

TINJAUAN PUSTAKA

Pada pengantar bab ini merupakan deskripsi singkat dari isi bab 2 Kajian Pustaka dan Dasar Teori. Isi bab 2 Pendahuluan meliputi : komposit, klasifikasi komposit, struktur dan unsur utama pada bahan komposit, serat alam sebagai bahan *filler* komposit, serat yang digunakan, delignifikasi dan perlakuan alkali, metode pelapisan manual (*hands lay up*), pengujian material, Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), dan penelitian terdahulu.

2.1 Komposit

Logam, polimer, keramik, dan komposit merupakan struktur bahan yang termasuk empat kategori dasar. Komposit menggabungkan dua atau lebih bahan yang berbeda menjadi satu struktur. Struktur ini biasanya terdiri dari kombinasi tiga variasi material yang berbeda. Di awal zaman modern bahan komposit buatan, komponen penyusunnya berukuran makro. Seiring dengan berkembangnya teknologi komposit selama beberapa dekade terakhir, ukuran bahan penyusun, terutama bahan penguat komposit terus mengecil. Bahan komposit biasanya digunakan karena memiliki karakteristik yang tidak dimiliki oleh komponen yang disusun oleh satu bahan saja (Gibson, 1994).

Material komposit adalah material jenis baru yang merupakan hasil proses rekayasa ilmiah yang melibatkan dua atau lebih material dan hasil akhirnya (material komposit) memiliki sifat material yang berbeda mulai dari sifat kimia hingga sifat fisik dan tetap terpisah. Karena terdapat perbedaan dari material penyusunnya, maka antarmaterial komposit harus berikatan dengan kuat. Oleh karena itu, penambahan *wetting agent* sangat diperlukan (Nayiroh, 2013). Kontak simultan antara permukaan fasa cair dan permukaan fasa padat disebut *wetting agent*, karena kemampuan resin untuk membasahi (memperkuat) serat disebabkan oleh interaksi antarmolekul dari kedua bahan tersebut. (Betan, 2014).

Material komposit adalah material yang terikat secara makroskopis. Bahan ini didefinisikan sebagai bahan yang komposisinya terdiri dari campuran atau kombinasi dua atau lebih unsur utama yang memiliki struktur makro yang berbeda dan/atau komposisi bahan yang tidak terpisahkan (Schwartz, 1984). Salah satu keunggulan komposit adalah mudah diorientasikan. Oleh karena itu, kekuatannya hanya dapat diatur ke arah tertentu. Kemampuan tersebut disebut sebagai *tailoring properties*. Komposisinya ringan, tahan, tidak menimbulkan korosi, tidak kehilangan sifat mekanik dan kekuatan, serta dapat bersaing dengan logam adalah keistimewaan dari komposit. Beberapa definisi komposit adalah sebagai berikut:

1. Tingkat dasar, pada molekul tunggal maupun kisi kristal. Pada tingkat ini, apabila bahan tersusun atas susunan dua atom atau lebih disebut komposit, misalnya senyawa, keramik, polimer, dan paduan.
2. Mikrostruktur pada fasa, senyawa, dan kristal. Apabila bahan tersebut terdiri dari dua fasa atau susunan senyawa atau lebih fasa, disebut struktur mikro dan disebut bahan komposit, seperti paduan karbon dan besi.
3. Makrostruktur, merupakan material yang tersusun dari campuran dua atau lebih komponen makroskopik yang memiliki bentuk dan/atau komposisi yang berbeda dan tidak dapat larut satu sama lain disebut material komposit.

Dibandingkan dengan bahan konvensional, bahan komposit memiliki banyak keunggulan. Beberapa diantaranya memiliki kekuatan yang dapat disesuaikan, lebih ringan, memiliki nilai kekuatan dan ketahanan yang lebih tinggi, dan tahan terhadap korosi dan keausan. Sifat dan kinerja material komposit dipengaruhi oleh material penyusunnya, yang berarti dipengaruhi oleh interaksi antar elemen penyusun struktur tersebut. Unsur-unsur penyusun material komposit yaitu interaksi antara serat dan matriks sangat mempengaruhi kekuatan ikatan antar muka. Aspek penting yang menentukan sifat mekanik material komposit adalah material komposit menunjukkan kekuatan ikatan antarmuka terbaik antara matriks dan serat. (Marwadi, 2018).

Untuk menentukan sifat-sifat komposit, terdapat tiga faktor yang harus diperhatikan, yaitu (Kirby, 1963):

a. Material pembentuk

Material pembentuk memegang peranan yang sangat penting karena memiliki pengaruh yang besar dalam menentukan performansi material komposit. Material komposit biasanya memiliki sifat-sifat yang digabungkan dengan sifat-sifat komponennya.

b. Bentuk dan susunan komponen

Karakteristik struktural dan geometri material juga memiliki pengaruh besar pada kinerja material. Bentuk dan ukuran setiap komponen serta distribusi dan jumlah relatif dari masing-masing komponen merupakan faktor yang sangat penting yang mempengaruhi penampilan komposit secara keseluruhan.

c. Hubungan antar komponen

Material komposit adalah material yang terbentuk dari campuran atau kombinasi dari dua atau lebih material yang berbeda, dilihat dari sifat dan bentuk materialnya, maka sifat dari kombinasi material yang diperoleh akan berbeda. Penggunaan komponen sesuai dengan aplikasi merupakan dasar dari desain, pengembangan dan penggunaan material komposit.

2.2 Klasifikasi Komposit

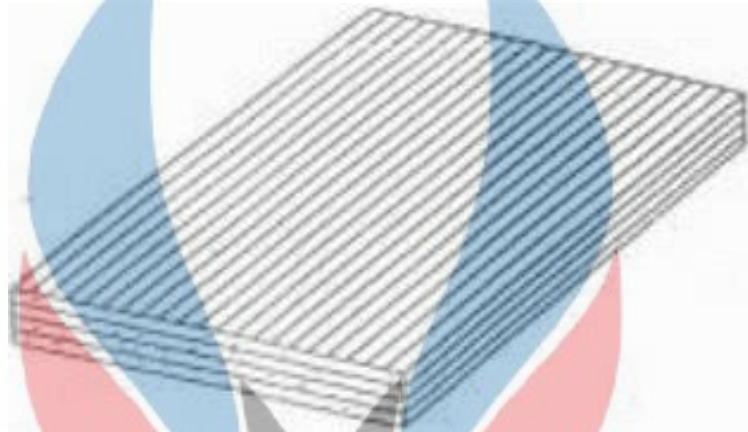
Secara garis besar ada 3 macam jenis komposit berdasarkan penguat yang digunakannya, yaitu:

2.2.1 *Fibrous Composites* (Komposit Serat).

Material komposit yang tersusun dari serat dalam matriks merupakan material komposit dari serat. Serat panjang memiliki kekuatan yang lebih tinggi daripada serat curah. Serat panjang memiliki struktur yang lebih baik dan lebih lengkap, karena struktur kristal disusun sepanjang sumbu serat dan cacat serat internal biasanya lebih sedikit daripada bahan curah. Dalam pembuatan komposit serat, terdapat beberapa jenis komposit serat menurut susunan serat dan arah seratnya yang berbeda, antara lain (Gibson, 1994):

a. *Continuous Fiber Composites*

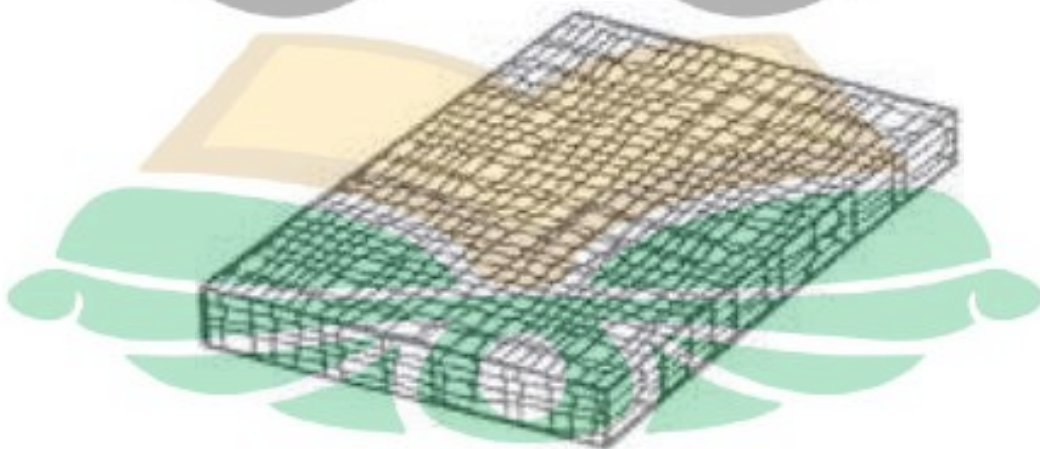
Material komposit yang diperkuat dengan serat menerus dan memanjang memiliki susunan serat panjang dan lurus, membentuk lapisan tipis di antara matriks. Komposit jenis ini dapat dilihat seperti pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 *Continuous Fiber Composite* (Gibson, 1994).

b. *Woven Fiber Composites*

Material komposit jenis ini merupakan material komposit yang diperkuat dengan serat jalinan, yang tidak terpengaruh oleh separasi antar lapisan, namun susunan serat anyaman pada material komposit ini tidak begitu lurus, sehingga menghasilkan kekuatan dan kekakuan yang tidak begitu baik seperti jenis *Continuous Fiber*. Komposit jenis ini dapat dilihat seperti pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2. 2 *Woven Fiber Composites* (Gibson, 1994)

c. *Chopped Fiber Composites*

Merupakan material komposit yang diperkuat dengan serat yang disusun atau dipotong secara acak. Komposit jenis ini dapat dilihat seperti pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2. 3 *Chopped Fiber Composites* (Gibson, 1994)

d. *Hybrid Composites*

Jenis material komposit yang diperkuat dengan berbagai kombinasi serat adalah material komposit yang menggabungkan serat kontinu dengan serat acak dalam konfigurasinya. Pengaturan ini untuk meminimalkan dua jenis atribut yang hilang dan menggabungkannya menjadi satu. Komposit jenis ini dapat dilihat seperti pada Gambar 2.4 berikut.

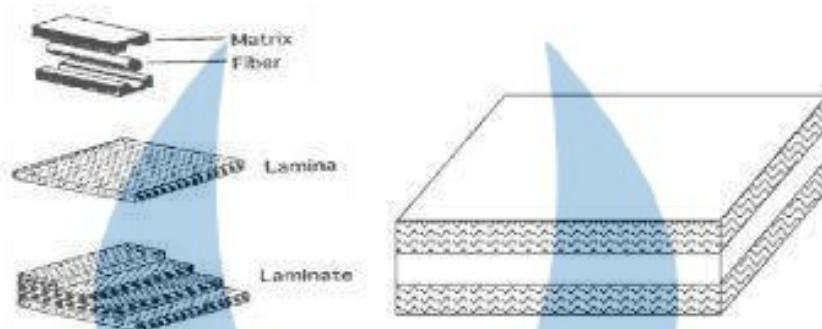


Gambar 2. 4 *Hybrid Composites* (Gibson, 1994)

2.2.2 Laminated Composites (Komposit Lamina)

Bahan komposit yang terdiri dari dua atau lebih lapisan yang digabungkan menjadi satu lapisan dan setiap lapisan memiliki karakteristik khusus. Komposit serat kontinu, komposit serat anyam, komposit serat acak dan komposit serat

hibrid merupakan jenis dari komposit lamina. Komposit jenis ini dapat dilihat seperti pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 *Laminated Composites* (Gibson, 1994)

Material komposit serat lamina paling banyak digunakan dalam bidang teknologi atau otomotif dan industri. Dalam bentuk nyata dari komposit lamina adalah (Gibson, 1994):

a. Bimetal

Bimetal adalah material berlapis yang terdiri dari dua logam dengan koefisien muai panas yang berbeda. Perubahan suhu menurut desain merupakan faktor yang menyebabkan lembaran bimetal menjadi bengkok, sehingga jenis ini sangat cocok untuk alat ukur suhu.

b. Pelapisan Logam

Pelapisan logam antara satu sama lain untuk mendapatkan kinerja terbaik dari keduanya.

c. Kaca yang dilapisi

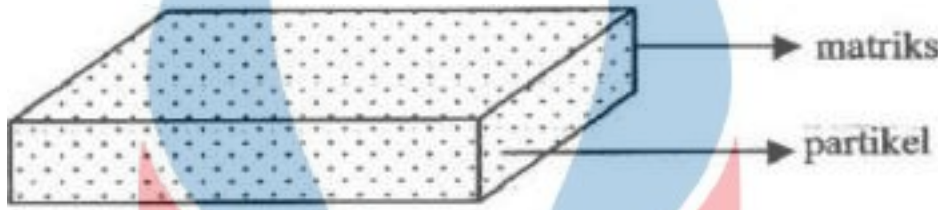
Konsep ini sama dengan pelapisan logam. Kaca yang dilapisi akan lebih tahan cuaca.

d. Komposit lapis serat

Dalam hal ini, lapisan terbuat dari komposit serat dan diatur dalam orientasi serat yang berbeda. Jenis material komposit ini biasa digunakan pada panel sayap dan badan pesawat.

2.2.3 *Particulate Composites* (Komposit Partikel)

Komposit partikel adalah komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai bahan penguat dan terdistribusi secara merata dalam matriks. Jenis material komposit ini banyak digunakan pada bahan baku industri. Viabilitas material komposit partikel yang diproduksi dapat ditentukan dengan menggunakan metode uji efektivitas. Komposit jenis ini dapat dilihat seperti pada Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2. 6 *Particulated Composites* (Gibson, 1994)

2.3 Struktur dan Unsur Utama pada Bahan Komposit

Komposit memiliki struktur dan unsur utama yang menyusunnya. Adapun struktur dan unsur utama tersebut adalah sebagai berikut.

2.3.1 Serat

Serat adalah bahan yang dapat membentuk jaringan komponen ramping yang lengkap. Hingga saat ini, berbagai jenis serat telah ditemukan dan digunakan, antara lain serat alam dan serat sintetis. Serat dapat dibedakan menjadi dua kategori yaitu serat alam dan serat sintetis (serat buatan manusia).

a. Serat Alam

Serat alam (*natural fibre*) merupakan jenis serat yang digunakan sebagai bahan baku pada industri tekstil atau industri lainnya dan diperoleh langsung dari alam. Berdasarkan asalnya, serat alam dapat dibagi menjadi beberapa kategori, yaitu serat asal mineral (*mineral fiber*), hewan (*animal fibres*) dan tumbuh-tumbuhan (*vegetable fibres*). Serat alam yang berasal dari bahan baku pertambangan, seperti serat asbes. Serat alam yang berasal dari hewan, seperti wol, sutra, kasmir, alpaka, dan bulu unta. Pada saat yang sama, serat nabati dapat diklasifikasikan kembali menurut sumber seratnya. Serat yang diekstraksi dari biji (*seed fibres*), seperti serat kapas dan kapuk. Serat (serat kulit pohon) dari batangnya, seperti serat rami, rami dan rami. Serat daun (*leaf fiber*), seperti

abaka, koktil, sisal, daun nanas, dan lidah mertua. Secara kimiawi, pada semua serat yang berasal dari tumbuhan, unsur utama serat adalah selulosa, meskipun ada unsur lain dalam jumlah yang bervariasi, seperti hemiselulosa, lignin, pektin, abu, lilin, dan zat lainnya. (Kirby, 1963).

b. Serat Sintetik (Buatan)

Serat sintesis adalah jenis serat yang molekulnya tersusun dari bahan-bahan yang disusun secara sadar oleh manusia. Serat sintesis umumnya berasal dari petrokimia. Rayon adalah serat sintesis yang terbuat dari selulosa alami. Serat buatan terbentuk dari polimer yang berasal dari alam dan polimer buatan yang dibuat dengan membuat polimer dari komposit. Kuat dan tahan aus; elastis dan elastis (fleksibel dan tahan terhadap peregangannya); penyerapan air yang buruk; sensitif terhadap panas; tahan terhadap alkali, ngengat, jamur, serangga, dll.; dapat tetap hangat; dalam kondisi kering atau basah, kecuali selain asetat, resistansi tetap sama; bahannya tahan lama; mudah dirawat; dan sulit menyerap air karena terasa lembap, yang merupakan ciri umum serat buatan..

Dengan berkembangnya teknologi material, material komposit tidak hanya berbahan dasar *filler* sintetik. Serat alam mulai digunakan sebagai bahan pengisi komposit karena memiliki keunggulan dibandingkan serat sintesis. Serat alam merupakan bahan alternatif yang, dibandingkan dengan bahan alternatif lain yang berkembang pesat yang telah mendapat banyak perhatian dari para ilmuwan, memiliki manfaat yang sangat besar. Serat alam yang telah diteliti antara lain serat kelapa, serat rami, serat aren, serat batang pisang, serat daun nanas, dan serat pandan. Kepadatan rendah, mudah didaur ulang, biodegradable, dapat digunakan sebagai pengisi tingkat tinggi, dengan kekakuan tinggi, tidak mudah pecah, beragam, hemat energi dan ekonomis adalah keuntungan utama menggunakan serat alam sebagai pengisi bahan komposit. (Rowell, 1995).

2.3.2 Matrik

Matriks adalah fasa dalam material komposit, yang memiliki bagian dominan utama atau fraksi volume. Matriks cenderung memiliki kekuatan dan kekakuan

yang lebih kecil, tetapi lebih ulet. Matriks harus dapat mentransfer beban ke serat agar serat menempel pada matriks, serat dan matriks juga harus kompatibel tanpa mengganggu reaksi, ini adalah persyaratan dasar untuk menggunakan matriks pada komposit. Umumnya matrik yang dipilih adalah matrik yang memiliki ketahanan panas yang tinggi (Diharjo & Triyono, 2000).

Fungsi matriks adalah untuk mentransfer (memindahkan) tegangan ke serat, membentuk ikatan pada permukaan matriks/serat, melindungi serat, memisahkan serat, melepaskan ikatan, dan menstabilkan serat setelah proses pembuatan material komposit. Jenis polimer merupakan matriks yang banyak digunakan dalam bidang industri, dan jenis polimer yang tersedia adalah sebagai berikut.

- a. Resin *Polyester*, merupakan resin yang sering digunakan dalam proses *manufacturing*, dan katalis digunakan dalam pelapisan untuk mempercepat pengerasan resin.
- b. Resin *Epoxy*, merupakan pengkondisian antar epokloridrin dengan senyawa polihidroksi.
- c. Resin *Silicon*, merupakan senyawa organik yang merupakan ikatan antar silikon dengan atom oksigen.
- d. Resin *Furin*, merupakan resin yang diperoleh dengan proses kondensasi *filfuril alcohol* dengan *fulfural*.
- e. Resin *Felonix*, merupakan resin yang diperoleh dengan proses kondensasi *fhenolphenol* dengan *aldehid*.

Adapun sifat mekanik beberapa jenis resin ditunjukkan pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Perbandingan Sifat Mekanik Resin*)

Jenis Resin	Massa Jenis (gr/cm ³)	Modulus Young (GPa)	Angka <i>Possion</i>	Kekuatan Tarik (MPa)
<i>Polyester</i>	1,2	3,2	0,33	65
<i>Epoxy</i>	1,19	3,65	0,35	76
<i>Silicon</i>	1,2	3,2	0,37	85
<i>Furin</i>	1,12	3,4	-	85

Lanjutan Tabel 2.1

<i>Felonix</i>	1,15	3,0	-	50
----------------	------	-----	---	----

2.3.3 Material Penguat

Bahan penguat yang digunakan pada material komposit tidak selalu berupa serat panjang, tetapi serat pendek, *whisker*, partikel atau lembaran anyaman juga dapat digunakan sebagai bahan penguat. Serat dapat dikarakteristikan secara geometri memiliki perbandingan panjang dengan diameter mendekati kristal. *Whisker* pada dasarnya sama dengan serat, tetapi biasanya sangat pendek dan tumpul, sedangkan partikel-partikelnya secara geometris sangat kecil, terhitung persentase yang sangat kecil dari total volume. Sebagai bahan yang diperkuat yang menerima beban dari matriks transmisi dan memiliki karakteristik yang kuat dan tangguh, itu adalah fungsi dari serat. Untuk memperkuat matriks pada material komposit, serat harus memenuhi beberapa persyaratan, yaitu serat harus memiliki modulus elastisitas yang tinggi, kekuatan yang tinggi, dan mampu menahan beban yang bekerja padanya. Material penguat ini dapat dilihat seperti pada Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2. 7 Material Penguat (Nayiroh, 2013)

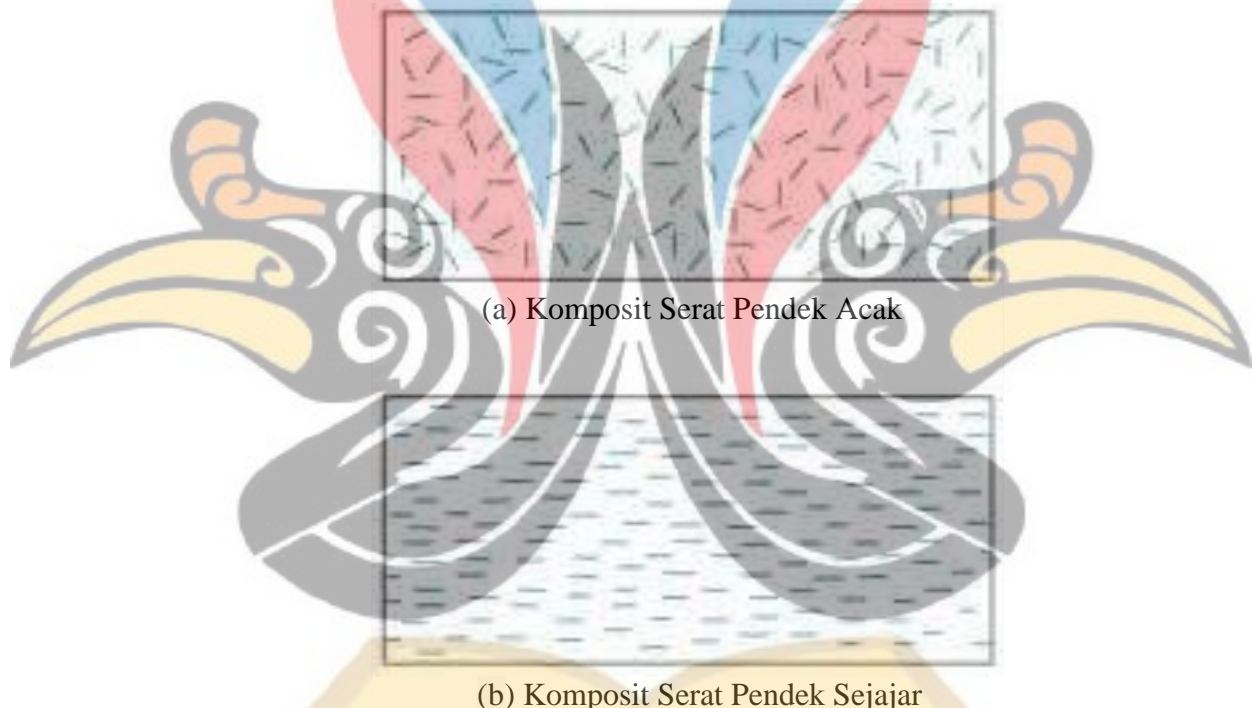
Material komposit berpenguat serat dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu material komposit berserat pendek dan material komposit berserat panjang. Adapun penjelasan mengenai komposit serat pendek dan komposit serat panjang adalah sebagai berikut.

1. Komposit Serat Pendek

Umumnya, komposit yang diperkuat serat pendek menggunakan resin termoset. Panjang serat yang digunakan untuk komposit biasanya sekitar 1 mm sampai 20 mm. Komposit berpenguat serat pendek dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu:

- a. Komposit berpenguat serat pendek yang memiliki orientasi acak.
- b. Komposit berpenguat serat pendek dengan orientasi sejajar satu sama lain.

Berikut ini merupakan ilustrasi komposit serat pendek. Adapun komposit serat pendek ini dapat dilihat seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Komposit Serat Pendek (Callister, 2003)

Komposit berpenguat pendek dengan orientasi acak sendiri dibagi menjadi dua macam yaitu :

- a. Komposit berpenguat serat acak 3 dimensi, dimana panjang serat lebih kecil dari tebal komposit.
- b. Komposit berpenguat serat acak 2 dimensi, dimana panjang serat lebih besar dari tebal komposit.

Fraksi volume yang lebih rendah adalah hasil langsung dari komposit serat pendek yang berorientasi acak. Fraksi volume serat yang rendah terkait erat dengan efisiensi pengisian yang rendah dari bahan penguat dan keterbatasan proses pencetakan. Namun kelebihan menggunakan serat pendek adalah proses pembuatannya lebih mudah, cepat, murah dan desainnya lebih beragam.

2. Komposit Serat Panjang

Diklasifikasikan sebagai material komposit yang diperkuat serat panjang, jika panjang seratnya sama dengan panjang material komposit. Karena proses pembuatannya yang sederhana, komposit serat panjang lebih efektif untuk diarahkan daripada komposit serat pendek. Berikut ini merupakan ilustrasi komposit serat panjang. Adapun komposit serat panjang ini dapat dilihat seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Komposit Serat Panjang (Callister, 2003)

Fiber glass merupakan salah satu jenis serat penguat, biasanya paling sering digunakan pada material komposit karena memiliki modulus elastisitas yang cukup tinggi. Serat penguat memiliki fungsi untuk meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan lentur, meningkatkan modulus kelengkungan, meningkatkan ketahanan benturan dan menjaga stabilitas bentuk. (Yoyok, 1998).

2.3.4 Bahan Pendukung

Dalam proses pembuatan laminasi, terdapat berbagai macam bahan yang mempengaruhi karakteristik laminasi kulit yang dihasilkan. Oleh karena itu, perlu dipahami masing-masing fungsi, komposisi dan pengaruh bahan pendukung

tersebut. Berikut ini adalah beberapa bahan pendukung yang digunakan dalam pembuatan komposit (Wiley, 1982):

1. Katalis

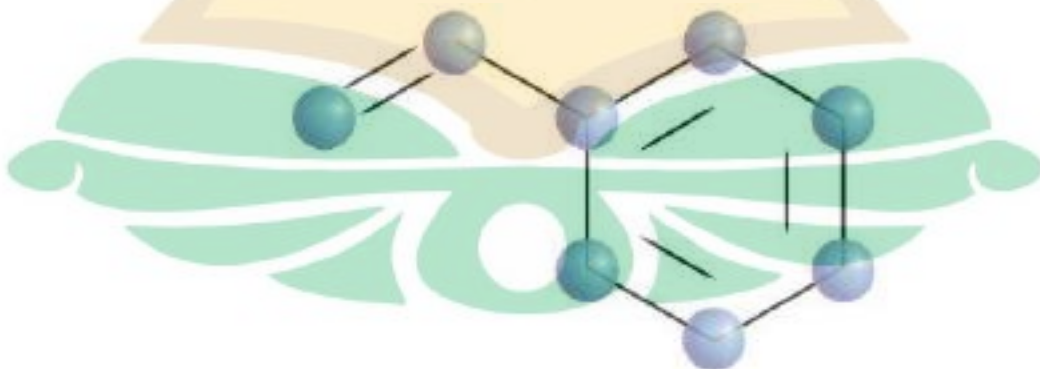
Katalis merupakan bahan pendukung yang fungsinya untuk mengubah bentuk resin dari cair menjadi (polimerisasi) pada suhu kamar (27 derajat Celcius). Umumnya jumlah katalis adalah 0,5-4% dari fraksi volume resin. Misalnya, jika digunakan katalis 2%, pada suhu 27 derajat Celcius, resin akan mengalami proses pembentukan kembali dari cair menjadi gel dalam waktu 15 menit. Katalis yang umum digunakan untuk resin poliester adalah metil etil keton peroksida. Adapun katalis ini dapat dilihat seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Katalis (Ali, 2016)

2. Sterin (*Styrene Monomer*)

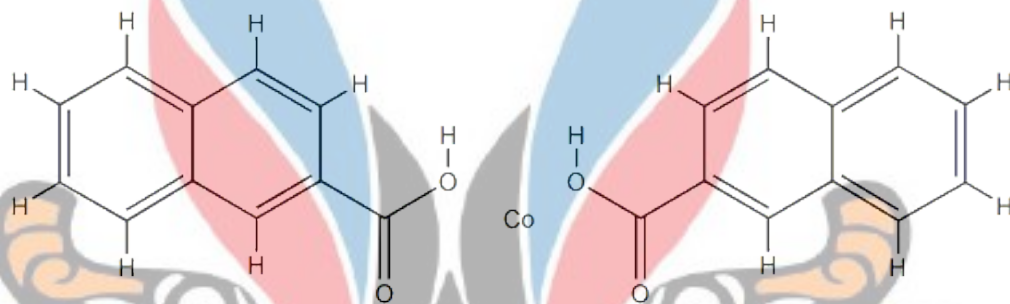
Sterin adalah bahan pendukung yang digunakan untuk mengencerkan resin. Dosis sterol adalah 35-40% per fraksi volume. Sterin adalah cairan yang berwarna bening. Adapun struktur molekul sterin ini dapat dilihat seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Struktur *Styrene Manomer* (Plastic Europe, 2018)

3. Promotor (Akselerator)

Akselerator adalah bahan pendukung fungsional yang memungkinkan katalis dan resin berpolimerisasi relatif cepat pada suhu kamar. Bahannya berupa cairan biru-ungu dan jumlah akselerator maksimum adalah 1% dari fraksi volume resin poliester. Akselerator yang umum digunakan adalah kobalt naftenat. Penggunaannya biasanya dicampur langsung dengan resin oleh produsen resin (resin poliester SHCP 268 BQTN dan Yukalac 157 BQTNEX). Berikut ini merupakan gambar struktur kobalt naftenat yang dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Struktur Kobalt Naftenat (Chemical Book, 2021)

4. *Mold Release* (Lapisan Pelepas)

Agen pelepas adalah pelapis yang digunakan untuk mencegah laminasi menempel pada cetakan. *Wax* (glasir cermin) dan PV (*alkohol polivinil*) merupakan bahan yang umum digunakan sebagai agen pelepas. Berikut ini merupakan *mold release wax* yang dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 *Mold Release Wax* (Grignard, 2013)

5. *Gel Coat*

Gel coat digunakan sebagai lapisan pelindung laminasi untuk melindungi laminasi dari goresan. Bahan ini adalah resin poliester yang tangguh dan tahan cuaca. Lapisan ini menjadi lapisan terluar dari kulit laminasi dan diwarnai (*tinted*). Namun, campuran pewarna tidak boleh melebihi 15% dari lapisan gel dan ketebalan maksimum adalah 15 m. Berikut ini merupakan *gel coat* yang dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 *Gel Coat* (Sea Hawk, 2012)

2.4 Serat Alam Sebagai Bahan *Filler* Komposit

Umumnya, bahan pengisi atau serat penguat yang digunakan untuk membuat komposit berbahan dasar plastik berasal dari serat sintetis. Sementara itu, meskipun keluaran serat alam ini sangat melimpah dan harganya relatif murah, namun masih jarang digunakan dalam bidang rekayasa. Kelebihan dan kekurangan penggunaan serat alam sebagai bahan pengisi antara lain harga bahan komposit yang lebih murah, produksi yang lebih mudah, dan sifat mekanik yang lebih baik dari serat kaca. Dibandingkan dengan bahan alternatif lain, serat alam memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan bahan alternatif lain, dan telah mendapat perhatian luas dari para ilmuwan. Serat alam yang umum digunakan antara lain serat kelapa, serat rami, serat rotan, serat nira, serat batang pisang, serat daun nanas, serat pandan dan sebagainya.

Keuntungan utama menggunakan serat alam sebagai pengisi komposit adalah kepadatan rendah, daur ulang dan pemrosesan mudah, biodegradabilitas, dan dapat digunakan sebagai pengisi konten tinggi, menghasilkan kekakuan tinggi, tidak

mudah pecah, beragam, hemat energi, daya redamnya yang sangat baik, baik listrik dan biaya rendah. Namun, penggunaan serat jenis ini juga memiliki kelemahan seperti nilai ketahanan benturan yang rendah, bahan yang berbeda dan dipengaruhi iklim, daya serap air yang tinggi, kegunaan yang terbatas selama pemanasan dan ketahanan api, serta memiliki panjang yang terbatas.

Sifat fisik material mempengaruhi kekuatan serat. McLaughlin dan Tait (Jain, 1994) mengusulkan bahwa kondisi fisik mekanisme kegagalan tarik serat alami didasarkan pada serat selulosa alami itu sendiri. Diperkirakan bahwa kekuatan tarik rata-rata dan *modulus young* meningkat dengan meningkatnya kandungan selulosa dalam serat alam, juga karena sudut serat mikro menurun.

2.5 Serat yang Digunakan

Pada penelitian ini menggunakan serat rotan dan serat rami sebagai penguat komposit.

2.5.1 Serat Rotan

Salah satu komoditas unggulan hasil hutan bukan kayu adalah rotan yang memiliki nilai jual tinggi dan pasar yang luas terutama pasar ekspor. Pada awal perdagangan, selain kegiatan ekspor dalam bentuk barang setengah jadi dan barang jadi, Indonesia juga mengekspor rotan secara asalan, berupa rotan mentah dan rotan bulat W&S. Indonesia dapat memenuhi sekitar 80% kebutuhan rotan dunia, itulah sebabnya Indonesia dikenal sebagai produsen rotan terbesar dunia karena berada di pasar internasional (Dransfield, 1996).

Umumnya rotan tumbuh secara alami, menyebar dari pegunungan, pada elevasi 0-2900 mdpl hingga ke pantai. Di berbagai tempat rotan tumbuh dengan subur, baik di dataran rendah maupun agak tinggi, terutama di daerah lembab seperti bantaran sungai (Kalima, 2008). Di Indonesia terdapat delapan marga rotan yang terdiri atas kurang lebih 306 jenis dan hanya 51 jenis di antaranya telah digunakan dan dimanfaatkan. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan jenis rotan masih rendah dan terbatas pada jenis-jenis yang telah diketahui manfaat penggunaannya dan jenis yang laku di pasaran. Diperkirakan terdapat lebih dari 514 jenis rotan di Asia Tenggara yang berasal dari delapan marga yaitu: untuk marga

Calamus 333 jenis, Daemonorops 122 jenis, Khorthalsia 30 jenis, Plectocomia 10 jenis, Plectocomiopsis 10 jenis, Calospatha Becc. 2 jenis, Beaudia 1 jenis, dan Ceratolobus 6 jenis. Dari delapan marga tersebut, hanya dua marga yang bernilai ekonomi tinggi yaitu Calamus dan Daemonorops (Dransfield, 1996). Berikut ini merupakan rotan Calamus yang dapat dilihat pada Gambar 2.15 berikut.



Gambar 2. 15 Rotan Calamus (Penulis, 2021)

Adapun sifat mekanik dan sifat fisik rotan ditunjukkan pada Tabel 2.2 seperti berikut ini.

Tabel 2. 2 Sifat Mekanik dan Sifat Fisik Rotan*)

Jenis	Kerapatan (gr/cm ³)	Keteguhan		Kadar Air (%)	Kadar Air Segar (%)
		Patah (MoR) (kg/cm ²)	<i>Bending</i> Sejajar Serat (kg/cm ²)		
Rotan	0,364	817,6188	92,871	238,628	38,94

*)Azhar, 2011

2.5.2 Serat Rami

Tanaman rami (*Boehmeria nivea*, L. Gaud) merupakan salah satu tanaman penghasil serat alam yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang termasuk bidang teknik. Rami atau biasa disebut rumput cina termasuk dalam kategori serabut batang. Rami menghasilkan serat dari kulit batang kayu. Rami secara kimiawi termasuk ke dalam serat selulosa sama seperti kapas, linen, hemp dan jenis lainnya. Rami memiliki banyak keunggulan yang membuatnya berbeda dengan serabut batang lainnya. Rami memiliki kompatibilitas yang baik dengan semua jenis serat alami dan sintetis, sehingga mudah dicampur dengan semua jenis serat. Diantara kelompok serat tumbuhan, serat rami memiliki nilai kekuatan yang relatif

paling tinggi sehingga terdapat kemungkinan untuk digunakan sebagai media penguat komposit polimer. Marsyahyo et al. menggunakan kekuatan super dari serat rami untuk membuat papan anti peluru dengan bahan komposit serat rami. Ukuran serat rami tidak berubah saat kelembapan meningkat hingga 25%. Rami juga memiliki ketahanan yang baik terhadap bakteri, jamur, serangga dan pelapukan, memiliki stabilitas dimensi yang tinggi, dan memiliki ketahanan yang baik terhadap cahaya dan air. Berikut ini merupakan gambar serat rami yang dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2. 16 Serat Rami (Penulis, 2021)

Tabel 2.3 ini merupakan tabel mengenai sifat mekanik dan sifat fisik dari serat rami.

Tabel 2. 3 Sifat Mekanik dan Sifat Fisik Dari Serat Rami*)

Jenis Serat	Massa Jenis (gr/cm ³)	Modulus Young (kN/mm ²)	Kekuatan Tarik (N/mm ²)	Elongation (%)
Serat Rami	1,5-1,56	60-128	400-1000	1,2-3,8

*)Chandrashekar et al., 2016

Selain itu, komposisi kimiawi serat rami yang banyak mengandung selulosa juga membuat serat rami menjadi kuat dan tahan terhadap suhu tinggi. Tabel 2.4 berikut ini menunjukkan komposisi kimiawi serat rami.

Tabel 2. 4 Komposisi Kimia Serat Rami*)

Jenis Serat	Kelembaban (%)	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)	Pectin (%)	Wax (%)
Serat Rami	8,0	68,6-76,2	13,1-16,7	0,6-0,7	1,9	0,3

*)Nugraha, 2015

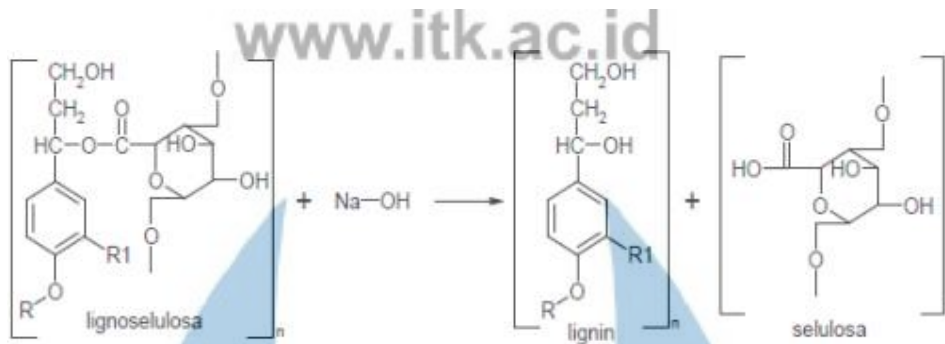
2.6 Delignifikasi dan Perlakuan Alkali

Lignin merupakan polimer tiga dimensi yang tersusun dari unit fenilpropana yang dihubungkan oleh ikatan eter (COC) dan ikatan karbon (CC). Karena adanya gugus aralkil dan ikatan eter, lignin tahan terhadap hidrolisis. Lignin dengan struktur tiga dimensi merupakan bahan terkuat dalam biomassa, dan memiliki ketahanan yang kuat terhadap degradasi dalam aspek biologis, enzimatik dan kimia (Judoamidjojo et al. 1989).

Delignifikasi adalah proses pemutusan ikatan lignin pada struktur lignoselulosa. Lignin dalam lignoselulosa memiliki daya ikat yang kuat, yang membuatnya sulit untuk menghidrolisis selulosa menjadi glukosa. Proses delignifikasi dapat merusak struktur lignin dengan cara alkali, suhu tinggi atau dengan penambahan enzim, sehingga selulosa yang terkandung dalam jaringan lignoselulosa serta bagian kristal dan amorf terlepas, dan sebagian lignin dan hemiselulosa terpisah. Selulosa delignified mudah dihidrolisis dengan asam atau selulase untuk memaksimalkan konversi selulosa menjadi glukosa (Fitriani, 2013).

NaOH atau yang biasa dikenal dengan alkali digunakan untuk menghilangkan kotoran atau lignin dari serat. Sifat alami serat adalah hidrofilik, yaitu menyukai air. Pengaruh perlakuan alkali pada sifat permukaan serat selulosa alami telah dipelajari, di mana kadar air yang optimal dapat dikurangi sehingga hidrofilisitas serat dapat memberikan ikatan antarmuka terbaik dengan matriks (Bismarck dkk 2002).

Berikut ini merupakan proses pemutusan ikatan antara lignin dan selulosa menggunakan NaOH yang mekanismenya dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2. 17 Proses Pemutusan Ikatan Antara Lignin Dan Selulosa Menggunakan NaOH (Sutarno, 2012)



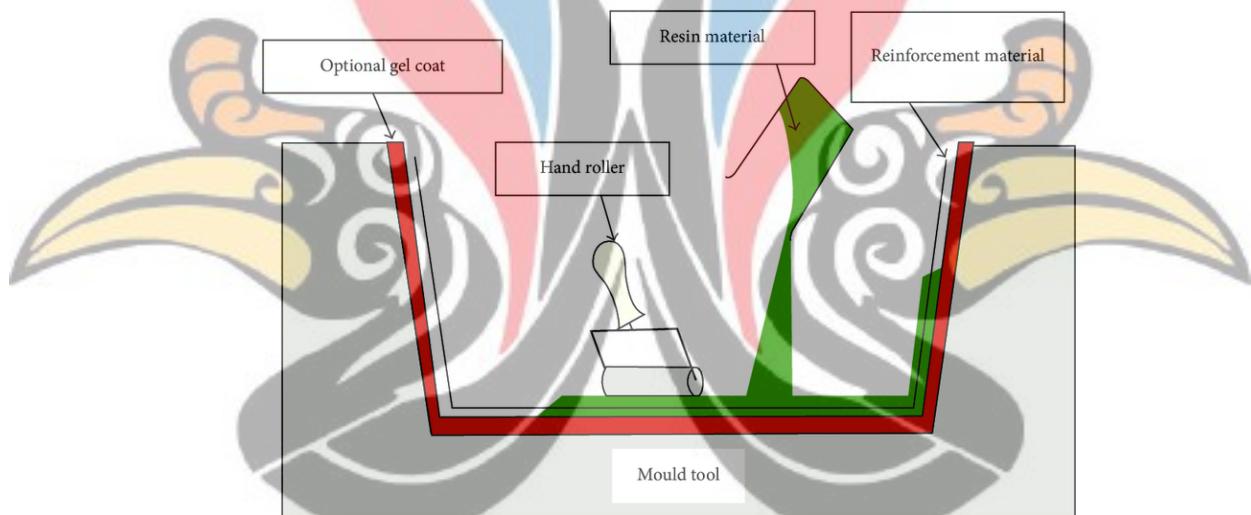
Proses alkalisasi menghilangkan komponen serat yang paling tidak efektif dalam menentukan kekuatan antarmuka, yaitu hemiselulosa, lignin, atau pektin. Dengan penurunan hemiselulosa, lignin atau pektin maka keterbasahan matriks terhadap serat akan semakin baik, sehingga ketahanan antarmuka juga akan meningkat. Selanjutnya, pengurangan hemiselulosa, lignin atau pektin akan meningkatkan kekasaran permukaan, menghasilkan *mechanical interlocking* mekanis yang baik. (Maryanti et al, 2011).

Perlakuan alkali (KOH, LiOH, NaOH) pada bahan tulangan untuk meningkatkan kinerja bahan tulangan, mereduksi lignin dan memisahkan kontaminan pada bahan tulangan, sehingga diperoleh permukaan bahan tulangan yang bersih. Studi tentang pengaruh modifikasi kimia pada serat menunjukkan bahwa perlakuan alkali meningkatkan kekuatan ikatan antara serat dan matriks. Dikatakan bahwa kekuatan tarik telah meningkat sebesar 5%. Dibandingkan dengan alkali lain seperti KOH dan LiOH, perlakuan alkali NaOH memiliki efek terbaik. Penelitian telah menunjukkan bahwa Na⁺ memiliki ukuran partikel yang sangat kecil dan dapat masuk ke pori-pori serat yang paling kecil dan masuk ke dalamnya, sehingga lignin dan kotoran yang menempel terlepas dari pori-pori serat yang memiliki pori-pori yang begitu banyak, yaitu gaya ikat antara serat dan matriks menjadi lebih kuat karena matriks dapat mengisi rongga pori dengan baik. Karena pentingnya perlakuan alkali dalam pembuatan komposit serat alam, banyak

penelitian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan alkali pada komposit yang dihasilkan (Faisyal, 2019).

2.7 Metode Pelapisan Manual (*Hands Lay Up*)

Metode ini merupakan salah satu metode yang digunakan untuk membuat komposit. Dalam proses pembuatan menggunakan metode ini dengan cara menuangkan resin dengan tangan ke dalam serat kemudian diberikan tekanan dengan tangan menggunakan kuas atau rol. Proses dilakukan hingga ketebalan yang diinginkan. Metode ini memiliki kelebihan yakni lebih murah dan dapat dilakukan dengan pengetahuan yang sederhana. Waktu *curing* biasanya beberapa jam pada temperatur kamar setelah itu diaplikasikan resin dan *reinforcement* bisa dimulai (Faisyal, 2019). Gambar 2.18 berikut ini merupakan ilustrasi metode *hands lay up*.



Gambar 2. 18 Metode *Hands Lay Up* (Faisyal, 2019)

2.8 Pengujian Material

2.8.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah metode paling dasar untuk menguji bahan. Tes ini sangat sederhana, murah, dan telah distandarisasi di seluruh dunia. Misalnya, ASTM E8 digunakan di Amerika Serikat dan JIS 2241 digunakan di Jepang. Dengan menarik material, maka akan cepat memahami respon material terhadap tegangan dan memahami kekuatan tarik material. Panjang bahan bertambah. Peralatan percobaan untuk uji tarik ini harus memiliki daya cengkeram yang kuat dan kekakuan yang tinggi (Pujiati, 2017).

Uji tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat material. Saat menarik suatu material, kita akan langsung memahami bagaimana material bereaksi terhadap gaya tarik, dan kita akan memahami seberapa jauh pertambahan panjang material tersebut. Uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diterapkan secara perlahan (Ningrum, 2017).

Dalam pengujian tarik, beban tarik aksial kontinu diterapkan pada benda yang diukur sambil mengamati perpanjangan benda yang diukur (Davis, Troxell, dan Wiskocil, 1955). Kurva tegangan-regangan teknik diperoleh dengan mengukur perpanjangan sampel. Tegangan yang digunakan pada kurva adalah tegangan longitudinal rata-rata dari uji tarik dan diperoleh dengan membagi beban dengan luas penampang awal sampel.

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (2.1)$$

Dimana :

P = beban (N)

A = luas penampang (mm²)

σ = tegangan (MPa)

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan regangan rekayasa adalah regangan linier rata-rata, yang diperoleh dengan membagi perpanjangan panjang ukur (*gage length*) benda uji, ΔL , dengan panjang awalnya, L_0 .

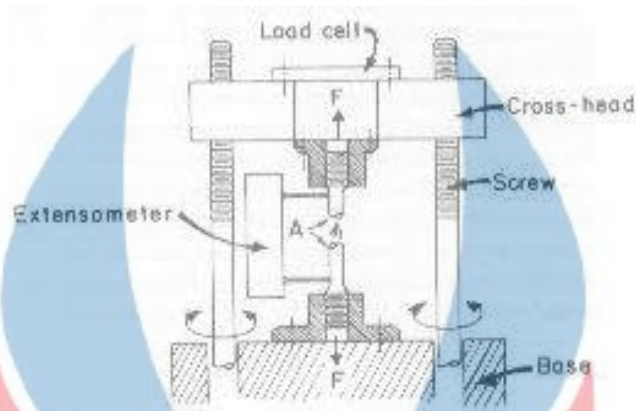
$$\begin{aligned} \varepsilon &= \Delta L / L_0 \\ \varepsilon &= \frac{L - L_0}{L_0} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Dimana :

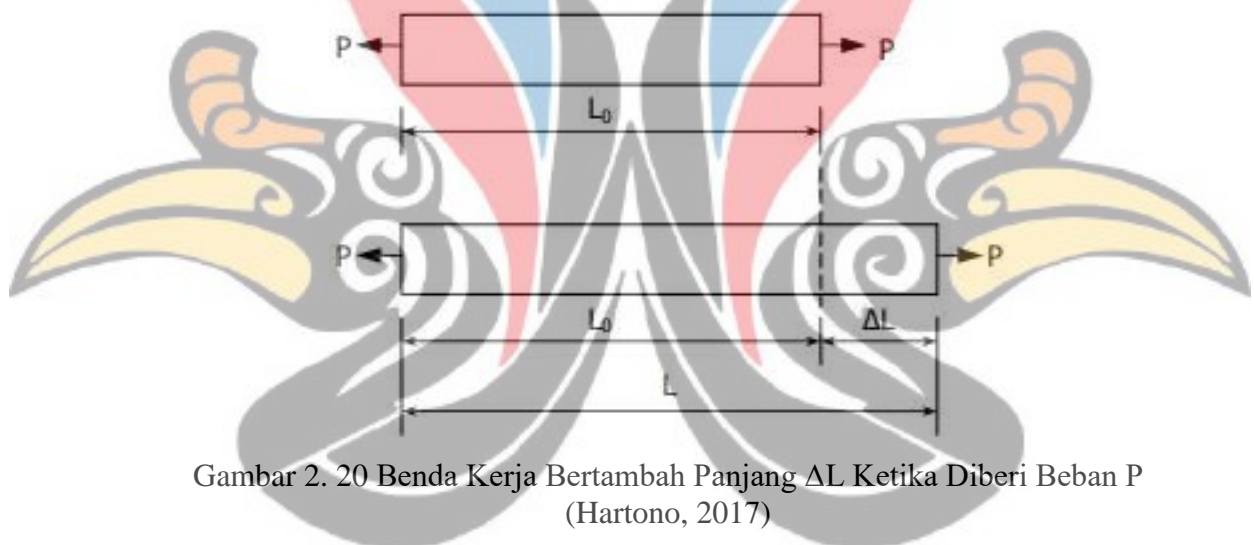
ΔL = pertambahan panjang (mm)

L_0 = panjang daerah (mm)

Gambar 2.19 berikut ini merupakan ilustrasi alat uji tarik sedangkan Gambar 2.20 merupakan ilustrasi pertambahan panjang benda kerja saat diberi beban P.



Gambar 2. 19 Ilustrasi Alat Uji Tarik (Ramamrutham dan Narayanan, 2000)



Gambar 2. 20 Benda Kerja Bertambah Panjang ΔL Ketika Diberi Beban P (Hartono, 2017)

Besarnya nilai modulus elastisitas komposit yang juga merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada daerah proporsional dapat dihitung dengan persamaan:

$$E = \sigma / \varepsilon \quad (2.3)$$

Dimana :

E = modulus elastisitas tarik (MPa)

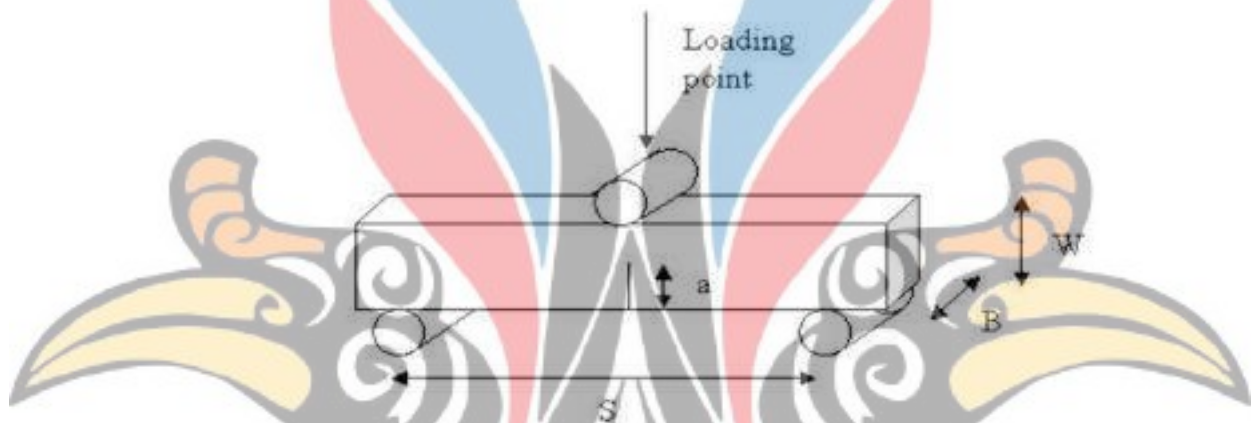
σ = kekuatan tarik (MPa)

ε = regangan (mm/mm)

2.8.2 Pengujian *Bending*

Salah satu pengujian sifat mekanik bahan yang diletakkan terhadap spesimen dan bahan, baik bahan yang akan digunakan pada kontraksi atau komponen yang akan menerima pembebanan terhadap suatu bahan pada satu titik tengah dari bahan yang ditahan diatas dua tumpuan adalah pengujian *bending*.

Uji bending adalah suatu proses pengujian material dengan cara di bending untuk mendapatkan hasil berupa data tentang kekuatan lengkung (*bending*) suatu material yang di uji. Proses pengujian bending memiliki 2 macam pengujian, yaitu *3 point bending* dan *4 point bending*. Gambar 2.21 berikut ini merupakan ilustrasi uji bending 3 titik (*3 point bending*).



Gambar 2.21 Uji *Bending* Dengan Tiga Titik (*Three Point Bending*) (Prihantoro, 2017)

Pada material yang homogen pengujian batang sederhana dengan dua titik dukungan dan pembebanan pada tengah-tengah batang uji (*three point bending*), maka tegangan maksimum dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2} \tag{2.4}$$

Dimana :

- σ = Kekuatan *bending* (MPa)
- P = Beban (N)
- L = Panjang span (mm)
- b = Lebar batang uji (mm)
- d = Tebal batang uji (mm)

2.9 Biro Klasifikasi Indonesia (BKI)

BKI didirikan dengan mengadopsi standar teknis untuk melaksanakan desain kelautan, konstruksi dan kegiatan inspeksi yang berkaitan dengan fasilitas terapung (termasuk kapal dan konstruksi lepas pantai). Standar tersebut ditulis oleh BKI dan diterbitkan sebagai publikasi teknis. Kapal yang dirancang dan dibangun sesuai dengan standar BKI akan menerima sertifikat klasifikasi BKI, dan akan diterbitkan setelah BKI menyelesaikan serangkaian inspeksi klasifikasi yang diperlukan (Madani, 2019).

Peraturan yang digunakan oleh Biro Perkapalan Indonesia (BKI) untuk pengujian kapal fiber adalah Peraturan Untuk Kapal Plastik Berbahan Fiber, terdapat pada Bagian 1: Peraturan Umum, terdapat pada Bagian C: Peraturan Umum Struktur dan Perlengkapan Lambung, butir 4 *Scantling*. Persyaratan peraturan ini berlaku untuk FRP yang dibentuk dengan menggunakan bahan yang diperkuat serat gelas, resin poliester tak jenuh, dan resin epoksi melalui laminasi manual atau laminasi semprot. Untuk bahan yang diperkuat *fiberglass* yang diisi dengan serat penguat, jenis *mat* dan *roving* harus memiliki standar kekuatan sebagai berikut:

<i>Tensile Strength</i>	: 10 kg/mm ² .
<i>Modulus Of Tensile Elasticity</i>	: 700 kg/mm ² .
<i>Bending Strength</i>	: 15 kg/mm ² .
<i>Modulus of Bending Elasticity</i>	: 700 kg/mm ² .

Sedangkan untuk mencari nilai minimum yang disyaratkan BKI dalam *rules* BKI 2006 untuk kuat tarik dan kuat tekuk digunakan perhitungan sebagai berikut.

a. Kekuatan Tarik:

$$X_{min} = \alpha \left[X_{ref} \left(\frac{\phi}{0.4} \right) \right] - [1278 \phi^2 - 510 \phi + 123] \text{ (MPa)} \quad (2.5)$$

b. Kekuatan Tekuk:

$$X_{min} = \alpha \left[X_{ref} \left(\frac{\phi}{0.4} \right) \right] - [502 \phi^2 + 106.8] \text{ (MPa)} \quad (2.6)$$

Keterangan :

- ϕ = Kandungan volume serat (0.3 atau 30%, sesuai komposisi bahan laminasi yang digunakan dalam sampel).
- X_{min} = Nilai minimum yang disyaratkan (dalam MPa)
- X_{ref} = Nilai acuan (kekuatan tarik = 500 MPa dan kekuatan tekuk = 650 MPa)
- α = Faktor untuk susunan serat penguat ($\alpha = 0.55$ untuk kuat tarik dan kuat tekuk dengan sampel $0^\circ / 90^\circ$)

2.10 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan, ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Daftar Penelitian Terdahulu

No.	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1.	Budi Setyahandana & Yulius Trisno Hille, 2006.	<p>Metode : Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan menggunakan serat rami sebagai penguat dan resin Justus 108 sebagai matriks dengan variasi fraksi berat serat adalah 2%, %, 6%, 8%, dan 10 serta pengujian tarik sesuai dengan standar pengujian ASTM D 3039-76.</p> <p>Hasil : Pada penelitian ini, memiliki hasil uji tarik yang menunjukkan bahwa fraksi berat serat rami yang dengan orientasi arah serat yang sama meningkatkan kekuatan tarik dan regangan dibandingkan engan kekuatan tarik dan regangan matriks ikatan. Fraksi berat serat 10% dihasilkan ke kuatan tarik dan regangan yang paling besar sekitar 8 kg/mm² dan 1,71%, sedangkan kekuatan tarik paling rendah dimiliki oleh fraksi berat serat 4% yaitu 4,5 kg/mm² dan regangan paling rendah 2% de-</p>

ngan regangan 1,38%. Serta menghasilkan hasil patahan yaitu patah getas (*brittle failure*).

Metode : Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan variabel arah sudut serat rotan yang digunakan yaitu sudut $0^0/90^0$ dan sudut 45^0 serta pengujian tarik sesuai dengan standar pengujian ASTM D 3039-76.

Hasil : Diperoleh nilai pengujian tarik pada sudut sudut $0^0/90^0$ menghasilkan nilai 2.208 kg/mm^2 dengan nilai modulus elastisitas sebesar $1407,679 \text{ kg/mm}^2$ dan pada sudut sudut 45^0 menghasilkan nilai sebesar $2,145 \text{ kg/mm}^2$ dengan nilai modulus elastisitas sebesar $72,3007 \text{ kg/mm}^2 \text{ MPa}$. Dilanjutkan dengan pengujian tekuk pada sudut sudut $0^0/90^0$ menghasilkan nilai $2,9678 \text{ kg/mm}^2 \text{ MPa}$ dan pada sudut 45^0 menghasilkan nilai sebesar $3,1632 \text{ kg/mm}^2$. Nilai kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan kekuatan tekuk belum dapat digunakan sebagai serat penguat dalam pembuatan kulit badan kapal karena belum memenuhi nilai standar persyaratan yang disyaratkan oleh pihak BKI yaitu nilai standar kekuatan tarik sebesar 10 kg/mm^2 , modulus elastisitas sebesar 700 kg/mm^2 , dan kekuatan tekuk sebesar 15 kg/mm^2 .

2. Sarjito
Jokosisworo, 2009

Metode : Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan menggunakan matriks resin epoxy dengan variasi volume resin 30 % sampai 100

Lanjutan Tabel 2.5

% serta dilakukan pengujian tarik dengan standar ASTM D-638 dan pengujian daya serap air untuk komposit serat rotan.

Hasil : Nilai maksimal kekuatan tarik komposit serat rotan diperoleh pada fraksi volume 30 % epoxy : 70 % serat yaitu sebesar 197,505 N/mm² yang artinya dari hasil penelitian diatas maka dapat disimpulkan bahwa nilai kekuatan tarik komposit berpenguat serat rotan dengan matriks epoxy lebih tinggi dari standart BKI yaitu 10 N/mm². Sedangkan untuk untuk pengujian daya serap air komposit serat rotan didapatkan nilai maksimal sebesar 2,71 gram pada fraksi volume 90% epoxy : 10% dalam pengujian daya serap air.

3. Franklin Donald Izaak, dkk., 2013

