

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Dalam era yang dipenuhi dengan kemajuan teknologi dan penelitian yang terus berkembang, pemahaman mendalam terhadap perkembangan terkini dalam bidang komposit serat alam menjadi sangat penting. Dalam bagian ini, dapat dieksplorasi berbagai kontribusi terbaru dan temuan signifikan yang relevan dengan topik ini, dengan tujuan memperkuat landasan teoretis dan kontekstual skripsi ini.

Pada penelitian jurnal yang berjudul "*Pembuatan dan analisa sifat mekanik komposit dengan penguat abu (fly ash) cangkang sawit untuk bahan kampas rem sepeda motor*" Simanjourang, B. P. dkk 2017. Objek penelitian jurnal ini terkait membuat campuran bahan kampas rem menggunakan metode cetakan terbuka (*open mould*). Bahan ini terdiri dari abu cangkang sawit sebagai penguat atau *filler*, yang dicampur dengan resin BQTN-157 sebagai *matriks* dan katalis metil etil keton peroksida untuk mempercepat proses pengerasan. Pengujian kekerasan, kelenturan, dan keausan dilakukan selama proses eksperimen.

Hasil pengujian menunjukkan sifat mekanik komposit kampas rem. Spesimen D, yang terdiri dari 40% resin dan 60% fly ash, memiliki tingkat kekerasan tertinggi, 132,8 HV, sementara spesimen C, yang terdiri dari 50% resin dan 50% fly ash, memiliki kelenturan tertinggi, 66,02 N/mm². Spesimen D, yang terdiri dari 40% resin dan 60% fly ash, memiliki tingkat keausan terendah, 1,08 x 10⁻⁵ gr/mm². Hasil ini menunjukkan bahwa variasi dalam komposisi bahan komposit secara signifikan mempengaruhi sifat mekaniknya, lebih banyak kandungan fly ash berarti lebih keras dan tahan terhadap keausan. Namun, kelenturan juga berkurang, yang membuat komposisi dengan resin yang lebih tinggi lebih baik.

Pada penelitian jurnal yang berjudul "*Karakterisasi Bahan Kampas Rem Sepeda Motor Dari Komposit Serbuk Kayu Jati*" Yudhanto F. dkk 2019.

Objek penelitian jurnal ini kampas rem SKJ (Serbuk Kayu Jati) merupakan alternatif pengganti kampas rem asbes. Pengujian mekanis meliputi uji keausan, uji kekerasan, uji koefisien gesek, dan uji tahan panas. Proses pengepresan panas SKJ sebagai bahan utama kampas rem didasarkan pada variasi suhu yaitu 160°C, 170°C, dan 180°C.

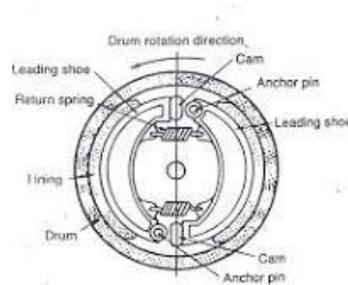
Dalam hal kekerasan, keausan, koefisien gesek, dan ketahanan panas, variasi kampas rem pada suhu 180°C lebih baik daripada variasi pada 160°C dan 170°C. Kampas rem Indopa pada suhu 180°C memiliki kekerasan 25,1 BHN, keausan spesifik $3,36 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$, dan koefisien gesek 0,51. Mereka tidak rusak selama satu jam uji pada suhu 300°C. Uji pemanasan selama satu jam pada suhu 300 derajat Celcius menunjukkan bahwa kampas rem indopart menunjukkan beberapa sedikit retakan, sementara kampas rem RCA tidak mengalami kerusakan apa pun. Selama proses *hot press*, suhu memainkan peran penting dalam pematangan perekat *phenol formaldehyde*. Ini akan mengikat material dengan sempurna dan memengaruhi sifat kekerasan, keausan, koefisien gesek, dan ketahanan panas.

2.2 Kampas Rem

Rem sangat penting bagi pengatur gerak dan pengarah untuk menjaga keamanan kendaraan. Dengan memperlambat gerak rodanya, kendaraan secara otomatis menjadi lebih lambat. Fungsi rem adalah untuk menghentikan putaran poros, mengontrol putaran poros, dan mencegah putaran yang tidak diinginkan. Dalam kebanyakan kasus, energi kinetik benda yang bergerak ini yang hilang diubah menjadi panas oleh gesekan. Sebagian energi dalam rem regeneratif dapat dipulihkan dan disimpan dalam kapasitor, rodagila (*flywheel*), atau diubah menjadi arus bolak balik oleh alternator. Dalam kasus lain, energi ini dapat disimpan dalam baterai untuk digunakan untuk tujuan lain, seperti sebagai penggerak atau sumber listrik (Sukamto, 2012).

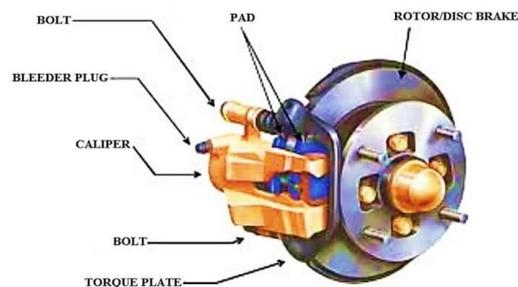
Kampas rem menghentikan atau memperlambat gerakan roda. Sebagai akibat dari gesekan, energi kinetik yang hilang dari objek yang bergerak diubah menjadi panas (Bagaskara dkk., 2019). Rem tromol menggunakan tenaga pengereman untuk menekan permukaan tromol bagian dalam yang

berputar bersama-sama roda. Gesekan menekan sepatu rem yang tidak berputar terhadap tromol (drum pengereman) yang berputar bersama roda, menghasilkan gesekan. (Syawaluddin dan Setiawan, 2008).



Gambar 2.1 Rem Tromol
(Sumber : carmudi.co.id)

Rem cakram terdiri dari sebuah cakram baja yang pada saat pengereman dijepit oleh lapisan rem dari kedua sisinya. Sifat-sifat unggul rem ini termasuk radiasi panas yang baik, pengereman yang stabil, dan mudah dioperasikan. karena itu, roda depan adalah yang paling umum menggunakan rem cakram. Kelemahannya adalah lapisan berumur pendek dan silinder rem yang besar pada roda(Sumiyanto dkk., 2019).



Gambar 2.2 Rem Cakram
(Sumber : daihatsu.co.id)

2.2.1 Kampas Rem Asbestos

Karena rem berbahan asbestos hanya mengandung satu jenis serat, asbes, yang bersifat karsinogenik, rem ini kurang efektif dalam kondisi basah. Karena keterbatasan serat tunggalnya, rem berbahan asbestos dapat mengalami kerusakan (*fading*) pada suhu 2500 derajat Celcius. Hasilnya adalah kampas rem yang terbuat dari asbestos

menjadi licin, serupa dengan gesekan jari di permukaan kaca basah. Bahan baku untuk kampas rem asbestos biasanya terdiri dari 40% hingga 60% asbes, 12% hingga 15% resin, 14% hingga 15% BaSO₄, dan sisa bahan seperti tembaga dari limbah kerajinan, partikel halus, dan logam (Syawaluddin dan Setiawan, 2008).

2.2.2 Kampas Rem Non Asbestos

Bahan (*Friction Aditive*) digunakan pada kampas rem non-asbestos untuk menggantikan komposisi asbestos. Utamanya menggunakan *filler* dan kampas rem untuk mengisi ruang kosong. Selanjutnya, sebagai bantalan tahan aus, resin, serpihan logam, karet sintesis, dan keramik digunakan. Karena tidak adanya kandungan asbestos yang tidak tahan terhadap suhu di atas 200 derajat *Celcius*, kampas rem non-asbestos akan meleleh pada suhu tinggi seperti 350 derajat *Celcius*. Karena komposisi pengurangan gesekan yang lebih tinggi, kampas ini tetap memiliki koefisien gesekan yang tinggi ketika terkena air (Sukamto, 2012)

2.3 Komposit

Komposit adalah bahan yang terdiri dari dua atau lebih material yang berbeda yang digabungkan secara makroskopis, baik yang unik maupun serupa. Istilah "komposit" berasal dari kata "compose", yang berarti menyusun atau menggabungkan. Oleh karena itu, komposit dapat dianggap sebagai kombinasi dari dua atau lebih bahan yang berbeda. Komposit biasanya terdiri dari dua komponen utama: matriks, yang berfungsi sebagai pengikat serat, dan serat, yang berfungsi sebagai bahan pengisi. Sebaliknya, matriks adalah bahan polimer yang dapat dibentuk dengan mudah dan memiliki kemampuan pengikatan tinggi. (Matasina dkk., 2014).

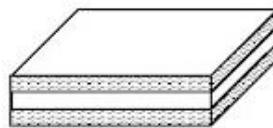
Khususnya beberapa bahan saat ini. Serat gelas, asbes, dan sebagainya sekarang banyak digunakan sebagai bahan komposit dan plastik yang diperkuat. Komposit ini terdiri dari resin dan serat yang diperkuat. Agar

komposit yang diperkuat dapat membentuk produk yang efektif, dua hal harus diperhatikan: (Sukamto, 2012)

1. Modulus elastisitas bagian penguat harus lebih besar daripada bagian matriks.
2. Sangat penting untuk memastikan bahwa komponen penguat dan matriks memiliki ikatan permukaan yang kuat.

Komposit lapis, juga dikenal sebagai komposit lapis, adalah jenis komposit yang terdiri dari dua atau lebih lapisan material yang berbeda yang digabungkan bersama. Komposit ini memiliki lamina, atau arah penyusunan serat yang telah ditentukan. Contoh penerapan komposit lapis adalah sebagai berikut : (Kristiyanto dan Wijianto, 2016).

1. Lapisan bimetal terdiri dari dua jenis logam yang memiliki koefisien ekspansi termal yang berbeda, dan karena desain ini, bimetal melengkung saat suhu meningkat. Akibatnya, lapisan ini sangat cocok untuk alat pengukur suhu.
2. Pelapisan logam adalah proses yang digunakan untuk menggabungkan berbagai jenis logam dengan cara yang memaksimalkan sifat masing-masing logam.
3. Lapisan logam ini meningkatkan ketahanan kaca terhadap cuaca.
4. Panel sayap pesawat menggunakan lapisan komposit serat, yang terdiri dari komposit serat yang disusun dalam berbagai orientasi.



Gambar 2.3 Komposit Lapisan
(Sumber : adenholics.blogspot.com)

2.4 Sifat Mekanis Kampas Rem

Kemampuan suatu bahan untuk menahan gaya, beban, atau energi tanpa mengalami kerusakan dikenal sebagai sifat mekaniknya. Dalam kebanyakan

kasus, sifat mekanik bahan komposit diperbaiki dengan menambahkan elemen penguat.

1. Keuletan

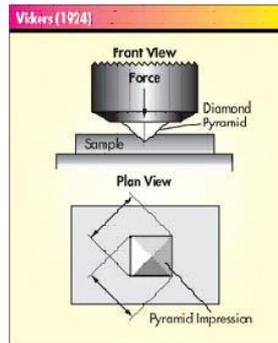
Keuletan adalah sifat bahan yang memungkinkan gaya tarik digunakan untuk membuat kawat tipis. Bahan yang paling ulet adalah yang kuat dan plastik, seperti emas (yang paling ulet), baja ringan, tembaga, aluminium, nikel, seng, dan timah. Persyaratan, persentase pemanjangan, dan persentase pengurangan luas biasanya digunakan untuk mengukur kadar kualitas. Kualitas tarik merujuk pada kemampuan bahan ulet yang memiliki baik plastisitas maupun kekuatan tarik. Ini juga dikenal sebagai kemampuan suatu material untuk menahan deformasi pada suhu rendah tanpa mengalami patah, serta kemampuan material untuk mengalami deformasi di bawah tekanan tanpa pecah. Sebuah material memiliki kapasitas untuk meregang ketika beban tarik diterapkan dan tetap mempertahankan bentuknya setelah beban tersebut dihilangkan. Material akan luluh dan berubah bentuk ketika terkena beban kejut. Bahan ulet tetap kuat meskipun diubah bentuknya (Murugan, 2020).



Gambar 2.4 Metode 3 Point Bending
(Sumber :(Simanjorang dkk., 2017))

2. Kekerasan

Kekerasan bahan merujuk pada kemampuan bahan untuk menahan penetrasi dari bahan lain. Ini melibatkan berbagai karakteristik, termasuk ketahanan terhadap keausan, goresan, dan deformasi. Secara umum, kekerasan bahan diartikan sebagai kemampuan untuk menahan abrasi, deformasi, atau lekukan (Murugan, 2020).



Gambar 2.5 Pengujian *Vickers*

(Sumber :(Simanjorang dkk., 2017))

3. Ketangguhan

Ketangguhan merupakan kemampuan suatu bahan untuk menahan beban tumbukan yang tinggi dan tetap tidak patah setelah tekukan. Material kehilangan kekuatan saat dipanaskan. Energi yang diserap oleh material sampai mencapai titik keruntuhan, serta area di bawah kurva tegangan-regangan, adalah metode alternatif untuk mengukur kekuatan material. Sebagai contoh, baja ringan akan menyerap lebih banyak energi sebelum mengalami kegagalan dibandingkan dengan kaca saat terkena beban mendadak. Ini membuat baja ringan lebih keras daripada kaca. Karena itu, komponen yang rentan terhadap beban kejut dan benturan perlu memiliki karakteristik ini. (Murugan, 2020).

4. Kekuatan

Kekuatan material mengacu pada kemampuan suatu material untuk menahan gaya eksternal tanpa patah atau luluh. Tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh suatu bahan terhadap kerusakan disebut kekuatan pamungkasnya (Murugan, 2020).

2.5 Matriks

Matriks berfungsi sebagai pengikat serat penguat dalam komposit dan umumnya memiliki sifat ulet serta kekuatan yang lebih rendah dibandingkan serat penguatnya. Resin atau polimer sering digunakan sebagai matriks, dengan berbagai jenis resin yang umum digunakan antara lain: (Manuputty dan Berhиту, 2010)

1. *Polyester (orthophthalic)*, Resin ini sangat tahan terhadap korosi akibat air laut dan asam cair.
2. *Polyester (Isophathalic)*, Resin ini tahan terhadap panas dan larutan asam, serta memiliki kekerasan yang lebih tinggi dan kemampuan menahan penyerapan air (*adhesion*) yang lebih baik dibandingkan resin ortho.
3. *Epoxy*, Resin ini sangat unggul dalam menahan penyerapan air (*adhesion*) dan memiliki kekuatan mekanis yang paling tinggi.

2.6 Penguat

Komposit penguat serat adalah bahan yang terdiri dari dua atau lebih komponen, yaitu matriks dan penguat. Matriks adalah material yang mengikat dan mendistribusikan beban ke penguat. Penguat adalah material yang memberikan kekuatan dan kekakuan pada komposit.

Serat penguat dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis utama:

1. Serat organik: Serat ini berasal dari sumber daya alam seperti tumbuhan dan hewan. Contoh serat organik termasuk serat selulosa (rami, kapas, kayu), serat protein (sutra, wol), dan serat kitin (cangkang krustasea).
2. Serat anorganik: Serat ini berasal dari sumber daya non-hayati seperti logam, keramik, dan kaca. Contoh serat anorganik termasuk serat baja, serat karbon, dan serat kaca.

Sebagai bahan penguat yang paling umum digunakan untuk membentuk komposit, serat gelas dengan modulus elastisitas tinggi digunakan untuk meningkatkan kekuatan tarik dan lengkung, meningkatkan rasio kekuatan terhadap berat, dan mempertahankan kestabilan bentuk. Saat ini, beberapa jenis serat gelas yang dapat digunakan dalam proses pembentukan komposit adalah sebagai berikut:: (Manuputty dan Berhita, 2010)

1. *Roving*, Serat gelas yang berbentuk benang panjang dan *kontinu*.
2. *Woven roving*, Serat gelas yang dianyam secara tegak lurus membentuk pola seperti tikar. Dalam proses pembuatan lamina, proporsi berat serat *woven roving* dibandingkan resin adalah sekitar 45–50% serat *woven roving* dan 50–55% resin *polyester* dari total berat.

3. *Chopped roving*, Serat roving yang dipotong menjadi ukuran kecil, antara 0,25 hingga 2 inci, dan biasanya disebar di atas resin.
4. *Chopped standard mat*, Serat gelas yang terdiri dari *chopped roving* yang disusun secara acak dan saling bertumpuk.

Selama pembuatan lamina, berbagai bahan tambahan memengaruhi karakteristik laminate komposit. Berikut adalah fungsi, komposisi, dan efek dari masing-masing bahan tambahan tersebut: (Manuputty dan Berhиту, 2010)

1. Katalis: Bahan tambahan yang memulai proses polimerisasi resin, mengubahnya dari cair menjadi padat pada suhu kamar (27°C). Umumnya, katalis digunakan dalam jumlah sekitar 0,5 – 4% dari volume resin.
2. *Accelerator (promoter)*: Bahan tambahan yang mempercepat reaksi polimerisasi antara katalis dan polyester resin pada suhu kamar, memungkinkan proses ini berlangsung lebih cepat tanpa tambahan panas eksternal.
3. *Sterin (Styrene Monomer)*: Cairan bening yang digunakan untuk mengencerkan resin, dengan penambahan biasanya berkisar antara 35 – 40% dari volume resin.

2.7 Cangkang Kelapa Sawit

Cangkang kelapa sawit adalah salah satu limbah yang dihasilkan oleh tanaman kelapa sawit. Cangkang ini biasanya digunakan sebagai pupuk dan bahan bakar untuk boiler, tetapi jika diproses, cangkang ini dapat diubah menjadi produk yang lebih berharga. Cangkang kelapa sawit dapat digunakan dalam bidang teknik. Salah satu bahan dasar cangkang kelapa sawit yang dapat digunakan dalam bidang teknik adalah material komposit alam (Perdana, 2019). Karena sifat mekaniknya berupa kekerasan cangkang kelapa sawit yang relatif tinggi, limbah cangkang kelapa sawit dapat digunakan sebagai bahan untuk membuat komposit alam yang tahan gesek (Perdana, 2021).

Cangkang kelapa sawit adalah sumber bioenergi yang bagus karena kandungan sulphurnya yang sangat rendah. Dengan area perkebunan kelapa sawit yang luas di Indonesia, ketersediaan cangkang sawit jelas menunjukkan

bahwa pemanfaatan cangkang sawit sebagai bahan bakar dianggap lebih menguntungkan karena tidak hanya dapat mengurangi emisi karbon. Cangkang kelapa sawit mengandung sebagai berikut: (Fachry dkk., 2011).

1. Kadar Air

Karena mengandung kadar air yang lembab (lembab dalam analisis) antara 8 dan 11 persen pada basis air basah, cangkang sawit sangat cocok untuk digunakan sebagai bahan bakar. Ini karena pada dasarnya, semakin rendah kadar air sesuatu, semakin mudah terbakar. Kualitas seperti daya tahan dan kekuatan juga dipengaruhi oleh kondisi kadar air ini.

2. Kadar Abu

Cangkang kelapa sangat cocok untuk digunakan sebagai bahan bakar arang sebagai pengganti batu bara karena kadar abunya yang rendah (sekitar 2-3%). Menggunakan cangkang kelapa sebagai bahan bakar akan mengurangi jumlah sumber daya alam yang terbatas dan menambah stok sumber daya yang mudah diperbaharui.

3. Kadar Penguapan

Karena cangkang sawit mengandung zat sulphur karbon yang lebih rendah, yang mengurangi pencemaran udara, menggunakan cangkang sawit akan lebih ramah lingkungan daripada menggunakan batubara atau bahan bakar sumber daya alam lainnya. Hal ini disebabkan oleh kadar penguapan volatilitas cangkang sawit yang tinggi, yang berkisar antara 69 dan 70 persen.

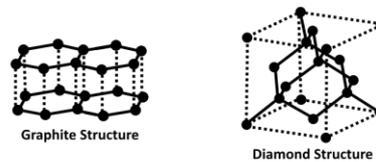
4. Karbon Aktif

Cangkang kelapa sawit mengandung sekitar 20–22% karbon aktif murni, atau karbon tetap. Karbon aktif dari limbah cangkang kelapa sawit umumnya digunakan untuk menyerap karbon dioksida dan memurnikan biogas. Ukuran mikropori dari karbon aktif ini, yang memfasilitasi penyerapannya terhadap gas, telah terkonfirmasi melalui pengukuran *Gas Sorption Analyzer* (GSA).

2.8 Graphite

Grafit terdiri dari atom karbon yang membentuk kisi planar dengan ikatan yang lemah antar lapisan, yang merupakan salah satu bentuk alotrop karbon. Dalam kulit elektron terluar karbon terdapat empat elektron valensi. Tiga di antaranya terikat dalam ikatan kovalen, sedangkan satu elektron lainnya dapat bergerak dengan bebas dan membentuk medan listrik.

Allotropes of carbon



Gambar 2.6 Struktur Graphite

(Sumber : sainspop.com)

Berbagai sifat unik yang dihasilkan oleh struktur grafit termasuk kekakuan tinggi karena kemampuan untuk mengalami pergeseran antar lapisan, konduktivitas panas dan listrik yang tinggi, dan sifat hubrikasi yang baik pada tekanan dan suhu tinggi. Grafit juga dapat mengikat molekul kimia di antara lapisannya dan tahan terhadap oksidasi dan bahan kimia. Grafit berfungsi sebagai aditif konduktif dalam matriks polimer dan memiliki kemampuan untuk menurunkan resistansi listrik komposit (Wijayanti, 2012).

2.9 Alumina

Al_2O_3 Alumina adalah jenis oksida keramik yang paling sering digunakan dan dianggap sebagai pelopor keramik modern. Dengan massa jenis 3,89 gram per sentimeter kubik dan titik leleh yang sangat tinggi (2050°C), alumina telah lama digunakan dalam desain tanur. Gaya pengikatan interatomiknya, yang bersifat sebagian ionik dan sebagian kovalen, sangat kuat, dan struktur kristalnya tetap stabil hingga suhu sekitar $1500\text{--}1700^\circ\text{C}$. Keramik alumina dengan ukuran butir halus ($0,5\text{--}20\ \mu\text{m}$) dan hampir tanpa porositas biasanya digunakan untuk komponen rekayasa yang diproduksi pada suhu lebih rendah. Alumina memiliki berbagai keunggulan, termasuk

kekerasan tinggi tetapi getas, ketahanan terhadap robek, kekuatan dan kekakuan yang tinggi, serta konduktivitas termal yang baik, bentuk dan kapasitas yang baik, dan tahan terhadap pengaruh asam dan alkali yang kuat pada suhu tinggi (Fahmi, 2015).

Jika alumina diekstraksi dengan bantuan bauksit, metode bayer masih merupakan metode yang paling hemat biaya untuk mensintesa alumina dari segi panas. Pada tahun 1889, *Karl Josef Bayer* mematenkan proses *Bayer*. Proses bayer dilakukan dengan memisahkan unsur-unsur pengatur utama bauksit, seperti SiO_2 , Fe_2O_3 , dan TiO_2 , dari bahan organik. Kemudian, senyawa $\text{Al}(\text{OH})_3$ diekstraksi dari bauksit dengan larutan 30% NaOH (Fahmi, 2015).

2.10 ZnO

Seng oksida (ZnO), suatu senyawa anorganik dengan rumus kimia ZnO , adalah semikonduktor yang stabil yang memiliki struktur wurtzite. Zincite, mineral yang ditemukan di kulit bumi, telah diteliti secara menyeluruh dan digunakan untuk berbagai aplikasi teknologi kontemporer. ZnO biasanya merupakan serbuk putih yang hampir tidak larut dalam air. Plastik, keramik, gelas (gelas), semen, karet, pigmen, makanan (sumber nutrisi Zn), ferit, pemadam kebakaran, plester, dan banyak lagi. Dengan berfungsi sebagai semikonduktor, ZnO menghasilkan luminisen biru. hingga hijau-kuning yang cukup efektif. Dengan sifat ini, ZnO adalah bahan yang ideal yang sangat potensial untuk pengembangan sumber cahaya putih. ZnO juga sangat baik untuk menghasilkan fosfor tegangan rendah dan peraga fluoresen vakum, serta peraga medan emisi (FED) (Ginting, 2019).

2.11 Serat Bambu

Sebagai penguat polymer yang dapat digunakan dalam komposit, serat alam (fiber natural) seperti *jute*, *straw*, sisal, bambu, dan *coir* sedang mendapat perhatian.

1. Serat alam lebih murah daripada serat sintetik (fiber sintetik)
2. Memiliki berat jenis yang lebih rendah daripada serat alam

3. Memiliki kemampuan khusus yang tinggi
4. Mudah didapat dan digunakan kembali.
5. Kekuatan tarik dan modulus young rata-rata terkait dengan peningkatan kandungan cellulose.

Dengan sifat fisiknya yang luar biasa, serat bambu memiliki prosentase *cellulose* yang cukup tinggi (60 persen), sudut *microbillar* (2 hingga 10 derajat), dan prosentase lignin (32 persen). Selain itu, bambu memiliki densitas yang lebih rendah daripada serat alam lainnya, bambu pasti memiliki karakteristik mekanik yang lebih baik daripada serat alam lainnya.

Jika serat bambu digunakan untuk bagian otomotif, hasilnya lebih baik daripada jenis serat alam lainnya. Sebagai bahan peredam suara kendaraan, penelitian menunjukkan bahwa serat bambu, pisang, dan goni yang dicampur dengan polimer plastik polypropylene (PP) memiliki koefisien penyerapan suara yang paling tinggi. Selain itu, uji kekuatan tarik menunjukkan komposit serat bambu/polipropilena (PP) lebih unggul daripada komposit pisang/PP sebesar 510% dan goni/PP sebesar 97,3%. Studi lain yang membandingkan komposit serat bambu/PP dengan serat rami yang diperkuat juga menemukan bahwa komposit serat bambu/PP memiliki kekuatan tarik dan lentur yang lebih baik. Uji penyerapan air menunjukkan bahwa, dibandingkan dengan serat rami/PP yang memiliki sifat hidrofilik yang Selain itu, struktur antarmuka komposit serat bambu/PP menunjukkan adhesi antara serat dan matriks yang lebih baik. (Hao dkk., 2021).

Untuk meningkatkan kompabilitas antara serat dan matriks, perlakuan alkali digunakan untuk mengubah serat. Perlakuan alkali mengubah kandungan lignin atau pectin dan hemiselulosa serat, yang pada gilirannya meningkatkan kekasaran permukaan serat, meningkatkan ikatan antara matriks dan serat (Yudistira, 2021).

Pada penelitian Toni, dkk (2018) pengujian konsentrasi NaOH untuk serat bambu. Untuk kondisi kering, kekuatan impact terbaik dicapai pada konsentrasi NaOH sebesar 8% selama semua waktu perendaman, dengan peningkatan sebesar 31,92% selama 0.5 jam perendaman dan 40,97% selama

2 jam perendaman. Untuk kondisi kering, kekuatan impact meningkat untuk 4% pada konsentrasi alkali selama semua waktu perendaman.

2.12 Pengujian Kelenturan dan Kekerasan

Tujuan dari ISO 178 adalah untuk menyediakan prosedur yang standar dan dapat diandalkan untuk mengukur modulus kelenturan (flexural modulus) dan kekuatan lentur (flexural strength) dari bahan plastik. Pengujian dilakukan dengan membungkukkan spesimen berbentuk balok atau prisma yang dijepit pada kedua ujungnya, kemudian diberi beban di tengahnya hingga spesimen mengalami patah atau deformasi tertentu. Metode pengujian ini sering disebut sebagai metode pengujian lentur tiga titik (three-point flexural test) karena beban diberikan pada spesimen melalui tiga titik penyangga (Institution, 2019).

Rumus yang diberikan diturunkan dengan asumsi perilaku elastis linier dan valid untuk defleksi spesimen yang kecil dibandingkan dengan ketebalannya. Dengan spesimen yang dianjurkan (yang mengukur 80 mm × 10 mm × 4 mm) pada regangan lentur konvensional sebesar 3,5 % dan rasio bentang terhadap ketebalan, L/jam, sebesar 16, defleksinya adalah 1,5 jam. Uji lentur lebih tepat untuk material kaku dan getas yang menunjukkan defleksi kecil pada titik tertentu patah dibandingkan yang sangat lunak dan ulet (Institution, 2019).

Pengujian kekerasan Rockwell yang diatur oleh ASTM D785 dilakukan dengan menggunakan mesin uji kekerasan yang sesuai dengan skala kekerasan Rockwell yang dipilih. Proses pengujian melibatkan memberikan beban pada permukaan bahan menggunakan bola atau penetrator berbentuk kerucut yang ditempatkan pada permukaan spesimen. Kemudian, kedalaman penetrasi tersebut diukur untuk menentukan nilai kekerasan (Materials, 2004).

Spesimen uji standar harus memiliki minimum ketebalan 6 mm (1/4 inci). Spesimen mungkin berupa potongan dari cetakan atau lembaran. Pada pengujian itu spesimen memiliki permukaan datar paralel untuk memastikan tempat permukaan yang baik dengan demikian menghindari defleksi yang

mungkin disebabkan oleh kontak yang buruk. Spesimen harus berukuran minimal 25 mm (1 in) persegi jika dipotong dari lembaran, atau luasnya paling sedikit 6 cm^2 (1 inci^2) jika dipotong dari bentuk lain. Lebar minimum harus 13 mm ($1/2$ inci) ditambah lebar lekukan yang dihasilkan melakukan pengujian menggunakan indentor yang dipilih (Materials, 2004).

2.13 Standard Komersial Kampas Rem

Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa kampas rem original memperoleh nilai rata-rata kekerasan sebesar 65.567 HVN. Dari pengujian koefisien friksi, kampas rem ini mendapatkan nilai koefisien gesek sebesar 0.14. Sementara itu, uji keausan menyatakan bahwa kampas rem original memperoleh nilai keausan sebesar $1.35 \times 10^{-7} \text{ g/mm}^2 \cdot \text{detik}$ dalam kondisi normal, $4.06 \times 10^{-7} \text{ g/mm}^2 \cdot \text{detik}$ setelah perendaman dalam air, dan $6.77 \times 10^{-7} \text{ g/mm}^2 \cdot \text{detik}$ setelah direndam dalam minyak rem (Upura dan Laksono, 2019).

Adapun kriteria persyaratan tekni dari kampas rem sesuai standar SAE J661 (SAE, 1997) adalah sebagai berikut : (Upura dan Laksono, 2019)

1. Untuk nilai kekerasan sesuai standar keamanan 68 – 105 (Rockwell R)
2. Ketahanan panas 360°C , untuk pemakaian terus menerus sampai dengan 250°C .
3. Nilai keausan kampas rem adalah $5 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{kg}$ (kondisi Normal)
4. Koefisien gesek 0.14 – 0.27
5. Massa jenis kampas rem adalah $1.5 - 2.4 \text{ g/mm}^2$
6. Konduktifitas thermal 0.12 – 0.8 W.moK
7. Tekanan spesifiknya adalah 0.17 – 0.98 J/g $^\circ\text{C}$
8. Kekuatan geser 1300 – 3500 N/cm 2
9. Kekuatan perpatahan 480 – 1500 N/cm 2

2.14 Densitas

Densitas adalah ukuran massa per unit volume suatu material. Densitas menggambarkan seberapa banyak massa yang terkandung dalam volume tertentu dari suatu bahan. Secara matematis, densitas (ρ) didefinisikan

sebagai massa (m) dibagi dengan volume (V). Adapun rumus densitas aktual dan densitas teoritis sebagai berikut (Amalia dan Hairiyah, 2020).

1. Densitas Aktual

$$\rho_m = \frac{m}{V} \dots\dots\dots(2.1)$$

2. Densitas Teoritis

$$\rho_{th} = \rho_{al} \cdot v_{al} + \rho_{gr} \cdot v_{gr} + \rho_{ZnO} \cdot v_{ZnO} + \rho_C \cdot v_C + \rho_B \cdot v_B + \rho_R \cdot v_R \dots(2.2)$$

Keterangan :

- ρ_m = Densitas Aktual (g/cm^3)
- m = Massa (g)
- v = Volume (cm^3)
- ρ_{th} = Densitas Teoritis
- ρ_{al} = Densitas Alumina (g/cm^3)
- ρ_{gr} = Densitas Graphite (g/cm^3)
- ρ_{ZnO} = Densitas Zinc Oxide (g/cm^3)
- ρ_C = Densitas Cangkang Kelapa Sawit (g/cm^3)
- ρ_B = Densitas Bambu (g/cm^3)
- ρ_R = Densitas Resin (g/cm^3)
- v_{al} = Fraksi Volume Alumina (%)
- v_{gr} = Fraksi Volume Graphite (%)
- v_{ZnO} = Fraksi Volume Zinc Oxide (%)
- v_C = Fraksi Volume Cangkang Kelapa Sawit (%)
- v_B = Fraksi Volume Bambu (%)
- v_R = Fraksi Volume Resin (%)

2.15 Porositas

Porositas adalah ukuran yang menunjukkan persentase volume total suatu material yang terdiri dari ruang-ruang kosong atau pori-pori. Dengan kata lain, porositas menggambarkan seberapa banyak ruang dalam material yang tidak diisi oleh bahan padat. Biasanya dinyatakan dalam bentuk

persentase, porositas dihitung sebagai perbandingan antara volume pori-pori dengan volume total material (Setiadi dan Sulardjaka, 2014).

$$Porositas = \frac{\rho_{th} - \rho_m}{\rho_{th}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

2.16 Serapan Air

Serapan air adalah kemampuan suatu material untuk menyerap dan menahan air dalam struktur atau pori-porinya. Parameter ini penting dalam berbagai aplikasi teknik dan industri karena mempengaruhi sifat fisik dan kinerja material. Daya serap air biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase yang menunjukkan jumlah air yang diserap oleh material relatif terhadap berat keringnya. Material dengan daya serap air yang tinggi, seperti spons atau kayu, dapat menyerap air dalam jumlah besar, sementara material dengan daya serap air rendah, seperti kaca atau logam, tidak menyerap air sama sekali. Pemahaman tentang daya serap air penting dalam memilih material untuk aplikasi tertentu, seperti bahan bangunan yang harus tahan terhadap kelembaban atau bahan tekstil yang harus nyaman dan cepat kering. Selain itu, daya serap air juga penting dalam konteks lingkungan, misalnya dalam penyerapan air tanah oleh berbagai jenis tanah atau material penyerap dalam pengelolaan limbah cair. Berikut rumus untuk serapan air pada sampel (Amalia dan Hairiyah, 2020).

$$Serapan Air = \frac{B-A}{A} \times 100\% \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

A = Berat Sampel Sebelum direndam (g)

B = Berat Sampel Sesudah direndam (g)