, variasi n5 memperlihatkan hasil yang lebih beragam, dengan nilai tegangan tertinggi mencapai 38,72 N/mm², yang menandakan adanya peningkatan sifat mekanik pada kondisi tertentu. Sebaliknya, spesimen tanpa perlakuan alkali (ta) yang digunakan sebagai pembanding menunjukkan nilai tegangan dan regangan yang relatif lebih rendah. Nilai tegangan maksimumnya hanya mencapai 32,59 N/mm², disertai regangan yang juga lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa perlakuan alkali, ikatan antara serat dan matriks kurang optimal sehingga kemampuan material dalam menahan beban tarik menjadi lebih rendah. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa perlakuan alkali berperan positif dalam meningkatkan sifat mekanik komposit, khususnya pada peningkatan tegangan tarik dan modulus elastisitas. Variasi tanpa perlakuan alkali (ta) digunakan sebagai acuan dasar untuk menunjukkan efektivitas perlakuan yang diberikan.



Gambar 14. a. Spesimen sebelum uji Tarik, b. Proses pengujian Tarik dan c. spesimen setelah uji Tarik

Berdasarkan uji tarik yang dilakukan terhadap spesimen dengan 4 variasi didapatkan hasil sebagai berikut :



Gambar 15. Grafik Hasil Pengujian Tarik Pada Spesimen Komposit

Berdasarkan grafik diatas. Dapat disimpulkan bahwa perlakuan alkali menggunakan NaOH (N5-B) memberikan hasil terbaik karena mampu menghasilkan nilai tegangan maksimum tertinggi sebesar 38,72 N/mm², yang mengungguli kekuatan variasi alkali lainnya maupun spesimen tanpa perlakuan (TA-C). Keunggulan ini juga didukung oleh tingkat kekakuan (modulus elastisitas) yang sangat tinggi mencapai 87,70 N/mm² serta kemampuan deformasi (regangan) yang tetap stabil di angka 0,53%. Kombinasi optimal antara kekuatan mekanis yang superior dan stabilitas struktur tersebut menjadikan variasi NaOH sebagai perlakuan alkali paling efektif dalam meningkatkan kualitas dan performa material secara keseluruhan dibandingkan dengan penggunaan Ca(OH),KOH, atau tanpa perlakuan sama sekali.

3.7 PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian tarik dan uji mikroskopis, jenis larutan alkali memberikan pengaruh terhadap kekuatan komposit polimer yang diperkuat serat sabut kelapa. Perlakuan alkali mampu meningkatkan kualitas permukaan serat sehingga ikatan antara serat dan matriks resin polyester menjadi lebih baik dibandingkan tanpa perlakuan alkali. Pada pengujian tarik, variasi NaOH menunjukkan hasil paling baik dengan nilai tegangan tarik tertinggi sebesar 38,72 N/mm² pada spesimen n5-b. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan variasi KOH, CaOH, maupun tanpa perlakuan alkali. Hal ini menunjukkan bahwa NaOH lebih efektif dalam membersihkan permukaan serat dari lignin dan hemiselulosa sehingga adhesi antara serat dan matriks meningkat. Selain itu, modulus elastisitas pada variasi NaOH juga tergolong tinggi yang menandakan komposit lebih kuat dan kaku dalam menahan beban tarik. Variasi CaOH juga menunjukkan peningkatan kekuatan tarik yang cukup baik dengan nilai tegangan mencapai 38,41 N/mm². Perlakuan ini mampu memperbaiki permukaan serat tanpa menyebabkan kerusakan yang berlebihan. Sementara itu, variasi KOH menghasilkan nilai kekuatan tarik yang lebih rendah dibandingkan NaOH dan CaOH. Hal ini diduga karena perlakuan KOH menyebabkan permukaan serat menjadi terlalu kasar sehingga sebagian struktur serat mengalami degradasi. Pada spesimen tanpa perlakuan alkali diperoleh nilai kekuatan tarik yang lebih rendah dibandingkan variasi alkali. Kondisi ini disebabkan permukaan serat masih tertutup lignin dan zat pengotor sehingga ikatan mekanik antara serat dan matriks kurang maksimal. Akibatnya, beban tarik yang diterima komposit tidak dapat didistribusikan dengan baik. Hasil uji mikroskopis mendukung hasil pengujian tarik yang diperoleh. Variasi NaOH menghasilkan diameter serat terkecil sebesar 0,202 mm dengan permukaan serat paling kasar dan fibril mulai terbuka. Kondisi ini menunjukkan bahwa NaOH mampu menghilangkan lapisan non-selulosa secara optimal sehingga memperbesar luas kontak antara serat dan matriks. Pada variasi CaOH, permukaan serat terlihat cukup bersih dan teratur dengan diameter 0,244 mm. Variasi KOH menghasilkan diameter 0,271 mm dengan permukaan yang kasar namun terdapat indikasi kerusakan pada beberapa bagian serat. Sedangkan pada variasi tanpa alkali, diameter serat paling besar yaitu 0,276 mm dengan permukaan yang masih halus dan gelap akibat kandungan lignin yang belum terlepas. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan alkali berpengaruh terhadap peningkatan sifat mekanik dan struktur permukaan komposit polimer. Dari seluruh variasi yang digunakan, perlakuan NaOH

merupakan yang paling efektif dalam meningkatkan kekuatan tarik dan kualitas adhesi antara serat sabut kelapa dengan matriks resin polyester.

3.6. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perbandingan dalam pembuatan komposit polimer dengan larutan alkali dan diperkuat serat kelapa dengan total 4 variasi perlakuan didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Jenis alkali berpengaruh terhadap kekuatan tarik.

Jenis alkali terbukti berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit dikarenakan setiap larutan alkali berpengaruh terhadap peningkatan kekuaran dari komposit polimer yang dihasilkan

2. NaOH paling efektif.

Dari hasil 4 variasi pengujian di dapatkan komposit polimer dengan larutan NaOH menunjukkan hasil paling efektif dengan menghasilkan tegangan tarik sebesar 29,07, regangan sebesar 0,381, dan modulus elastisitas sebesar 76,29, sedangkan dalam uji mikroskopis menghasilkan length sebesar 0,202mm, slope sebesar -111.000, dan eagle sebesar 90.516°.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo atas ilmu, bimbingan, serta pengalaman berharga yang telah saya peroleh selama masa studi hingga penyusunan penelitian ini. Semoga segala bentuk bantuan, dukungan, dan kontribusi yang telah diberikan mendapatkan balasan yang setimpal serta menjadi amal yang bermanfaat bagi semua pihak.

REFERENSI

- [1] Z. Zulkifli, H. Hermansyah, And S. Mulyanto, “Analisa Kekuatan Tarik Dan Bentuk Patahan Komposit Serat Sabuk Kelapa Bermatriks Epoxyterhadap Variasi Fraksi Volume Serat,” *Jtt (Jurnal Teknol. Terpadu)*, Vol. 6, No. 2, P. 90, 2018, Doi: 10.32487/Jtt.V6i2.459.
- [2] F. I. Aryanti, “Pembuatan Komposit Polimer Polipropilena/Talk/Masterbatch Hitam Pada Cover Tail,” *J. Teknol. Dan Manaj.*, Vol. 19, No. 1, Pp. 1–6, 2021, Doi: 10.52330/Jtm.V19i1.8.
- [3] I. Putu Putrawiyanta, N. Fidayanti, J. Teknik Pertambangan, And U. Palangka Raya, “Kebutuhan Kalsium Hidroksida Untuk Meningkatkan Ph Pada Settling Pond Pt. Tcm (The Need Of Calcium Hydroxide To Increase The Ph In The Settling Pond Of Pt. Tcm),” Vol. Xxii, No. 1, Pp. 58–62, 2022.
- [4] M. Arsyad And Y. Kondo, “Efek Perlakuan Natrium Hidroksida Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Serat Sabut Kelapa,” *Pros. 4th Semin. Nas. Penelit. Dan Pengabdian Kpd. Masy.*, Pp. 16–21, 2020, [Online]. Available: <https://Cropstechnology.Wordpress.Com/Category/Biopolymer/>
- [5] M. F. Arib, 1✉, M. S. Rahayu2, Rusdy A Sidorj3, And M. W. Afgani4, “Experimental Research Dalam Penelitian Pendidikan,” *J. Soc. Sci. Res. Vol. 4 Nomor 1 Tahun 2024 Page 5497-5511 E-Issn 2807-4238 P-Issn 2807-4246*, Vol. 4, Pp. 5497–5511, 2024.
- [6] C. Fiber, L. N. Awwaliyah, T. I. Noor, And B. Setia, “(Studi Kasus Di Cv Ais , Desa Winduraja Kecamatan Kawali , Kabupaten Ciamis) Financial Feasibility Analysis Of Coco Fiber (Coco Fiber) Agroindustry (Case Study At Cv Ais , Winduraja Village , Kawali District , Ciamis Regency) Fakultas Pertanian Univ,” *J. Ilm. Mhs. Agroinfo Galuh Vol. 9, Nomor 3, Sept. 2022 1485-1493*, Vol. 000, No. 1, Pp. 1485–1493.
- [7] M. Nissar, K. N. Chethan, Y. A. Birjerane, S. Patil, S. Shetty, And A. Das, “Coconut Coir Fiber Composites For Sustainable Architecture : A Comprehensive Review Of Properties , Processing , And Applications,” *J. Compos. Sci. 2025, 9, 516*, Pp. 1–24, 2025.
- [8] E. Widodo, A. Kesy, W. Artha, N. Haizal, And M. Yaakob, “South African Journal Of Chemical Engineering Enhancing Adhesivity And Mechanical Performance Of Sansevieria Fiber-Reinforced Composites Through Alkali Treatment,” *South African J. Chem. Eng.*, Vol. 54, No. December 2024, Pp.

- 167–178, 2025, Doi: 10.1016/J.Sajce.2025.07.007.
- [9] K. Witono, Y. S. Irawan, R. Soenoko, And H. Suryanto, “Pengaruh Perlakuan Alkali (Naoh) Terhadap Morfologi Dan Kekuatan Tarik Serat Mendong,” *J. Rekayasa Mesin Vol.4, No.3tahun 2013 227-234issn 0216-468x*, Vol. 4, No. 3, Pp. 227–234, 2013.
- [10] J. Parsyad Arkami, “Predesign Potassium Hydroxide (Koh) From Potassium Chloride (Kcl) And Water (H2o) With Electrolysis Process 30.000 Tons/Year Capacities (Rotary Dryer Design (Rd – 301)),” 2023.
- [11] T. Kimhin, S. Subdistrict, E. D. Apriastuti, And J. Pitulima, “Pengaruh Penambahan Naoh Dan Ca (Oh) 2 Terhadap Penurunan Kadar Logam Berat (Fe) Di Kolong Tambang 23 Desa Kimhin Kecamatan Sungailiat (The Effect Of The Addition Naoh And Ca (Oh) 2 At Reduced Levels Of Heavy Metal (Fe) In,” Vol. 2, No. September, Pp. 10–15, 2017.
- [12] E. Widodo *Et Al.*, “Studi Kekuatan Kekerasan Dan Kekuatan Impact Pada Komposit Diperkuat Serat Sansevieria Dengan Variasi Penambahan Amilum 6 % -10 %,” Vol. 20, No. 1, Pp. 164–174, 2025.
- [13] D. W. Dan E. P. Chandra Wijaya Kusuma Negara, “Pengaruh Jumlah Variasi Fiber Glass Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Ampas Kopi,” *J. Syntax Admiration Vol. 1 No. 6 Oktober 2020 P-Issn 2722-7782 E-Issn 2722-5356*, Vol. 1, No. 6, Pp. 662–671, 2020.
- [14] S. M. Osama¹, Masdani², And Erwansyah³, “Pengaruh Variasi Fraksi Volume Dan Lama Perlakuan Naoh Pada Komsit Berpenguat Serat Tebu Dengan Matriks Polyester Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impact,” *Pros. Semin. Nas. Inov. Teknol. Terap.*, Vol. D, 2022.
- [15] U. N. C. Iharun N. Beliu, Iyeremias M. Pell, Ijahirwan Ut Jasron, 1)Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains Dan Teknik, “Analisa Kekuatan Tarik Dan Bending Pada Komposit Widuri - Polyester,” *Ljtmu Vol. 03, No. 02, Oktober2016*, Vol. 03, No. 02, Pp. 11–20, 2016.
- [16] A. Sophia, J. K. Adinegoro, S. Kalumpang Lubuk Buaya, And S. Barat, “Bioma : Jurnal Biologi Makassar Pewarnaan Alternatif Dengan Menggunakan Kulit Batang Bakau (Rhizophora Apiculata Blume.) Pada Uji Mikroskopis Candida Albicans Penyebab Kandidiasis Oral Alternative Staining By Using Mangrove Bark (Rhizophora Apiculata Blum,” Vol. 9, Pp. 67–72, 2024, [Online]. Available: <https://Journal.Unhas.Ac.Id/Index.Php/Bioma>
- [17] A. D. Betan And A. As, “Pengaruh Persentase Alkali Pada Serat Pangkal Pelepah Daun Pinang (Areca Catechu) Terhadap Sifat Mekanis Komposit Polimer,” Vol. 5, No. 2, Pp. 119–126, 2014.

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.