

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Serat Sisal (*Agave Sisalana*)

Serat yang dihasilkan dari daun sisal tersebut digunakan sebagai tali, benang, karpet, dan kerajinan karena kekuatannya yang baik, tahan lama, stretch, dan afinitas terhadap zat warna baik. Sisal merupakan salah satu serat alam yang paling banyak digunakan dan paling mudah dibudidayakan. Sisal tumbuh liar sebagai pagar dan di sepanjang rel kereta api di India (Murherjee dan Satyanarayana, 1984). Produksi sisal di seluruh dunia mencapai hampir 4.5 juta ton tiap tahunnya. Tanzania dan Brazil merupakan negara penghasil sisal terbesar (Chand *et al*, 1988). Serat sisal merupakan serat keras yang dihasilkan dari proses ekstraksi daun tanaman sisal (*Agave Sisalana*). Meskipun tanaman ini berasal dari Amerika Utara dan Selatan, sisal dapat tumbuh dengan baik hingga di Afrika, Hindia Barat, dan Timur jauh.

Tanaman sisal dapat menghasilkan 200-250 daun, dimana masing-masing daun terdiri dari 1000-1200 bundel serat yang mengandung 4% serat, 0.75% kutikula, 8% material kering, dan 87.25% air (Murherjee dan Satyanarayana, 1984). Normalnya, selembar daun sisal mempunyai berat sekitar 600 gram yang dapat menghasilkan 3% berat serat atau 1000 helai serat. Daun sisal terdiri dari 3 tipe, yaitu mekanis, ribbon dan xylem. Serat mekanis diekstrak dari bagian tepi daun (*periphery*). Seratnya kasar dan tebal berbentuk sepatu kuda dan jarang dipisahkan saat proses ekstraksi. Bagian ini merupakan bagian terpenting dari serat sisal. Serat ribbon terbentuk di bagian tengah daun.

Struktur jaringan ribbon sangat kuat dan merupakan bagian serat yang terpanjang. Dibanding bagian serat mekanis, serat ribbon mudah dipisahkan secara membujur selama proses berlangsung. Ketebalan, panjang, dan kekuatan serat tergantung pada kedewasaan daun serta posisi serat pada daun. Serat yang paling tebal terletak pada pangkal daun. Daun tertua terletak paling dekat dengan tanah, yang mengandung serat terpanjang dan kasar. Serat yang diekstrak dari daun yang masih muda biasanya lebih pendek, halus, dan lebih lemah.



Gambar 2.1 Pohon *Agave Sisalana*
 Sumber : Fikran, (2022)

Proses ekstraksi serat sisal telah dilakukan oleh Chand *et al*, 1988 serta Murherjee dan Satyanarayana, 1984. Prosesnya dapat dilakukan pembusukan dan penyisiran serat maupun dengan bantuan dekortikator. Proses ekstraksi secara mekanis menggunakan dekortikator akan menghasilkan 2-4% serat (15 kg per 8 jam proses) yang berkualitas baik dengan kilau yang tinggi. Sementara proses pemisahan serat sisal dengan metode pembusukan akan menghasilkan serat dengan jumlah yang jauh lebih banyak namun berkualitas rendah. Setelah

diekstraksi, serat dicuci dengan air bersih untuk menghilangkan sisa residu seperti klorofil, lendir daun, dan padatan yang melekat. (Mukhopadhyay dan Srikanta, 2008) mengkaji pengaruh perendaman terhadap sifat serat sisal. Hasilnya menunjukkan bahwa serat sisal segar mempunyai kekuatan dan mulur yang jauh lebih baik dibandingkan serat sisal hasil proses perendaman. Hal tersebut disebabkan karena proses perendaman akan memicu terjadinya oksidasi selulosa sehingga kekuatan serat jauh lebih rendah. Komposisi kimia serat sisal telah dikaji oleh beberapa peneliti. (Rowell, 1992) menyatakan bahwa sisal mengandung 43-56% selulosa, 7'9% lignin, 21'24% pentosan dan 0.6'1.1% ash.

Menurut (Joseph *et al*, 1996), sisal mengandung 85-88% selulosa. Bervariasinya komposisi kimia serat sisal disebabkan oleh perbedaan asal dan umur serat serta metode pengukuran. (Chand dan Hashmi, 1993) menunjukkan bahwa selulosa dan lignin yang terdapat pada sisal bervariasi dari 49.62-60.95 dan 3.75-4.40%, tergantung pada usia tanaman. Panjang serat sisal dapat bervariasi antara 1.0-1.5 meter dengan diameter antara 100-300 mm (Bisanda, 1991). Serat merupakan gabungan dari beberapa berkas sub-serat. Dinding sel serat diperkuat dengan selulosa berbentuk spiral yang tergabung dalam matriks hemiselulosa dan lignin. Jadi dinding sel merupakan struktur komposit material lignoselulosa yang diperkuat oleh gabungan mikrofiber selulosa. Komposisi permukaan eksternal dinding sel berupa lapisan lignin dan wax yang mengikat sel. Dengan demikian, permukaannya tidak akan berikatan erat dengan matriks polimer. Selulosa merupakan polimer hidrofilik.

Meskipun sisal merupakan serat alam yang paling banyak digunakan, sebagian besar bahan ekonomis dan terbarukan ini belum dimanfaatkan. Saat ini pemanfaatan utama sisal terbatas pada bidang kelautan dan pertanian. Aplikasi serat sisal antara lain pada pembuatan benang, tali, bahan pelapis, tikar, jala ikan, serta barang kerajinan seperti dompet, hiasan dinding, dan table mat. Aplikasi terbaru serat sisal yaitu pada pembuatan panel atap yang kuat dan murah serta tahan api.

2.2 Sifat Serat Sisal

Umumnya kekuatan dan kekakuan serat tumbuhan tergantung pada kandungan selulosa dan sudut spiral yang terbentuk antara ikatan mikrofibrilar pada lapisan kedua dinding sel dengan sumbu serat. Selain itu struktur dan sifat serat alam tergantung pada asal dan umur serat (Chand *et al*, 1986). Kekuatan tarik serat sisal tidak sama sepanjang serat. Bagian bawah serat umumnya mempunyai kekuatan tarik dan modulus yang lebih rendah dibanding bagian atas serat. Namun kekuatan tahan pecah bagian tersebut lebih tinggi. Bagian tengah serat lebih kuat dan kaku. Tabel 2.1 menunjukkan sifat serat sisal hasil kajian beberapa peneliti. Perlu diketahui bahwa selain struktur dan sifat serat itu sendiri, kondisi percobaan seperti panjang sampel serat dan kecepatan pengujian mempengaruhi sifat serat alam.

Table 2.1 Sifat Serat Sisal

Densitas (kg/m ³)	Moisture Content (%)	Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus (GPa)	Maximum Strain (%)	Diamete r (μm)
1450	11	604	9.4-15.8	-	50-200
1450	-	530-640	9.4-22	3-7	50-300
-	-	347	14	5	-
1030	-	500-600	16-21	3.6-5.1	-
1410	-	400-700	9-20	5-14	100-300
1400	-	450-700	7-13	4-9	-
-	-	530-630	17-22	3.64-5.12	100-300
1450	-	450-700	7-13	4-9	-

Sumber : (Wenbo Qu et al, 2024)

(Mukherjee dan Satyanarayana, 1984) mengkaji pengaruh diameter serat, waktu dan kecepatan pengujian terhadap kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan persentase mulur serat sisal saat putus. Hasilnya menunjukkan bahwa diameter serat tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap sifat mekanis serat sisal. Kekuatan tarik dan persentase mulur serat saat putus menurun seiring dengan meningkatnya modulus Young dan panjang serat. Peningkatan kecepatan pengujian akan meningkatkan modulus Young dan kekuatan tarik, namun tidak memberikan perbedaan yang signifikan pada mulur serat. Pada kecepatan pengujian 500 mm/min, kekuatan tarik serat turun drastis. Pada pengujian mekanis, serat menjadi elastis, daerah kristalin yang dikenai beban akan menghasilkan peningkatan modulus dan kekuatan tarik. Saat kecepatan pengujian diturunkan, beban yang diberikan akan tersimpan di daerah amorf. Pada kecepatan pengujian yang rendah, serat berubah menjadi larutan kental. Daerah amorf menyimpan sebagian besar beban yang diberikan untuk menghasilkan modulus dan kekuatan tarik yang rendah. Pada laju *strain*

yang tinggi (500 mm/menit), akan terjadi penurunan drastis pada kekuatan tarik sebagai akibat dari cacat serat.

(Chand dan Hashmi, 1993) mengkaji sifat mekanis serat sisal pada usia tanaman yang berbeda dengan tiga variasi suhu. Nilai kekuatan tarik, modulus, dan kekasaran serat (yang didefinisikan sebagai penyerapan energi tiap satu satuan volume) serat sisal menurun akibat peningkatan suhu. Pada suhu 1000C, pengaruh usia tanaman terhadap sifat mekanis serat sisal kurang signifikan dibanding pada suhu 300C. Hal tersebut ditandai dengan lebih intensifnya pemulihan air maupun substansi *volatile* lainnya dari dalam serat pada suhu 1000C. Pada suhu 800C, peningkatan usia tanaman akan menurunkan kekuatan tarik dan modulus serat sisal. Trend tersebut berbeda dibanding pada suhu 1000C.

Serat sisal potensial untuk digunakan sebagai komposit bagi bahan bangunan, kendaraan, rel kereta api, geotekstil, hingga kemasan. Sebagai bahan bangunan, sisal sering digunakan sebagai komposit substitusi kayu, kusen, pintu, atap hingga pada bangunan tahan gempa karena tahan lama dan murah. Sebagai atap bangunan, serat sisal dianggap ramah lingkungan dibanding asbes yang bersifat karsinogen. Di bidang otomotif, serat sisal digunakan sebagai panel mobil, sandaran kursi, dan bantalan rem. Di India, industri kendaraan telah menggunakan komposit serat sisal mengingat sifatnya yang 10% lebih ringan, hemat energi produksi hingga 80%, dan hemat biaya hingga 5% (OSEC, 2004). Bahan kemasan seperti tas, krat, kontainer yang awalnya menggunakan kayu kini menggunakan komposit sisal yang jauh lebih

murah. Serat komposit polimer pada perahu telah digantikan oleh sisal sebagai penguatnya (Gujarat, 2005).

Agave Sisalana merupakan *herba perennial xerophilik* yang kokoh dan kuat serta bersifat monokarpik. Tanaman xerophilik tergolong ke dalam tumbuhan CAM (*carssulaceae acid metabolism*). Tanaman seperti ini mampu beradaptasi terhadap kekeringan dengan transpirasi rendah dan tetap melakukan proses fotosintesis. Pada saat kelembapan rendah, stomata membuka pada malam hari dan menutup pada siang hari (Gardner et al. 1991). Tinggi tanaman 3–9 m ketika berbunga, menghasilkan banyak bulbil dan sucker (anakan). Daunnya bersifat sukulen, tersusun melingkar spiral dengan ukuran daun 75–185 cm x 10–15 cm x 2–4,5 cm dengan pinggiran daun berduri tegak berwarna hitam dengan panjang duri hingga 3 cm (Utomo et al. 2003). Bunga duduk pada ranting pendek, berjejal rapat, tabung tenda bunga berbentuk corong, lebih kurang 1 cm. Panjang tajuk 2 cm, bagian yang ke dalam sempit. Tangkai sari dan tangkai putik panjangnya lebih kurang 3 cm. Bakal buah bulat silindris, tiap ruang berisi banyak biji. Kepala putik berbentuk tombol, masing-masing bertajuk 3. Buah kotak lebih kurang panjangnya 4 cm (Van Steiins et al. dalam Santoso 1992). Setiap helai daun yang siap panen menghasilkan 3–6% serat berwarna putih. Serat diperoleh melalui proses mekanis yaitu dengan alat dekortikator. Daun yang telah matang dimasukkan ke alat dekortikator untuk mendapatkan serat basah. Selanjutnya serat yang diperoleh dijemur terlebih dahulu sebelum diproses lebih lanjut. Serat yang dihasilkan mengandung 64–71% α -selulosa, 7–17% lignin, 12% hemiselulosa,

dan 1–2% abu (Utomo et al. 2003) dengan karakter sifat mekanik dan fisiknya yaitu densitas sebesar 800–700 kg/m³, daya serap air 56%, kuat tarik (tensile strength) 268 MPa, elastisitas modulus 15 Gpa (Chandramohan dan Marimuthu, 2011)

Serat sisal pada umumnya dipakai pada industri pembuatan tali-temali dan pembuatan kerajinan tangan. Seiring dengan perkembangan zaman, pemanfaatan sisal mulai dikembangkan untuk produk lain:

1. Bahan Baku Pembuatan Pulp dan Kertas

Sisal dalam perkembangannya dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan kertas. Pulp yang dihasilkan memiliki karakter, antara lain: resistensi sobek yang tinggi, porositas tinggi, kandungan α selulotik tinggi, berdensitas tinggi, serta daya tahan lipat tinggi sehingga sering digunakan untuk bahan pembuatan kertas dengan keperluan khusus seperti kantong teh celup, kertas rokok, kantong vakum, kertas saring, dan sebagainya (Gutierrez et al. 2008; Hurter 2001).

2. Bahan Baku Komposit

Serat sisal dapat digunakan sebagai komposit dalam industri bahan bangunan (untuk pembuatan papan partikel, pintu, campuran semen, asbes, dan sebagainya), otomotif (pembuatan door trim, dash board, panel, rak, dan beberapa bagian mobil lainnya), geotekstil, serta industri kereta api (Saxena et al. 2011; Rai dan Jha 2012). Penggunaan serat alam sebagai bahan baku komposit sangat menguntungkan karena selain ramah lingkungan, juga

dapat mengatasi kelangkaan bahan baku sintetis serta mengurangi biaya produksi.

3. Limbah Penyeratan

Serat yang dihasilkan dari daun sisal berkisar antara 3–5% dari keseluruhan bagian daun. Sisanya (95%) berupa limbah. Besarnya komponen limbah hasil penyeratan dapat dimanfaatkan menjadi berbagai produk yang bermanfaat. Salah satunya adalah pupuk organik (kompos). Sisa proses penyeratan yang berupa kulit daun dan bagian daun lainnya (yang tidak dapat digunakan sebagai serat) serta bagian tanaman lainnya (seperti bunga dan batang bunga) dapat diolah menjadi pupuk organik (kompos). Selain itu, tingginya selulosa yang terkandung dalam limbah penyeratan dapat diolah lebih lanjut (dengan proses fermentasi) menghasilkan bioetanol dan biogas (Salum dan Hodes 2011; Van Dam (2009). Selain selulosa, limbah proses penyeratan lainnya dapat berupa air seratan daun. Air hasil seratan sisal ini mengandung senyawa aktif yang dapat digunakan sebagai antimikrobia. Senyawa tersebut antara lain: saponin, tannin, flavonoid, glikosida, terpenoid, plobatannin dan kardiak glikosida (Ade-Ajayi et al. 2011). Selain itu, beberapa senyawa tersebut sering digunakan dalam industri farmasi untuk bahan baku pembuatan obat-obatan (Debnath et al. 2010).

2.3 Komposit

Komposit merupakan suatu struktur yang tersusun atas beberapa bahan berbentuk tunggal yang digabungkan menjadi struktur baru dengan sifat yang

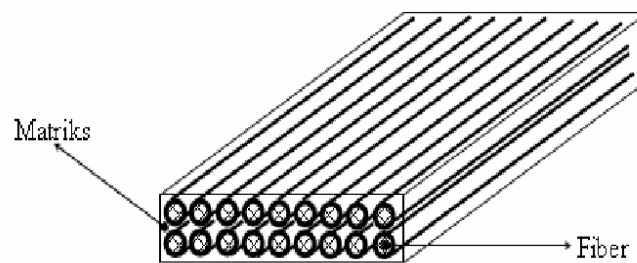
lebih baik dibandingkan dengan bahan pembentuknya. Bahan komposit serat yang utama adalah serat dan pengikat namun terkadang bahan pengikat tersebut diperbaiki sifatnya menggunakan pengisi untuk mendapatkan sifat yang lain yang dikehendaki. Bahan pengikat terbagi menjadi dua. Bahan pengikat yang dapat dibentuk ulang (termoplastik) dan bahan pengikat yang tidak dapat di daur ulang. (termoset). Komposit sintetik merupakan bahan yang diperlukan keberadaanya untuk mengatasi kelemahan. bahan serat dapat dimodifikasi untuk mendapatkan sifat yang lebih lebih pekat, lebih ringan, lebih berat, lebih cepat atau lambat mengeras. Dari campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Material komposit mempunyai sifat dari material konvensional pada umumnya dari proses pembuatannya melalui percampuran yang tidak homogen, sehingga kita leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan jalan mengatur komposisi dari material pembentuknya. Syarat terbentuknya komposit adanya ikatan permukaan antara matriks dan filler sebagai berikut :

1. *Gaya van der Waals* adalah ikatan yang terjadi karena adanya gaya tarik menarik antar partikel.
2. *Interlocking* adalah ikatan antara permukaan ikatan yang terjadi karena kekasaran bentuk permukaan partikel.
3. *Gaya elektrostatis* adalah ikatan yang terjadi karena adanya gaya tarik menarik antara atom yang bermuatan (ion) (Perdana, 2018).

Jenis-Jenis Komposit

Komposit serat merupakan salah satu jenis dari komposit matrik polimer atau *polymer matrix composite* (PMC). Dimana serat berfungsi sebagai penguat atau *reinforcement agents*, dan *polymer* atau *plastic* berfungsi sebagai matriks. Untuk mendapatkan komposit yang lebih baik, dimungkinkan mengkombinasikan dua jenis serat atau lebih. Komposit ini memiliki kekuatan yang lebih baik, tangguh, lebih tahan terhadap beban kejut, serta lebih ringan. (Prabowo, 2007).

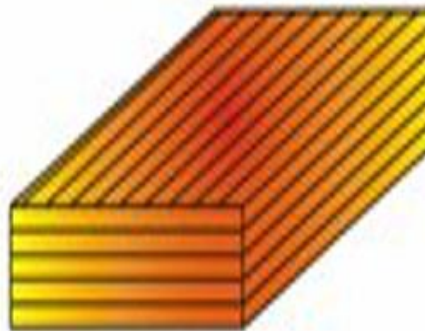
Serat terdiri dari ratusan bahkan ribuan filament, masing-masing filament memiliki diameter 5 sampai 15, sehingga dapat diproses lebih lanjut.



Gambar 2.2 *Fibrous Composite*
 Sumber : Ramadhani, (2019)

Pada gambar diatas terlihat bahwa material komposit dibentuk oleh matriks yang diisi oleh serat-serat sehingga material yang dihasilkan memiliki sifat gabungan dari matriks dan bahan penguatnya yang berupa serat. Secara umum tipe serat dibagi menjadi beberapa jenis diantaranya (Syarief dan Amin, 2016) :

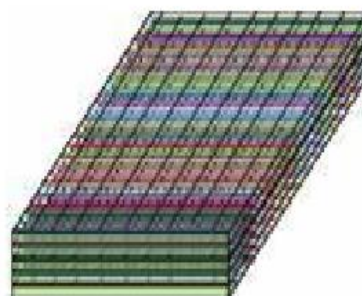
1. *Continuos fiber composite*



Gambar 2.3 Serat Lurus
Sumber : Aditya, (2017)

Continuos fiber composite mempunyai susunan serat panjang dan lurus membentuk lamina diantara matriksnya. Jenis komposit ini paling banyak digunakan kekuranganya adalah lemahnya kekuatan antar lapisan karena di pengaruhi oleh matriks.

2. *Woven fiber composite*



Gambar 2.4 Serat Danyam
Sumber : Ramadhani, (2019)

Woven fiber composite, komposit ini tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan. Akan tetapi

susunan serat memanjangnya tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan tidak sebaik *continuous fiber*.

3. *Hybrid composite* (komposit dengan serat lurus dan serat acak)



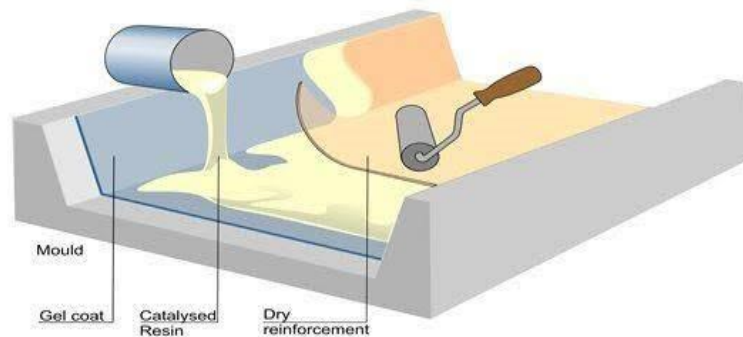
Gambar 2.5 Serat Lurus Acak dan Serat Acak

Sumber : Suriani, (2021)

2.4 Teknik Pembuatan Komposit

2.4.1 Metode *Hand Lay Up*

Metode yang paling sederhana untuk membuat komposit polimer berpenguat serat. Aplikasi metode ini banyak digunakan pada badan kapal, tangki, rumah dan panel, pada metode ini penguat (serat) diletakan didalam cetakan, lalu resin yang sudah dicampur dengan katalis dimasukan kedalam cetakan dengan cara dioleskan menggunakan kuas (Perdana, 2018).

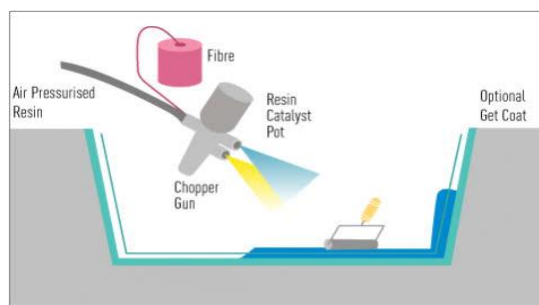


Gambar 2.6 Metode *Hand Lay Up*

Sumber : Perdana, (2018).

2.4.2 Metode *Spray Up*

Metode ini, potongan serat campuran resin dengan katalis disemprotkan ke dalam cetakan, untuk meningkatkan densitasnya dengan menggunakan roller untuk menghilangkan udara yang terjebak dan menjamin resin meresap dalam serat. Metode pembuatan komposit ini hampir sama dengan metode hand *lay-up* metode ini sering digunakan karena dapat membuat bentuk yang kompleks (Perdana, 2018).



Gambar 2.7 Metode *Spray Up*
Sumber : Perdana, (2018)

2.5 Orientasi Serat Pada Komposit

Orientasi, ukuran, dan bentuk serta material serat adalah faktor-faktor yang mempengaruhi properti mekanik. Serat nenas yang dikombinasikan dengan resin sebagai matriks akan dapat menghasilkan komposit alternatif yang salah satunya berguna untuk aplikasi kapal. Bahan komposit dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis, tergantung pada geometri dan jenis seratnya. Hal ini dapat dimengerti karena serat merupakan unsur utama dalam bahan komposit tersebut. Sifat-sifat dari bahan komposit, seperti kekakuan, kekuatan, dan ketahanan tergantung dari geometri dan sifat-sifat seratnya. Faktor yang mempengaruhi matrik dan serat antara lain :

2.5.1 Faktor Serat

Serat adalah bahan pengisi matrik yang digunakan untuk dapat memperbaiki sifat dan struktur matrik yang tidak dimilikinya, juga diharapkan mampu menjadi bahan penguat matrik pada komposit untuk menahan gaya yang terjadi.

2.5.2 Letak Serat

Dalam pembuatan komposit tata letak dan arah serat dalam matrik yang akan menentukan kekuatan mekanik komposit, dimana letak dan arah dapat mempengaruhi kinerja komposit tersebut.

2.5.3 Panjang serat

Dalam pembuatan komposisi serat pada matrik sangat berpengaruh terhadap kekuatan. Ada 2 penggunaan serat dalam campuran komposit yaitu serat pendek dan serat panjang. Serat alam jika dibandingkan dengan serat sintetis mempunyai panjang dan diameter yang tidak seragam pada setiap jenisnya. Oleh karena itu panjang dan diameter sangat berpengaruh pada kekuatan maupun modulus komposit. Panjang serat berbanding diameter serat sering disebut dengan istilah aspect ratio. Bila aspect ratio makin besar maka makin besar pula kekuatan tarik serat pada komposit tersebut. Serat panjang (continuous fiber) lebih efisien dalam peletakannya dari pada serat pendek. Akan tetapi, serat pendek lebih mudah peletakannya dibanding serat panjang. Panjang serat mempengaruhi kemampuan proses dari komposit serat.

2.5.4 Bentuk Serat

Bentuk Serat yang digunakan untuk pembuatan komposit tidak begitu mempengaruhi, yang mempengaruhi adalah diameter seratnya. Pada umumnya, semakin kecil diameter serat akan menghasilkan kekuatan komposit yang lebih tinggi. Selain bentuknya kandungan seratnya juga mempengaruhi (Schwartz, 1984 :1.4).

2.6 Resin Polyester

Resin polyester adalah matriks untuk material komposit. Resin ini juga termasuk dalam resin termoset. Dalam polyester, termoset resin cair diubah menjadi padatan yang keras dan rapuh melalui ikatan silang kimia, membentuk rantai polimer yang sangat kuat. Resin termoset tidak meleleh saat dipanaskan. Resin ini memiliki viskositas yang relatif rendah dalam keadaan cair, mengeras pada suhu kamar menggunakan katalis, tidak menghasilkan gas (tidak seperti resin termoset lainnya), dan tidak memerlukan tekanan selama pencetakan. Secara umum, resin poliester tahan terhadap asam kecuali asam pengoksidasi, namun memiliki ketahanan kelembaban yang buruk. Jika resin ini dimasukkan ke dalam air mendidih selama 300 jam, resin ini akan retak dan pecah. Polyester sering digunakan dalam bentuk material komposit.

Karena sifatnya yang polar, hampir semua jenis serat bisa dikombinasikan dengan resin polyester. Dalam melakukan fabrikasi menggunakan resin polyester, harus meyakinkan bahwa resin dan adiktif lainnya harus sudah tersebar secara merata sebelum katalis ditambahkan. Adapun spesifikasi teknis resin adalah sebagai berikut:

Table 2.2 Spesifikasi Resin

Jenis Resin	Massa Jenis (gr/cm^3)	Modulus Young (Gpa)	Angka Poisson	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
<i>Felonix</i>	1,15	3,0	-	50

Sumber : Alrosyid, (2023)

Dalam proses pengadukan jangan sampai ada udara yang terperangkap didalam larutan komposit. Kemudian pemberian katalis juga harus diperhatikan terlalu banyak katalis akan mengakibatkan proses pengerasan terlalu cepat sedangkan jika terlalu sedikit komposit yang terbentuk akan terbentuk *under-cure*.

2.7 Katalis/ *Hardener*

Katalis atau *hardener* adalah suatu senyawa kimia yang mampu membuat reaksi pada material yang ditamhakkannya menjadi lebih cepat untuk mencapai kesetimbangan tanpa mengalami perubahan kimiawi diakhir reaksi. Nilai kesetimbangan tidak dapat dirubah oleh katalis, namun dapat berperan dalam menurunkan energi aktivasi. Reaksi yang berjalan dengan cepat terjadi karena adanya proses dalam penurunan energi aktivasi. Sehingga maka energi minimum yang dibutuhkan untuk terjadinya tumbukan berkurang. Sifat-sifat yang dimiliki katalis pada umumnya yaitu aktivitas, stabilitas, selektivitas, umur, regenerasi dan kekuatan mekanik. Sedangkan fungsi katalis secara umum mempunyai 2 fungsi yaitu fungsi aktivitas yakni untuk mempercepat

reaksi menuju kesetimbangan dan fungsi selektivitas yaitu untuk meningkatkan hasil reaksi yang dikehendaki. Laju reaksi kimia yang terjadi secara termodinamika berlangsung dapat terjadi oleh katalis yang berfungsi sebagai suatu substansi kimia mampu mempercepat laju reaksi kimia. Hal tersebut terjadi karena adanya senyawa antara yang lebih aktif dihasilkan, disebabkan karena kemampuannya pada paling sedikit satu molekul reaktan untuk terjadinya interaksi. Interaksi ini dapat meningkatkan jumlah tumbukan dapat meningkat dan alur reaksi dapat terbuka dengan energi pengaktifan yang lebih rendah akibat dari meningkatnya ketepatan orientasi tumbukan dan meningkatnya konsentrasi akibat lokalisasi reaktan (Zhain, 2020). Katalis terbagi ke dalam tiga komponen yakni situs aktif, penyangga atau pengemban dan promotor. Menghasilkan reaksi kimia yang diharapkan merupakan fungsi dari situs aktif. Sedangkan fungsi dari penyangga yakni berperan aktif dalam memodifikasi komponen, menyediakan permukaan yang luas, dan meningkatkan stabilitas katalis. Adapun promotor berfungsi pada katalis untuk meningkatkan atau mengurangi aktivitas serta berperan dalam struktur katalis (Zhain, 2020).

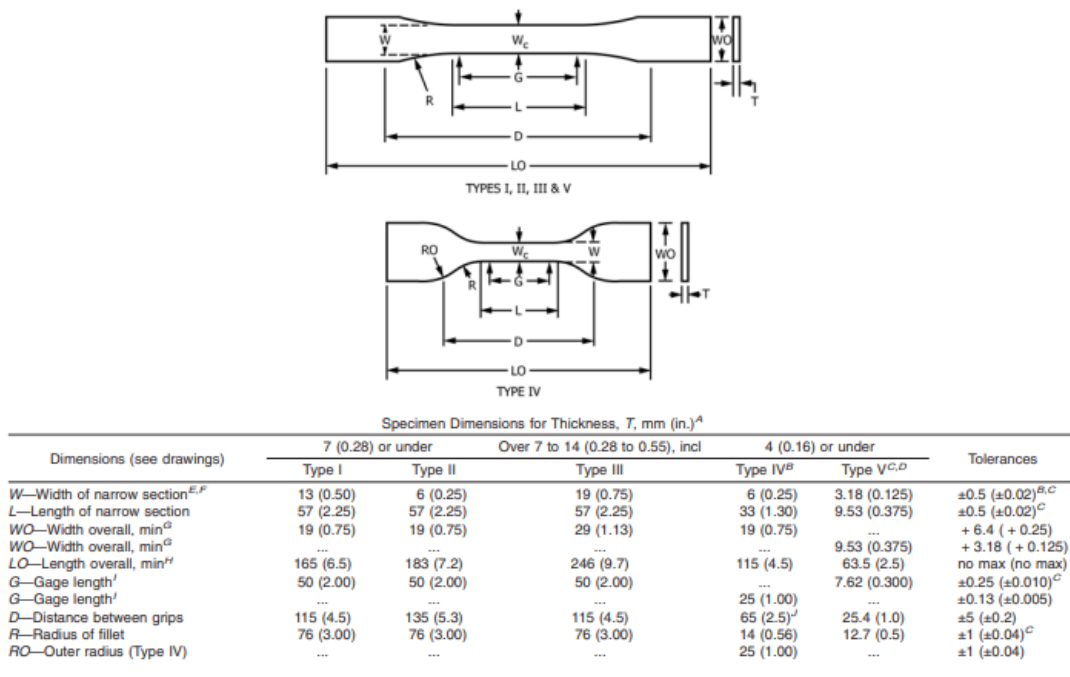
Katalis yang berfungsi untuk mempercepat pengerasan cairan resin (curing) umumnya menggunakan katalis methyl ethyl keton peroksida (MEKPO). Katalis MEKPO kadar penggunaannya sebesar 5% pada suhu kamar. Semakin banyak katalis yang dicampurkan pada cairan matriks akan mempercepat proses laju pengeringan. (Manurung, dkk., 2013). Pada komposit berpenguat serat alam pemberian katalis dan resin berpengaruh besar pada

kekuatan mekanik komposit tersebut. Peran katalis sangat berpengaruh untuk meningkatkan kekuatan pada komposit selain untuk mempercepat proses pengeringan resin. Katalis juga berperan sebagai material pengikat yang menyatukan serat-serat penguat, sehingga resin dapat meningkatkan kekuatan tarik komposit. Pengikatan serat-serat sebagai penguat tidak hanya oleh resin, namun juga adanya tambahan katalis pada resin. Reaksi kimia yang terjadi dapat terpengaruh akibat dari adanya penambahan jumlah pada penggunaan variasi katalis. Sehingga sifat mekanik komposit yang diperoleh pada akhirnya akan terpengaruh juga. Hal tersebut terjadi pada penelitian sebelumnya di mana kekuatan tarik komposit meningkat hingga 15% akibat dari penggunaan katalis dalam jumlah yang tepat. Sebaliknya jumlah penggunaan katalis yang terlalu banyak, dapat menghasilkan panas yang berlebihan sehingga dapat menyebabkan kerusakan selama proses pengerasan. Sehingga komposit yang dihasilkan dapat menjadi rapuh. Selain karena penambahan katalis, kekuatan tarik komposit juga meningkat hingga 20% akibat dari penambahan resin untuk mengikat antar serat dalam jumlah yang tepat. Namun sebaliknya, penambahan resin dalam jumlah yang terlalu banyak dapat menyebabkan komposit yang dihasilkan menjadi berat dan kurang fleksibel. Oleh karena itu, untuk penggunaan matriks agar proses laminasi komposit berjalan cepat dan tepat sehingga menghasilkan material yang baik, maka resin perlu ditambahkan dengan jumlah katalis yang tepat sebagai percepatan pengeringan dan resin sebagai pengikat yang tepat (Rusly, dkk., 2023).

2.8 Kekuatan Tarik (*Tensile Strenght*)

Pengujian tarik adalah suatu pengukuran terhadap bahan untuk mengetahui keuletan dan ketangguhan suatu bahan terhadap tegangan tertentu serta pertambahan panjang yang dialami oleh bahan tersebut. Pengujian tarik adalah metode paling dasar untuk menguji bahan. Tes ini sangat sederhana, murah, dan telah distandarisasi di seluruh dunia. 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 cengkram yang kuat dan kekakuan yang tinggi (Pujiati, 2017).

Pada uji tarik (*Tensile Test*) kedua ujung benda uji dijepit, salah satu ujung dihubungkan dengan perangkat penegang. Regangan diterapkan melalui kepala silang yang digerakkan motor dan alongasi benda uji, dengan pergerakan relatif dari benda uji. Biasanya yang menjadi fokus perhatian adalah kemampuan maksimum bahan tersebut dalam menahan beban. Kemampuan ini umumnya disebut “*Ultimate Tensile Strength*” disingkat dengan UTS, dalam bahasa indonesia disebut tegangan tarik maksimum. Dalam pelaksanaan uji Tarik, specimen uji Tarik harus memiliki standar spesifikasi khusus. Pada penelitian kali ini, peneliti menggunakan standar ASTM D638 tipe 3 sebagai berikut :



Gambar 2.8 ASTM D638
Sumber : (ASTM Committee, 1941)

Uji tarik yang dilakukan dapat memberikan informasi dan rancangan dasar kekuatan pada material. Berdasarkan pada pengujian tarik didapatkan sifat-sifat sebagai berikut:

- a. Tegangan tarik maksimum (σ), sebelum terjadinya patahan (fracture) tegangan maksimum, yang bisa ditanggung material dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots 2.1$$

Di mana :

σ = Tegangan tarik maksimum (N/mm²),

F = Beban Maksimum (N),

A_0 = Luas penampang mula-mula (mm²).

- b. Regangan maksimum (ϵ), pertambahan panjang dari suatu material sesudah terjadi perpatahan terhadap panjang awalnya menunjukkan regangan maksimum, yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \% \dots\dots\dots 2.2$$

Di mana :

ϵ = Regangan (%).

L_0 = Panjang mula-mula (mm),

ΔL = Panjang sesudah ditarik (mm),

- c. Modulus elastisitas, dalam grafik tegangan-regangan yang menunjukkan ukuran kekakuan suatu material. Modulus elastisitas tersebut dapat dihitung berdasarkan slope kemiringan garis elastik yang linier.

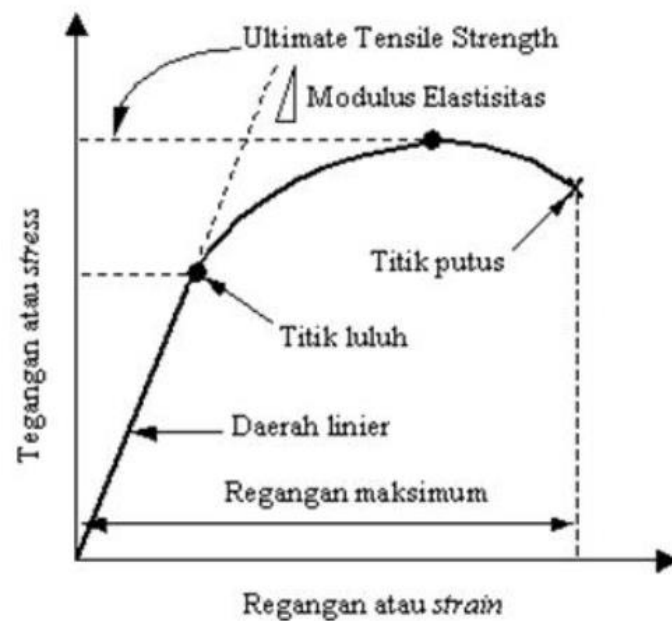
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana:

E = Modulus elastisitas tarik (N/mm²),

σ = Tegangan tarik maksimum (N/mm²),

ϵ = Regangan (%).



Gambar 2.9 Grafik Tegangan – Regangan

Sumber: Pujiati, (2017)

Untuk semua bahan, pada tahap sangat awal uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau *linear zone*. Di daerah ini, kurva pertambahan panjang vs beban mengikuti aturan Hooke, yaitu rasio tegangan (stress) dan regangan (strain) adalah konstan.

2.9 Struktur Makro

Struktur makro komposit merupakan gambaran visual skala besar dari permukaan atau bagian dalam material komposit yang dapat diamati dengan bantuan mikroskop. Setelah komposit serat sisal mengalami pengujian tarik, struktur makronya menunjukkan berbagai fenomena kerusakan yang mencerminkan perilaku mekanik material tersebut terhadap gaya tarik.

Menurut (Santosa et al., 2021, pengujian tarik pada komposit serat alam umumnya menghasilkan kerusakan yang dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis struktur makro berikut :

2.9.1 Patah Matriks (*Matrix Cracking*)

Patah pada matriks polimer terjadi akibat tegangan tarik yang melebihi kekuatan tarik dari matriks itu sendiri. Retakan ini sering muncul pertama kali di antara serat-serat, dan menyebar mengikuti arah gaya tarik. Patah matriks juga bisa menandakan distribusi tegangan yang tidak merata.

2.9.2 Pencabutan Serat (*Fiber Pull-Out*)

Jika ikatan antar muka antara serat sisal dan matriks polyester tidak cukup kuat, maka selama uji tarik, serat tidak patah, melainkan tertarik keluar dari matriks. Fenomena ini dikenal sebagai *fiber pull-out*, dan menjadi indikator adanya kegagalan pada mekanisme transfer beban dari matriks ke serat.

2.9.3 Delaminasi

Delaminasi merupakan peristiwa terlepasnya lapisan-lapisan dalam struktur komposit. Hal ini terjadi karena adanya tegangan antar lapis yang melebihi daya ikat antar lapisan. Delaminasi sering terlihat dalam bentuk rongga atau celah yang memanjang di sepanjang permukaan material.

2.9.4 Retakan Permukaan (*Surface Cracking*)

Retakan yang tampak pada permukaan komposit bisa menjadi indikasi awal dari kerusakan internal. Retakan makroskopik ini sering diikuti oleh patahan total pada spesimen.

2.9.5 Patahan Serat (*Fiber Fracture*)

Pada komposit dengan orientasi serat sejajar dengan gaya tarik, serat akan menerima beban maksimum. Jika ikatan antar muka cukup kuat, maka serat akan ikut patah saat uji tarik. Patahan ini menghasilkan permukaan fraktur yang kasar dan berserat.

2.9.6 Void atau Rongga

Setelah pengujian tarik, dapat terlihat void atau rongga yang merupakan bekas dari serat yang tertarik keluar, atau rongga asli akibat proses manufaktur yang kurang sempurna. Keberadaan void memperlemah struktur komposit secara keseluruhan dan mempercepat terjadinya kegagalan.

2.10 Jurnal Rujukan

Aditya (2023), meneliti tentang analisa kekuatan tarik dan bending komposit resin polyester yang diperkuat serat rami tenun dengan orientasi arah sudut 0° dan 45° sebagai alternatif bumper mobil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh orientasi serat pada komposit tenun rami yang diperkuat resin poliester terhadap kekuatan tarik dan Bending untuk bumper mobil. Serat yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat rami dan matrik yang digunakan yaitu resin polyester Yukalac 157 BQTN-EX. Variasi dalam penelitian ini adalah orientasi arah serat 0° dan 45° . Komposit dibuat menggunakan teknik *hand lay up*. Pengujian yang akan dilakukan ada 2 yaitu uji Tarik menggunakan standar ASTM D 638 dan uji Bending menggunakan standar pengujian ASTM D 790. Dari data yang sudah didapatkan dan di analisa melalui penelitian maka dapat disimpulkan bahwa, kekuatan tarik

tertinggi diperoleh komposit resin poliester diperkuat tenun rami yang seratnya searah 0° dengan nilai sebesar $54,3 \text{ N/mm}^2$ sedangkan kekuatan tarik terendah diperoleh komposit dengan arah 45° , dengan nilai sebesar $9,23 \text{ N/mm}^2$. Selain itu, untuk nilai kekuatan bending tertinggi diperoleh pada arah serat 0° yaitu sebesar $55,06 \text{ Mpa}$, sedangkan kekuatan bending terendah diperoleh komposit dengan arah serat 45° yaitu sebesar $24,42 \text{ Mpa}$. Dari hasil nilai kekuatan tarik dan bending dapat diketahui, bahwa memberi perbedaan arah serat yaitu sudut 0° dan 45° pada komposit begitu berpengaruh, dan terbukti untuk arah 0° memiliki nilai kekuatan mekanis yang lebih unggul dibanding arah 45° .

Fikran, F., & Simon, C. G. (2023), meneliti perbandingan kekuatan tarik material komposit serat polimer matriks lamina Sisal (*Agave Sisalana*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat mekanik pengaruh susunan gabungan variasi sudut lamina dan komposisi campuran serat dan matrik. Penelitian ini menggunakan resin polyester, katalis, dan serat sisal sebagai material dalam pembuatan material komposit. Dalam pembuatan spesimen mengacu pada standar uji ASTM D 638-02 tipe 3 untuk uji tarik. Hasil uji tarik bahan komposit lamina serat sisal dengan asumsi perbandingan komposisi 5% serat dan 95% resin menghasilkan tegangan tarik maksimum sebesar $m = 16,9854 \text{ N/mm}^2$ dan regangan maksimum sebesar $\varepsilon = 4,5232\%$ sedangkan dengan asumsi perbandingan komposisi 15% serat 85% resin menghasilkan tegangan tarik maksimum sebesar $sm = 40,1422 \text{ N/mm}^2$ dan regangan maksimum sebesar $\varepsilon = 8,9744 \%$. Berdasarkan hasil pengujian, penambahan komposisi campuran serat meningkatkan kekuatan tarik dan keuletan bahan.

Komposisi 5% fiber 95% dan 15% fiber 85% resin (15S-85R) menghasilkan tegangan tarik maksimum sebesar $\sigma = 45,1823 \text{ N/mm}^2$ dan regangan maksimum sebesar $\epsilon = 9,6849 \%$ dengan beban maksimum $F_m = 10902,4996 \text{ N}$. Semakin banyak serat yang terkandung dalam material komposit lamina serat tesisal maka semakin tinggi pula tegangan tarik yang dihasilkan, hal ini menunjukkan tegangan berbanding lurus dengan jumlah serat yang terkandung dalam komposit tersebut.

Boimau, K. (2020), Pengaruh Orientasi Serat Terhadap Sifat Tarik Komposit Poliester Berpenguat Serat Pisang, Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Pengaruh Orientasi Serat Terhadap Sifat Tarik Komposit Polyester Berpenguat Serat Pisang. Bahan yang digunakan adalah serat batang pisang yang dianyam dan matrik polyester. Serat diperoleh dari batang pisang yang sudah tua, kemudian serat dianyam menjadi lembaran dengan ukuran $20 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$. Selanjutnya lembaran serat tersebut direndam dalam larutan alkali dengan konsentrasi larutan 5% selama 3 jam. Setelah direndam dalam larutan alkali, serat dicuci dengan air bersih agar serat terbebas dari zat alkali. Orientasi serat yang digunakan adalah (0/0/0), (0/45/0) dan (45/0/45). Selanjutnya komposit dicetak dengan metode *hand lay-up* diikuti penekanan selama 24 jam. Komposisi campuran serat dan matrik didasarkan pada aturan *Rule of Mixture (RoM)*, dengan fraksi berat serat sebesar 15%. Specimen uji dibuat sesuai standar ASTM D638-02 dan diuji dengan alat uji tarik. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada komposit yang diperkuat oleh serat yang diberi perlakuan NaOH dan orientasi

serat (0/0/0) yaitu 14,2 MPa. Sedangkan kekuatan impak terendah diperoleh pada komposit yang diperkuat oleh serat untreated dengan orientasi serat (45/0/45) yaitu 8,6 MPa.

Pujiati (2017) melakukan penelitian mengenai pengaruh orientasi serat terhadap kekuatan tarik komposit berbasis matriks polimer. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa orientasi serat berperan penting dalam menentukan kemampuan komposit menahan beban. Pada orientasi serat 0° , komposit mencapai kekuatan tarik tertinggi sebesar 1650 N/mm^2 karena serat sejajar dengan arah gaya tarik sehingga mampu mentransfer beban secara optimal. Namun, ketika orientasi serat diubah menjadi 30° hingga 90° , terjadi penurunan signifikan pada kekuatan tarik, dengan nilai terendah pada orientasi 90° . Hal ini disebabkan semakin besarnya sudut serat terhadap arah gaya tarik, sehingga kontribusi serat dalam menahan beban berkurang dan beban lebih banyak ditanggung oleh matriks yang memiliki sifat mekanis lebih rendah.

Dengan demikian, hasil penelitian menegaskan bahwa orientasi serat merupakan faktor dominan yang memengaruhi kekuatan tarik komposit, di mana orientasi sejajar (0°) memberikan performa mekanis tertinggi, sementara orientasi tegak lurus (90°) menghasilkan kekuatan terendah.