



BAB II

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian kekuatan tarik komposit yang diperkuat dengan serat kelapa sawit mengacu pada standar ASTM D 638 diperoleh kekuatan tarik optimal komposit untuk perlakuan alkali selama 2 jam sebesar 20,94 MPa dengan fraksi berat serat 27 %, sedangkan kekuatan tarik komposit tanpa perlakuan alkali sebesar 14,21 MPa. Modulus elastisitas optimal komposit untuk perlakuan alkali selama 4 jam sebesar 8,44 GPa dengan fraksi berat serat 32 % (Wahono,B., 2007).

Nurkholis (2008), meneliti kekuatan tarik komposit berpenguat serat rami dengan perlakuan *alkali (NaOH)* 5% selama 2, 4, 6 dan 8 jam bermatrik *polyester* BQTN 157, pembuatan komposit dilakukan dengan pencetakan metode *hand lay up* menggunakan kaca sebagai cetakannya dan perlakuan *post cure 60°* selama 4 jam, diperoleh kekuatan tarik tertinggi dimiliki oleh serat rami dengan perlakuan *alkali* 8 jam yaitu sebesar 41,9 MPa dengan modulus elastisitas tertinggi 2,7 GPa pada perlakuan alkali 2 jam.

Penelitian kekuatan bending komposit serat rami susun acak dengan matrik *polyester* BQTN 157 tanpa perlakuan alkali, pembuatan komposit dilakukan dengan metode press mold oleh Fajar (2008). Dari hasil pengujian diperoleh sebagai berikut: pengujian bending didapat nilai tegangan bending rata-rata tertinggi dimiliki oleh komposit dengan *V_f* 50% pada tebal 5 mm sebesar 95,33 MPa dan modulus elastisitas



bending rata-rata tertinggi dimiliki oleh komposit dengan $V_f=40\%$ pada tebal 1 mm sebesar 5,5 GPa.

Ditinjau dari penelitian yang telah dilakukan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik dan *bending* dipengaruhi adanya variasi fraksi volume (V_f) Sedangkan untuk perlakuan alkali, semakin lama perendaman alkali dapat meningkatkan kekuatan tarik, bending dan modulus elastisitasnya sampai batas tertentu kemudian menurun. Akan tetapi semakin lama dilakukan perendaman alkali akan menurunkan regangan bending dan kekuatan tariknya.

2.2 Definisi Komposit

Komposit terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopis. Penggabungan secara makroskopis inilah yang membedakan komposit dengan paduan atau *alloy* yang penggabungan unsur-unsurnya secara mikroskopis. Pada bahan komposit, sifat-sifat unsur pembentuknya masih terlihat jelas yang pada paduan sudah tidak lagi tampak secara nyata. Justru keunggulan bahan komposit di sini adalah penggabungan sifat-sifat unggul masing-masing unsur pembentuknya tersebut.

Salah satu keuntungan material komposit adalah kemampuan material tersebut untuk diarahkan sehingga kekuatannya dapat diatur hanya pada arah tertentu yang kita kehendaki, hal ini dinamakan "*tailoring properties*" dan ini adalah salah sifat istimewa yang komposit yaitu ringan, kuat, tidak terpengaruh

kepanasan dan mampu berespon dengan beban dengan tidak kehilangan karakteristik



Komposit disusun dari dua komponen yaitu matriks atau resin, dan *reinforcement* atau penguat dan ada juga yang menyebut dengan *filler*. *Filler* ini nantinya berfungsi sebagai penguat dimana distribusi tegangan yang diterima oleh komposit akan diteruskan ke *filler*. *Filler* ini dapat berupa serat atau partikel. Serat dapat berupa dari alam maupun sintetis. Serat alam dapat disebut juga dengan biokomposit, contohnya adalah serat jerami, serat eceng gondok. Dan yang sintetis misalnya adalah serat *E-glass (fiber glass)*. Material komposit mempunyai beberapa keuntungan diantaranya :

1. Bobot ringan
2. Mempunyai kekuatan dan kekakuan yang baik
3. Biaya produksi murah
4. Tahan korosi

2.3 Klasifikasi Material Komposit

Secara garis besar komposit diklasifikasikan menjadi tiga macam (Jones, 1975), yaitu:

2.3.1 Komposit serat (*Fibrous Composites*)

Komposit serat adalah komposit yang terdiri dari fiber dalam matriks. Secara alami serat yang panjang mempunyai kekuatan yang lebih dibanding serat yang berbentuk curah (*bulk*). Merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat/fiber. Fiber yang digunakan bisa berupa *fiberglass*, *carbon fiber*, *aramid fiber* (saka amida) dan

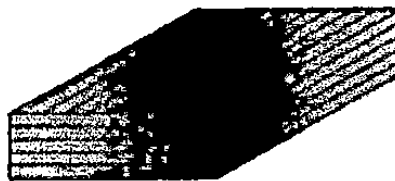


Fiber ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman. Serat merupakan material yang mempunyai perbandingan panjang terhadap diameter sangat tinggi serta diameternya berukuran mendekati kristal. Serat juga mempunyai kekuatan dan kekakuan terhadap densitas yang besar (Jones, 1975).

Kebutuhan akan penempatan serat dan arah serat yang berbeda menjadikan komposit diperkuat serat dibedakan lagi menjadi beberapa bagian diantaranya:

1. *Continuous fiber composite* (komposit diperkuat dengan serat kontinu).

Continuous atau uni-directional, mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriknya. Jenis komposit ini paling sering digunakan. Tipe ini mempunyai kelemahan pada pemisahan antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriknya.



Gambar 2.1. *Continuous fiber composite* (Gibson, 1994)

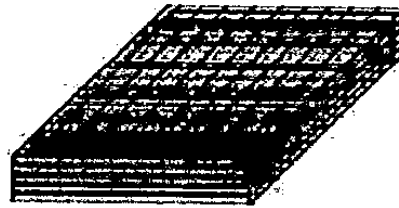
2. *Woven fiber composite* (komposit diperkuat dengan serat anyam).

Woven atau bi-directional Komposit ini tidak mudah dipengaruhi pemisahan

antar lapisan karena susunan seratnya juga menikat antar lapisan. Akan tetapi



susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan akan melemah.



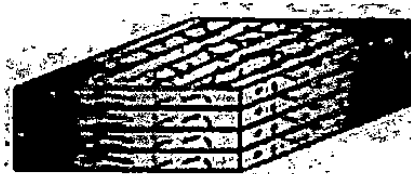
Gambar 2.2. *Woven fiber composite* (Gibson, 1994)

3. *Discontinuous fiber composite* (komposit diperkuat serat pendek/acak)



Gambar 2.3. *Chopped fiber composite* (Gibson, 1994)

4. *Hybrid composite* (komposit diperkuat serat kontinyu dan serat acak).



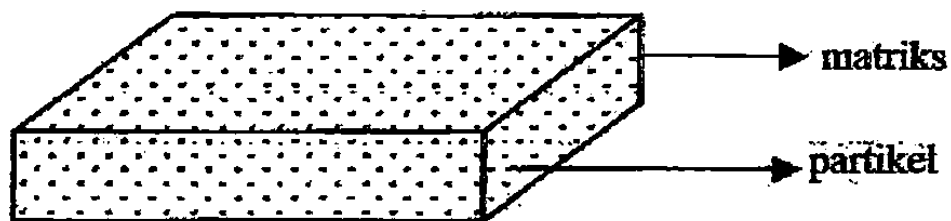
Gambar 2.4. *Hybrid composite* (Gibson, 1994)

Hybrid fiber composite merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Tipe ini digunakan supaya dapat mengganti kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihan...



2.3.2 Komposit Partikel (*Particulate Composites*)

Merupakan komposit yang menggunakan partikel serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya.



Gambar 2.5. Partikel komposit (Kaw, 1997)

Komposit ini biasanya mempunyai bahan penguat yang dimensinya kurang lebih sama, seperti bulat serpih, balok, serta bentuk-bentuk lainnya yang memiliki sumbu hampir sama, yang kerap disebut partikel, dan bisa terbuat dari satu atau lebih material yang ditanamkan dalam suatu matriks dengan material yang berbeda.

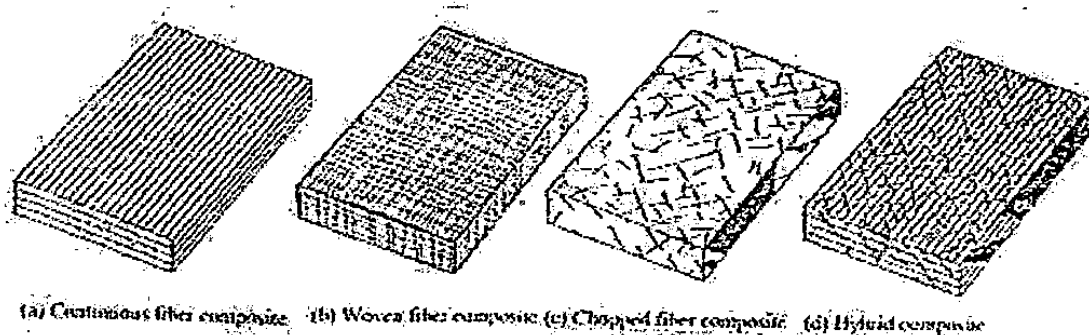
Partikelnya bisa logam atau non logam, seperti halnya matriks. Selain itu adapula polimer yang mengandung partikel yang hanya dimaksudkan untuk memperbesar volume material dan bukan untuk kepentingan sebagai bahan penguat (Jones, 1975). Bahan komposit partikel mempunyai keunggulan, seperti ketahanan terhadap aus, tidak mudah retak dan mempunyai daya pengikat dengan matrik yang baik.

2.3.3 Komposit Lapis (*Laminates Composites*)

Lamina adalah kumpulan beberapa serat satu arah *unidirectional* atau *woven* berbentuk pelat yang sudah ditanamkan dalam matriks. Sebuah lamina biasanya



terlampau tipis untuk dipergunakan langsung dalam aplikasi *engineering*. Beberapa lamina dapat disatukan bersama-sama membentuk suatu struktur yang diberi nama laminat. Sifat serta orientasi lamina dalam suatu laminat dipilih untuk bisa memenuhi persyaratan desain. Sifat-sifat laminat ditentukan oleh sifat lamina penyusunnya. Oleh karena itu, analisis atau desain suatu laminat memerlukan pengetahuan yang sempurna tentang lamina.



Gambar 2.6. Jenis komposit lamina (Gibson, 1994)

Laminat merupakan pelat yang terdiri dari dua atau lebih lapisan lamina yang digabung bersama membentuk struktur yang integral. Laminat dibuat agar elemen struktur mampu menahan beban *multiaksial*, sesuatu yang tidak dapat dicapai dengan lapisan tunggal. Lapisan tunggal hanya kuat pada arah seratnya, tetapi sangat lemah pada arah tegak lurus arah seratnya.

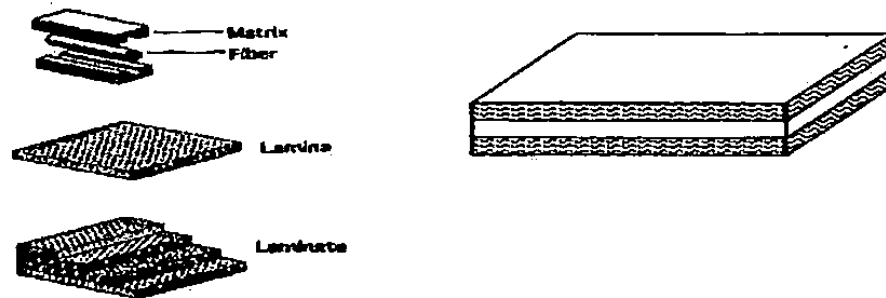
Anggapan-anggapan dasar yang dipakai dalam teori ini adalah :

- a. Setiap lamina terikat kuat satu sama lain. Ikatan antar lamina tersebut sangat tipis, sehingga tidak mempengaruhi kekuatan laminat secara keseluruhan serta tidak teregang geser (*non shear deformable*). Dengan anggapan ini berarti tidak ada slip antar lapisan dan deformasi pelat dianggap kontinu. Dengan demikian



laminat berlaku sebagai lapisan tunggal dengan sifat-sifat khusus.

- b. Berdasarkan asumsi (a) maka, jika laminat yang dikaji tipis, garis yang semula lurus serta tegak lurus bidang tengah laminat dianggap tetap lurus dan tegak lurus sewaktu laminat tersebut teregang atau terlentur.



Gambar 2.7. Komposit laminat (Gibson, 1994)

Komposit ini terdiri dari bermacam-macam lapisan material dalam satu matriks. Bentuk nyata dari komposit lamina adalah (Jones, 1999) :

1. Bimetal

Bimetal adalah lapis dari dua buah logam yang mempunyai koefisien ekspansi thermal yang berbeda.

2. Pelapisan logam

Pelapisan logam yang satu dengan yang lain dilakukan untuk mendapatkan sifat terbaik dari keduanya.

3. Kaca yang dilapisi

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



4. Komposit lapis-serat

Dalam hal ini lapisan dibentuk dari komposit serat dan disusun dalam berbagai orientasi serat. Komposit jenis ini biasa digunakan untuk panel sayap pesawat dan badan pesawat.

2.4 Aspek Geometri

Penempatan serat harus mempertimbangkan geometri serat, arah, distribusi dan fraksi volume, agar dihasilkan komposit berkekuatan tinggi. Untuk suatu lamina *unidirectional*, dengan serat kontinyu dengan jarak antar serat yang sama, dan direkatkan secara baik oleh matrik (*Gibson 1994*).

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. 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.

Menurut tata letak dan arah serat diklasifikasikan menjadi 3 bagian yaitu:

1. *One dimensional reinforcement*, mempunyai kekuatan dan modulus

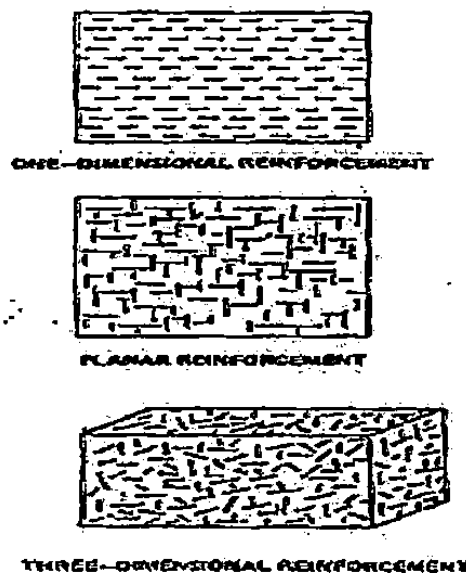
maksimum pada arah serat



2. *Two dimensional reinforcement* (planar), mempunyai kekuatan pada dua arah atau masing-masing arah orientasi serat.

3. *Three dimensional reinforcement*, mempunyai sifat *isotropic* kekuatannya lebih tinggi dibanding dengan dua tipe sebelumnya.

Pada pencampuran dan arah serat mempunyai beberapa keunggulan, jika orientasi serat semakin acak (*random*) maka sifat mekanik pada satu arahnya akan melemah, bila arah tiap serat menyebar maka kekuatannya juga akan menyebar kesegala arah maka kekuatan akan meningkat.



Gambar 2.8. Tiga tipe orientasi pada *reinforcement* (Gibson, 1994)

3. Panjang Serat

Panjang serat dalam pembuatan komposit serat pada matrik sangat berpengaruh terhadap kekuatan. Ada dua penggunaan serat dalam campuran



komposit yaitu serat pendek dan serat panjang.

Ditinjau dari teorinya, serat panjang dapat mengalirkan beban maupun tegangan dari titik tegangan ke arah serat yang lain. Pada struktur *continuous fiber* yang ideal, serat akan bebas tegangan atau mempunyai tegangan yang sama. Selama fabrikasi, beberapa serat akan menerima tegangan yang tinggi dan yang lain mungkin tidak terkena tegangan sehingga keadaan di atas tidak dapat tercapai (Schwartz, 1984 : 1.11).

Sedangkan komposit serat pendek, dengan orientasi yang benar, akan menghasilkan kekuatan yang lebih besar jika dibandingkan *continous fiber*. Hal ini terjadi pada *whisker*, yang mempunyai keseragaman kekuatan tarik setinggi 1500 kips/in² (10,3 GPa). Komposit berserat pendek dapat diproduksi dengan cacat permukaan yang rendah sehingga kekuatannya dapat mencapai kekuatan teoritisnya (Schwartz, 1984 : 11).

Faktor yang mempengaruhi variasi panjang serat *chopped fiber composites* adalah *critical length* (panjang kritis). Panjang kritis yaitu panjang minimum serat pada suatu diameter serat yang dibutuhkan pada tegangan untuk mencapai tegangan saat patah yang tinggi (Schwartz, 1984).

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).

5. Faktor Matrik

Matrik dalam komposit berfungsi sebagai bahan mengikat serat menjadi sebuah unit struktur, melindungi dari kerusakan eksternal, meneruskan atau memindahkan beban eksternal pada bidang geser antara serat dan matrik, sehingga matrik dan serat saling berhubungan. Pembuatan komposit serat membutuhkan ikatan permukaan yang kuat antara *serat* dan matrik.

6. Faktor Ikatan *Fiber-Matrix*

Hal yang mempengaruhi ikatan antara serat dan matrik adalah *void*, yaitu adanya celah pada serat atau bentuk serat yang kurang sempurna yang dapat menyebabkan matrik tidak akan mampu mengisi ruang kosong pada cetakan. Bila komposit tersebut menerima beban, maka daerah tegangan akan berpindah ke daerah *void* sehingga akan mengurangi kekuatan komposit tersebut. Pada pengujian tarik komposit akan berakibat lolosnya serat dari matrik. Hal ini disebabkan karena kekuatan atau ikatan interfacial antara matrik dan serat yang kurang besar (Schwartz, 1984 : 1.13).

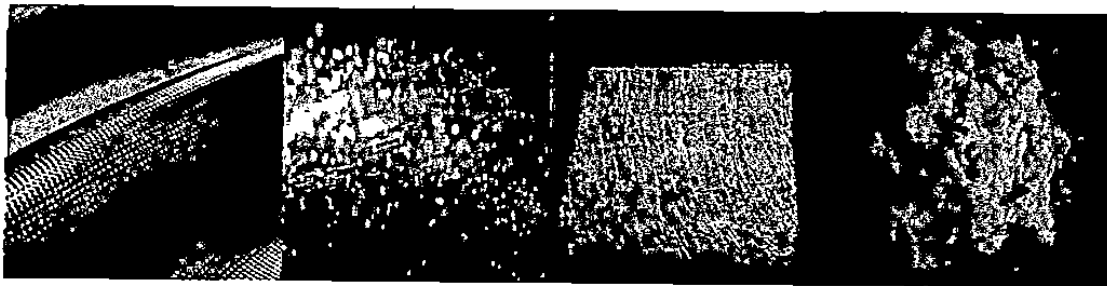
2.5 Material Konstituen

2.5.1 Serat

Serat secara umum dibagi menjadi dua jenis, yaitu : serat sintetis dan serat alami. Serat sintetis adalah serat yang terbuat dari bahan-bahan organik dengan komposisi kimia tertentu. Serat sintetis mempunyai beberapa kelebihan yaitu: sifat



dan ukurannya relatif seragam, kekuatan serat dapat diupayakan sama. Serat sintetis yang telah banyak digunakan antara lain : serat gelas, serat karbon, Kevlar, nylon dan lain-lainya (Jones, 1975). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.9.



(a) serat karbon (b) serat optik (c) serat gelas (d) serat nilon

Gambar 2.9. Serat sintetis (www.google.search.com)

Serat alami adalah serat yang dapat langsung diperoleh dari alam, berupa serat organik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan dan binatang. Serat ini telah banyak digunakan oleh manusia, diantaranya adalah : kapas, wol, sutera, aren, kelapa sawit, dan lain-lainya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.10.



(a) serat tebu (b) serat sutera (c) serat batang pisang (d) serat wol

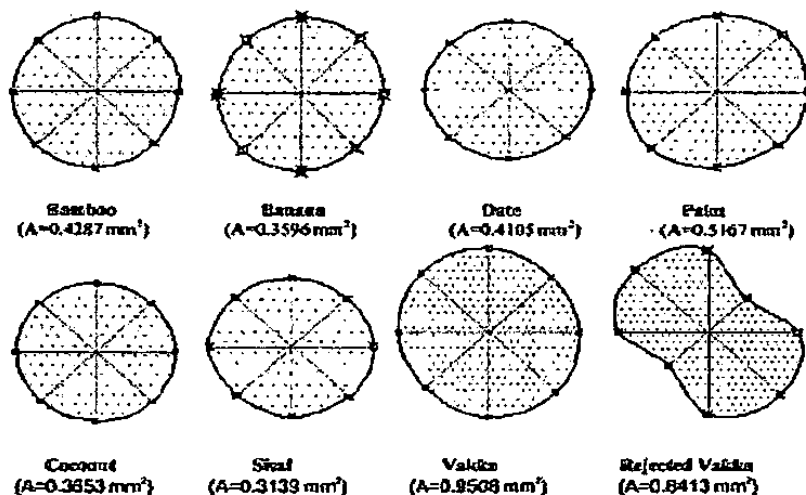
Gambar 2.10. Serat alam (www.google.search.com)

Serat alami mempunyai kelemahan yaitu ukuran serat yang tidak seragam, kekuatan serat sangat dipengaruhi oleh usia (Schwartz, 1984). Serat alami yang telah dikaji penggunaannya antara lain kenaf, flax, rami, selulosa, ijuk, serat daun aren dan



pelepeh kurma, bambu, serabut kelapa dan pandan. Kualitas serat alami sangat tergantung pada umur pohon dan tempat menanam, prosedur pemisahan serat dengan unsur bukan serat dan perlakuan yang diberikan. Serat-serat tersebut pada umumnya diperoleh dengan cara pelarutan lignin atau bahan pengikat serat dengan cara merendam dalam air selama beberapa hari atau dengan menggunakan bahan alkali pada umumnya larutan sampai dengan 15% NaOH, sehingga tersisa seratnya.

Serat tersebut kemudian disisir dan dicuci sehingga relative bersih dari unsur bukan serat. Bentuk penampang lintang serat alam pada umumnya tidak benar-benar bulat, namun ada unsur kelongjongannya. Berbagai bentuk dan ukuran serat alam ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Bentuk dan ukuran beberapa jenis serat alami (Rao, 2007)

Karena serat-serat tersebut pada umumnya tidak tahan suhu tinggi, maka matrix yang banyak digunakan adalah polimer, (Van de Velde dan Kiekens, 2002) sehingga

fabrikasi material kompositnya bisa dilakukan pada suhu relatif rendah



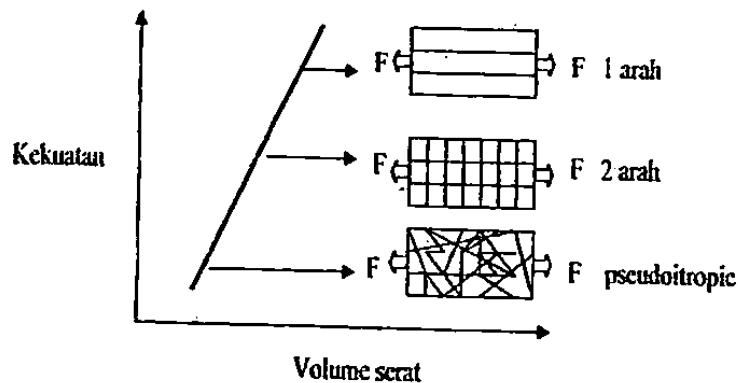
Beberapa kelebihan serat alami antara lain:

1. Bahan bakunya terbarukan
2. Massa jenisnya rendah
3. Tidak abrasif
4. Tidak sensitif terhadap retakan
5. Tidak menyebabkan iritasi pada kulit
6. Limbahnya mudah terurai di alam
7. Merupakan konduktivitas kalor yang baik.

Beberapa kekurangan dari serat alami anatara lain :

1. Sifat mekanisnya relatif rendah dibandingkan dengan serat sintetis
2. Laju penyerapan uap airnya relatif tinggi
3. Tidak tahan terhadap suhu tinggi
4. Walau dari satu jenis, namun sifat-sifatnya sangat bervariasi.

Serat merupakan material penguat pada komposit serat dan berfungsi sebagai penahan beban paling utama. Jumlah serat, orientasi serat, panjang serat, model atau bentuk serat dan komposisi serat merupakan faktor yang paling penting untuk menentukan kekuatan komposit serat. Semakin banyak serat yang dikandung dalam komposit, kekuatan mekanis (*strength*) semakin besar. Gambar 2.12. menunjukkan bahwa semakin tinggi fraksi volume serat maka kandungan kekuatan komposit



Gambar 2.12. Grafik hubungan antara kekuatan dan susunan serat pada komposit (Schwartz, 1984)

Banyak jenis serat baik serat alam maupun serat sintetik. Serat alam yang utama adalah kapas, wol, sutra dan rami (*hemp*), sedangkan serat sintetik adalah rayon, *polyester*, akril, dan nilon. Masih banyak serat lainnya dibuat untuk memenuhi keperluan sedangkan yang disebut di atas adalah jenis yang paling dikenal. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Table 2.1.

Tabel 2.1. Komposisi unsur kimia serat alam

Serat	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)	Kadar air (%)
Pisang	60-65	6-8	5-10	10-15
Sabut	43	<1	45	10-12
Flax	70-72	14	4-5	7
Jute	61-63	13	5-13	12,5
Rami	80-85	3-4	0,5	5-6
Sisal	60-67	10-15	8-12	10-12
Sun hemp	70-78	18-19	4-5	10-11
Cotton	90	6	-	7

(Sumber : Building Material and Technology Promotion Council)

Komposit dengan penguat serat (*fibrous composite*) sangat efektif, karena bahan dalam bentuk serat jauh lebih kuat dan kaku dibanding bahan yang sama



kecil, kadang-kadang dalam ordemikron. Ukuran yang kecil tersebut menghilangkan cacat-cacat dan ketidaksempurnaan kristal yang biasa terdapat pada bahan berbentuk padatan besar, sehingga serat menyerupai kristal tunggal yang tanpa cacat, dengan demikian kekuatannya sangat besar. Sifat mekanis dan dimensi dari beberapa serat alam ditunjukkan oleh Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Sifat mekanis beberapa serat alam

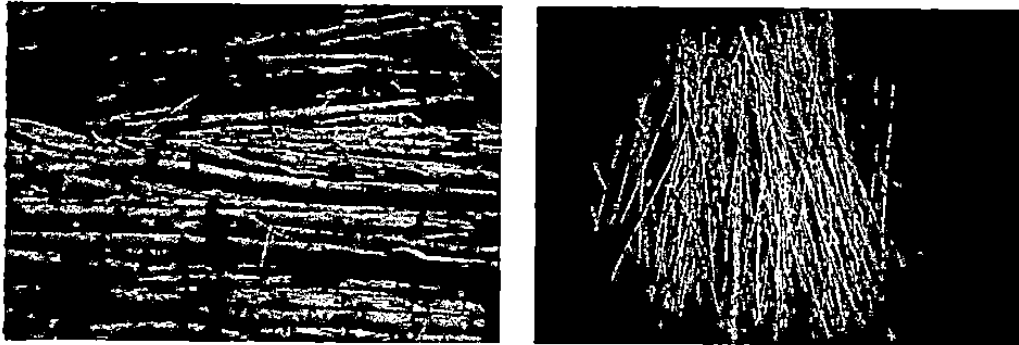
Serat	Panjang (mm)	Diameter (mm)	Massa jenis (Kg/m^3)	Modulus Young (GPa)	Kekuatan Tarik (MPa)	Regangan (%)
Bambu	-	0.1-0.4	1500	27	575	3
Pisang	-	0.8-2.5	1350	1.4	95	5.9
Sabut	50-350	0.1-0.4	1440	0.9	200	29
Flax	500	NA	1540	100	1000	2
Jute	1800-3000	0.1-0.2	1500	32	350	1.7
Kenaf	30-750	0.04-0.09	-	22	295	-
Sisal	-	0.5-2	1450	100	1100	-

(Sumber : Building Material and Technology Promotion Council)

Serat Tebu

Tebu (*bahasa Inggris: sugar cane*) adalah tanaman yang ditanam untuk bahan baku gula dan vetsin. Tanaman ini hanya dapat tumbuh di daerah beriklim tropis. Tanaman ini memerlukan udara panas yaitu 24-30 °C dengan perbedaan suhu musiman tidak lebih dari 6 °C, perbedaan suhu siang dan malam tidak lebih dari 10 °C. Batang tebu mengandung serat dan kulit batang (12,5%) dan nira yang terdiri dari air, gula, mineral dan bahan non gula lainnya (87,5%) (Notojoewono, 1981). Gambar

2.13 menunjukkan batang dan serat tebu.



Gambar 2.13. Batang tebu dan serat tebu

Serat tebu adalah residu dari suatu proses penggilingan tanaman tebu. Tanaman tebu tak hanya berisi air yang digunakan sebagai bahan pembuat gula, tetapi memiliki komposisi yang lebih kompleks yakni sachaerose, zat sabut/fiber, gula reduksi dan beberapa bahan lainnya. Celullosa, hemicellulosa, pentason dan lignin merupakan struktur pembentuk serat ampas tebu yang komposisinya dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Struktur Ampas Tebu.

Nama Bahan	Jumlah %
Cellulose	28% - 43%
Hemicellulosa	14% - 23%
Pentosans	20% - 33%
Lignin	13% - 22%

(Sumber : Spektra Virtual Library, 2003)

Di beberapa negara limbah pabrik tersebut untuk keperluan di berbagai bidang. Pada bidang industri, ampas tebu dibuat kertas serta dapat dibuat papan partisi (medium board). Pemakaian partikel board sudah umum digunakan dengan berbagai



Matriks

Defenisi Fungsi Matriks Dan Klasifikasi

Matriks adalah bahan atau material yang digunakan untuk mengikat atau menyatukan bahan pengisi tanpa bereaksi secara kimia dengan bahan pengisi tersebut. Pada umumnya matriks berfungsi sebagai (Hyer,1998):

1. Untuk melindungi material komposit dari kerusakan-kerusakan secara mekanik maupun kimiawi.
2. Untuk mengalihkan atau meneruskan beban dari luar ke serat.
3. Sebagai pengikat.

Bahan pengisi yang berfungsi sebagai penguat pada material komposit dapat berbentuk serat, partikel, dan serpihan. Dalam hal ini sebagai pengikat atau penyatu antara serat dengan serat, partikel dengan partikel dan seterusnya digunakan matriks.

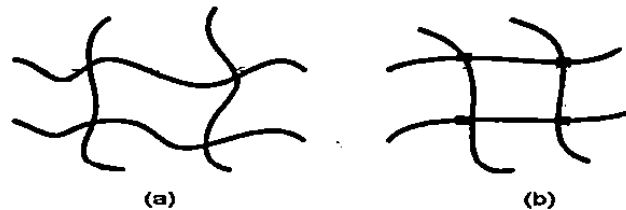
Secara umum matriks terbagi atas dua kelompok yaitu (Feldman dan Hartomo, 1995):

1. Termoset merupakan bahan yang sulit mencair atau melunak apabila dipanaskan karena harus membutuhkan temperatur yang sangat tinggi. Hal ini disebabkan karena molekul-molekulnya mengalami ikatan silang (*cross linking*) sehingga bahan tersebut sulit dan bahkan jarang didaur ulang, contohnya resin epoksi, poliester, *urea formaldehyde*, *phonol-formaldehyde*, *melamine formaldehyde* dan lain-lain.
2. Termoplastik merupakan bahan yang mudah menjadi lunak kembali apabila dipanaskan dan mengeras apabila didinginkan sehingga pembentukan dapat dilakukan berulang-ulang karena mempunyai struktur yang linier



Keistimewaan dari termoplastik ini adalah bahan-bahan termoplastik yang telah mengeras dapat diolah kembali dengan mudah sedangkan termoset sulit dan bahkan tidak bisa diolah kembali. Contoh termoplastik PVC (*poli vinil clorida*), FE (*polietilen*), nilon 66, poliamida, poliasetal dan lain-lain.

Gambar 2.14. memperlihatkan bahwa pemanasan bahan termoset akan mengakibatkan terjadinya *cross linking* antara molekul-molekul sehingga jika bahan termoset telah mengeras maka sulit untuk dilunakan kembali dengan pemanasan.



Gambar 2.14. Molekul pada polimer termoset mengalami *cross linking* (a).sebelum dipanaskan dan (b).sesudah dipanaskan.

Tabel 2.4. Perbandingan Sifat – Sifat Resin Polyester Dan Epoksi.

Sifat	Polyester	Epoksi
Kekentalan (Mgm^{-3})	1,2 – 1,5	1,2 – 1,4
Modulus young (GNm^{-2})	2 – 4,5	3 – 6
Poisson ratio	0,37 – 0,39	0,38 – 0,4
Kekuatan tarik (MNm^{-2})	40 – 90	35 – 100
Kekuatan tekan (MNm^{-2})	90 – 150	100 – 200
Regangan maksimum (%)	2	1 – 6
Temperatur maksimum ($^{\circ}\text{C}$)	50 – 110	50 – 300

Matriks atau resin dalam susunan komposit bertugas melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik. Matrik harus bisa meneruskan beban dari luar ke serat.

Umumnya matrik terbuat dari bahan-bahan yang lunak dan liat



Polimer (plastik) merupakan bahan umum yang biasa digunakan. Matrik juga umumnya dipilih dari kemampuannya menahan panas. *Polyester*, *vinilester* dan epoksi adalah bahan-bahan polimer yang sejak dahulu telah dipakai sebagai bahan matrik.

Persyaratan di bawah ini perlu dipenuhi sebagai bahan matriks untuk pencetakan bahan komposit :

- 1) Resin yang dipakai perlu memiliki viskositas rendah, dapat sesuai dengan bahan penguat dan *permeable*.
- 2) Dapat diukur pada temperatur kamar dalam waktu yang optimal.
- 3) Mempunyai penyusutan yang kecil pada pengawetan.
- 4) Memiliki kelengketan yang baik dengan bahan penguat
- 5) Mempunyai sifat baik dari bahan yang diawetkan.

Tidak ada bahan yang dapat memenuhi semua persyaratan di atas tetapi pada saat ini paling banyak dipakai adalah *polyester* tak jenuh (Surdia, 1984).

2.5.2 Termoset Epoksi

Resin termoset adalah suatu polimer cair yang diubah menjadi padatan secara polimerisasi jaringan silang, secara kimia membentuk formasi rantai polimer tiga dimensi. Bentuk epoksi sebelum pengerasan berupa cairan kental, dan setelah pengerasan akan berbentuk padatan yang keras.

Resin epoksi termasuk kelompok plastik termoset yang tidak meleleh lagi jika dipanaskan. Pengerasannya terjadi karena reaksi polimerisasi, bukan pembekuan.

Oleh karena itu epoksi resin tidak mudah di-recycle. Resin epoksi lebih mahal tapi



lebih tahan terhadap kelembaban dan lebih mudah menyusut. Suhu maksimum yang digunakan sekitar 175°C (347°F).

Resin epoksi banyak digunakan sebagai matrik untuk komposit dengan performa yang tinggi dan banyak digunakan untuk bahan komposit di beberapa bagian struktur. Resin ini juga dipakai sebagai bahan campuran pembuatan kemasan, sebagai bahan pencetak (*moulding compound*) dan sebagai perekat. Resin epoksi juga mempunyai sifat-sifat resin yang lebih baik dari resin *polyester* sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 2.4.

Pada penelitian ini digunakan *epoxy* dan *hardener* merk "Eposchön" yang dijual di pasaran. Dari segi komersial, polimer atau resin *epoxy* termasuk polimer *nonvinil* terpenting. Karakteristik fisik dan kimia dari epoksi yaitu berbentuk cair dengan berbagai warna, bau yang khas, iritasi terhadap mata dan kulit, peka jika tersentuh kulit.

Hardener

Dalam proses pengerasan resin epoksi diberi bahan tambahan berupa *hardener*, *hardener* ini digunakan untuk mempercepat proses pengerasan cairan resin pada suhu yang lebih tinggi. Pemakaiannya dibatasi sampai 1:1 dari volume resin (*Justus Kimia Raya, 2001*).

Sebagai bahan tambahan utama *hardener* terdiri dari monomer polyamine, misalnya Triethylenetetramine (Teta). Ketika senyawa ini dicampur bersama antara senyawa amina dengan senyawa epoksida bereaksi untuk membentuk ikatan kovalen



Setiap senyawa NH dapat bereaksi dengan senyawa epoksida, sehingga polimer yang dihasilkan sangat silang, dan dengan demikian kaku dan kuat. Salah satu *hardener* yang ada dipasaran adalah EPOCHON.

Alkali (NaOH)

Sifat alami serat alam adalah *hydrophilic*, yaitu suka terhadap air berbeda dari polimer yang *hydrophobic*. Pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat permukaan serat alam selulosa telah diteliti dimana kandungan optimum air mampu direduksi sehingga sifat alami *hidrophilic* serat dapat memberikan kekuatan *interfacial* dengan matrik polimer secara optimal (Bismarck dkk., 2002).

NaOH merupakan larutan basa yang tergolong mudah larut dalam air dan termasuk basah kuat yang dapat terionisasi dengan sempurna. Menurut teori Arrhenius basa adalah zat yang dalam air menghasilkan ion OH dan ion positif. Larutan basa memiliki rasa pahit, dan jika mengenai tangan terasa licin seperti (seperti sabun).

2.6 Karakteristik Patahan Pada Material Komposit

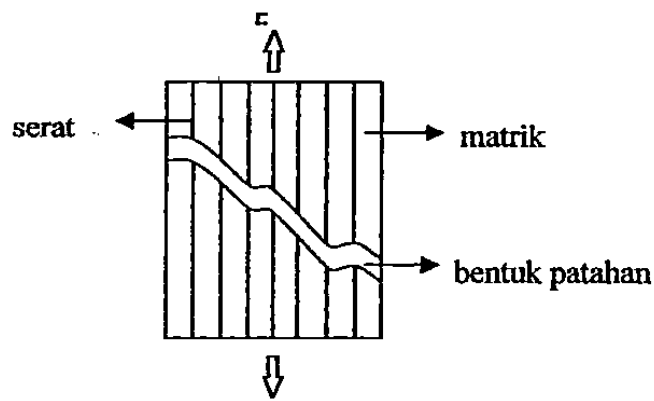
Patahnya material komposit dapat disebabkan oleh deformasi ganda, antara lain disebabkan oleh kondisi pembebanan serta struktur mikro komponen pembentuk komposit. Yang dimaksud struktur mikro adalah : diameter serat, fraksi volume serat, distribusi serat dan kerusakan akibat tegangan termal yang dapat terjadi selama fabrikasi atau dalam pemakaian.



Kenyataan bahwa banyak faktor yang dapat menyebabkan proses retak pada komposit, maka tidaklah mengherankan jika mode gagal yang beragam dapat dijumpai pada suatu sistem komposit tertentu (Chawla, 1987).

2.6.1 Patah Banyak

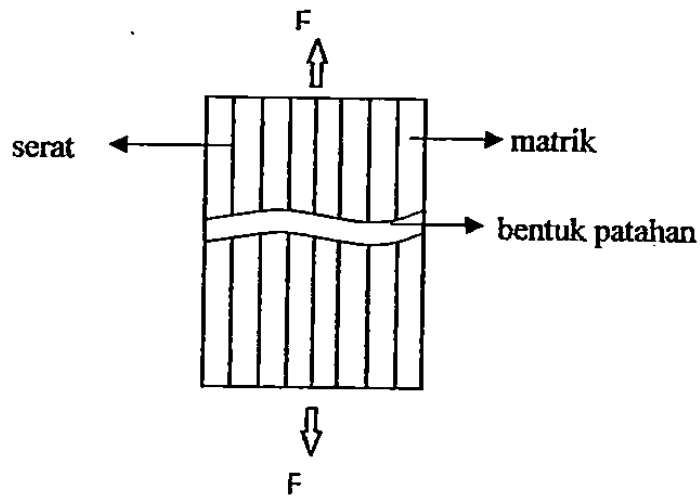
Ketika jumlah serat yang putus akibat beban tarik masih sedikit dan kekuatan *interfance* masih baik, matrik mampu mendukung beban yang diterima dengan cara mendistribusikan beban tersebut ke sekitarnya. Apabila matrik mampu menahan gaya geser dan meneruskan beban ke serat yang lain maka jumlah serat yang putus semakin banyak. Patahan terjadi pada lebih dari satu bidang, Pada gambar 2.15. adalah menunjukkan patah banyak (Schwartz, 1984).



Gambar 2.15. Patah Banyak (Schwartz, 1984)

2.6.2 Patah Tunggal

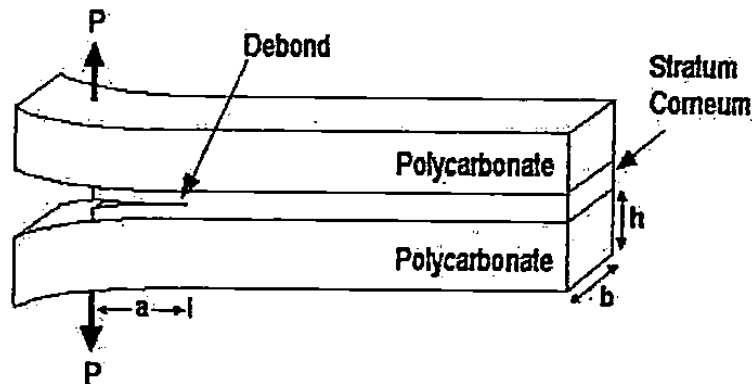
Patah yang disebabkan ketika serat putus akibat beban tarik, matrik tidak mampu lagi menahan beban tambahan. Patahan terjadi pada satu bidang. Pada Gambar 2.16. dibawah ini menunjukkan patah tunggal (Schwartz, 1984)



Gambar 2.16. Patah Tunggal (Schwartz, 1984)

2.6.3 Debonding

Adalah lepasnya ikatan pada bidang antarmuka matrik serat, disebabkan gaya geser yang tidak mampu ditahan oleh matrik (Schwartz, 1984).



Gambar 2.17. Debonding (Schwartz, 1984)

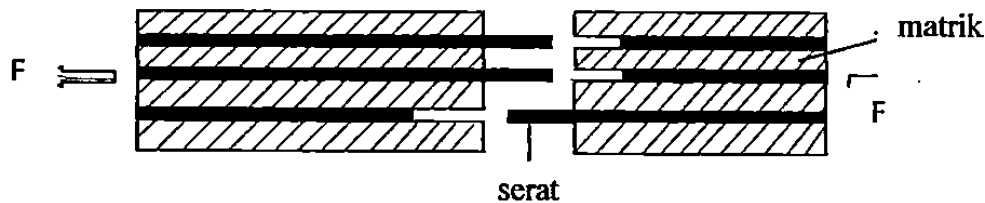
2.6.4 Fiber Pullout

Adalah tercabutnya serat dari matrik yang disebabkan ketika matrik retak akibat beban tarik, kemampuan untuk menahan beban akan segera berkurang namun komposisi masih mampu menahan beban yang mampu ditahan kecil daripada beban



maksimum. Saat matrik retak, beban akan ditransfer dari matrik ke serat ditempat persinggungan retak.

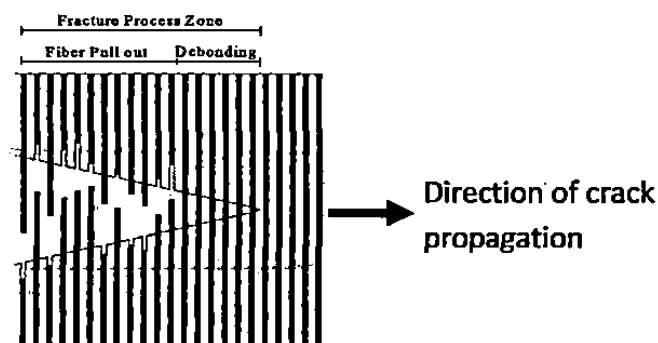
Selanjutnya kemampuan untuk mendukung beban berasal dari serat. Seiring dengan bertambahnya deformasi, serat akan tercabut dari matrik akibat debonding dan patahnya serat (*Schwartz, 1984*).



Gambar 2.18. Fiber pull out

2.6.5 Fiber breakage / fiber break-up

Tercabutnya serat dari matrik sebelum matrik pecah/putus akibat adanya beban tarik. Hal ini disebabkan karena tegangan pada serat jauh lebih besar dari pada tegangan matrik. Patahan pada ujungnya masih ada ikatan matrik yang merekat dan patahan pada ujung serat pendek - pendek (*Agarwal, 1990*).



Gambar 2.19. Fiber breakage / fiber break-up



2.7 Sifat Fisis Komposit

Massa jenis bahan, persamaan kekuatan komposit dan sifat-sifat komposit dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (*Chawla, 1987*) :

a. Massa komposit

Massa komposit dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$m_c = m_f + m_m \dots\dots\dots(2.1)$$

keterangan :

m_c = massa komposit (g)

m_f = massa serat (g)

m_m = massa matrik (g)

b. Massa jenis komposit

Massa jenis komposit dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$\rho_c = \frac{m_c}{v_c} \dots\dots\dots(2.2)$$

keterangan :

ρ_c = massa jenis komposit (gr/cm³)

m_c = massa komposit (gr)

v_c = volume komposit (cm³)

Volume Komposit

(2.3)



c. Fraksi massa serat

$$w_f = \frac{m_f}{m_c} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

keterangan :

 w_f = fraksi massa serat (%) m_f = berat serat (gr) m_c = berat komposit (gr)

d. Fraksi volume serat

$$V_f = \frac{m_f/\rho_f}{(m_f/\rho_f) + (m_m/\rho_m)} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

keterangan :

 V_f = fraksi volume serat (%) ρ_f = massa jenis serat (gr/cm³) m_m = massa matrik (gr) m_f = massa serat (gr) ρ_m = massa jenis matrik (gr/cm³)e. Persamaan *Rule of Mixtures*

$$\sigma_c = \sigma_f \cdot V_f + \sigma_m \cdot V_m \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\epsilon_c = \epsilon_f \cdot V_f + \epsilon_m \cdot V_m \dots\dots\dots (2.7)$$

$$E_c = E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m \dots\dots\dots (2.8)$$

keterangan :

 σ_c = kekuatan komposit (Mpa) ϵ_c = regangan komposit (mm/mm) E_c = modulus elastisitas komposit (Gpa) V_f = fraksi volume serat (%) V_m = fraksi volume matrik (%)

Hubungan antara fraksi volume dengan persamaan *Rule Of Mixtures* $\sigma_f > \sigma_m$ dengan bertambahnya V_f maka akan menaikkan harga σ_c . Jika sebaliknya $\sigma_f < \sigma_m$ dengan bertambahnya V_f maka akan menurunkan harga σ_c . Berlaku juga untuk

regangan komposit dan modulus elastisitas komposit

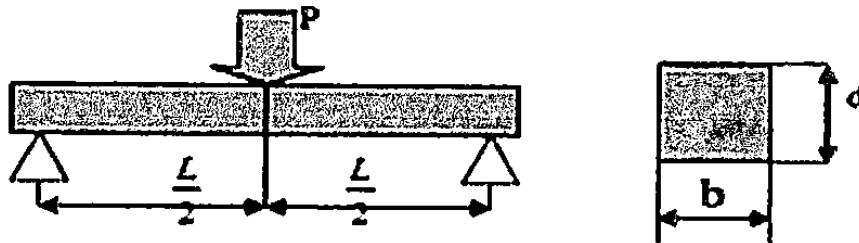


2.8. Sifat-sifat *Bending*

Kekuatan bending atau kekuatan lengkung adalah tegangan bending terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan. Akibat pengujian bending, pada bagian atas spesimen akan mengalami tekanan, dan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Material komposit kekuatan tekannya lebih tinggi terhadap tegangan tariknya. Kegagalan yang terjadi akibat pengujian bending, komposit akan mengalami patah pada bagian bawah yang disebabkan karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima.

Kekuatan bending bekerja kebalikan dari kekuatan tarik, karena bahan polimer mempunyai cacat yang kecil atau mengandung zat pengisi tertentu, maka bahan polimer dapat mengalami deformasi yang besar, umumnya kekuatan bending lebih besar dari pada kekuatan tarik dan modulus elastik untuk kekuatan bending lebih besar dari pada kekuatan tarik. (Tata Surdia dan Shinroku, 1984)

Untuk mengetahui kekuatan *bending* material komposit, perlu dilakukan pengujian terhadap material komposit tersebut. Pada pengujian *bending*, bagian atas spesimen akan mengalami tegangan tekan dan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik (Salim, 1984).



Gambar 2.20. Metode pengujian *bending*.

Kekuatan *bending* suatu material komposit dapat dirumuskan dengan persamaan berikut (ASTM D 790):

Untuk $l/d > 16$ digunakan rumus :

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} [1 + 6(D/L)^2 - 4(d/L)(D/L)] \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

- σ_b = kekuatan bending (MPa)
- P = beban (N)
- L = panjang span (mm)
- b = lebar (mm)
- d = tebal (mm)
- D = defleksi/ pertambahan panjang (mm)

Nilai modulus elastisitas *bending* (E_b) material dapat dirumuskan dengan persamaan 2.12 dibawah (ASTM D 790):

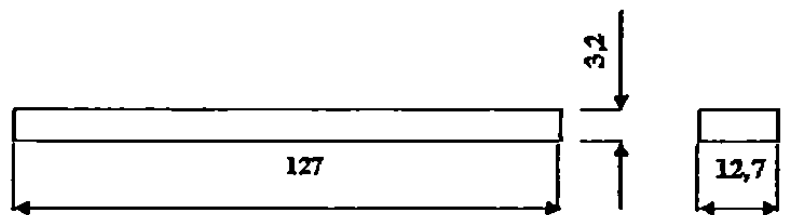
$$E_b = \frac{l^3 m}{4bd^3} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

- E_b = elastisitas bending (MPa)
- l = jarak antara titik tumpuan (mm)
- b = lebar spesimen (mm)
- d = tebal spesimen (mm)
- m = slope tangent pada kurva beban defleksi (N/mm)



Menurut ASTM D-790 dimensi spesimen pengujian bending adalah panjang x lebar x tebal, bentuk dan ukuran spesimen uji bending seperti yang ditunjukkan Gambar 2.21. panjang span yang digunakan 80 mm dan $L \cong 127$ mm.



Gambar 2.21. Bentuk dan Ukuran Spesimen dalam (mm)

2.9 Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik adalah salah satu sifat dasar hubungan tegangan-regangan yang nilainya cukup dipengaruhi oleh laju tegangan; temperatur dan kelembaban.

Hal-hal yang mempengaruhi kekuatan tarik komposit antara lain :(Surdia, 1999).

a. Temperatur

Apabila temperatur naik, maka kekuatan tariknya akan turun.

b. Kelembaban

Pengaruh kelembaban ini akan mengakibatkan bertambahnya absorpsi air, akibatnya akan menaikkan regangan patah, sedangkan tegangan patah dan modulus elastisitasnya menurun.

c. Laju Tegangan

Apabila laju tegangan kecil, maka perpanjangan bertambah dan mengakibatkan

..... menjadi lebih rendah modulus elastisitasnya rendah



Sedangkan kalau laju tegangan tinggi, maka beban patah dan modulus elastisitasnya meningkat tetapi regangannya mengecil.

a. Tegangan tarik

Besarnya tegangan tarik dari material komposit dapat ditentukan dngan menggunakan persamaan (*Surdia dan Saito, 1999*).

$$\sigma = \frac{P}{t \times l} \dots\dots\dots (2.11)$$

keterangan :

- σ = tegangan tarik (MPa)
- t = tebal spesimen benda uji (mm)
- l = lebar spesimen benda uji (mm)
- P = beban tarik maksimum (N)

b. Regangan tarik

Besarnya regangan adalah jumlah pertambahan panjang karena pembebanan dibandingkan dengan panjang daerah ukur (*gage length*). Besarnya regangan tarik dapat dihitung dengan persamaan 2.9 seperti dibawah ini yang menyatakan ϵ merupakan regangan yang dinyatakan dalam mm/mm, bilangan tak berdimensi atau sering dinyatakan dalam persen (*Surdia dan Saito, 1999*).

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{l_0} \dots\dots\dots (2.12)$$

keterangan:

- ϵ = Regangan (mm/mm)
- ΔL = pertambahan panjang (mm)
- l_0 = panjang daerah ukur (*gage length*), mm

Pada daerah proporsional yaitu daerah tegangan regangan yang terjadi masih
sehingga defleksi yang terjadi masih bersifat elastis dan masih berlaku hukum



Hooke. Besarnya nilai modulus elastisitas komposit yang juga merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada daerah proporsional dapat dihitung dengan persamaan (Surdia, 1999)

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots (2.13)$$

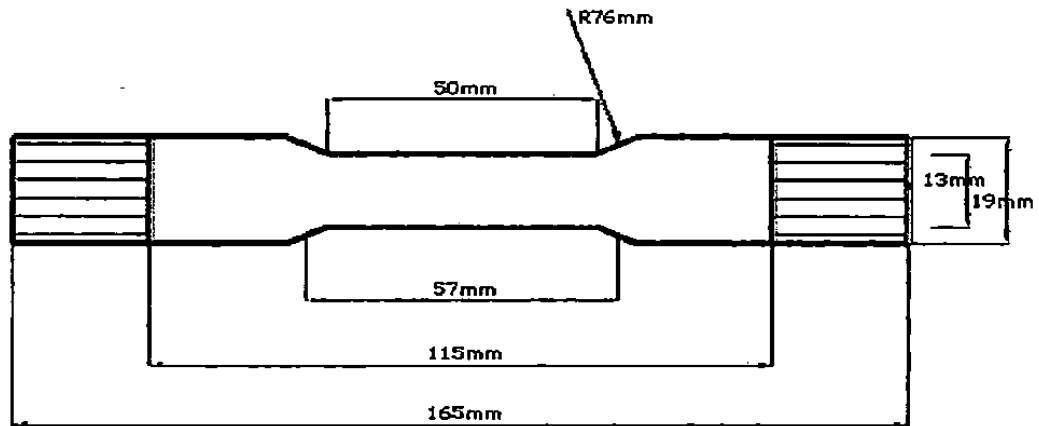
keterangan:

- E = Modulus elastisitas tarik (MPa)
- σ = Kekuatan tarik (MPa)
- ϵ = Regangan (mm/mm)

2.9.1 Uji Tarik

Uji tarik adalah pemberian gaya atau tegangan tarik kepada material dengan maksud untuk mengetahui atau mendeteksi kekuatan dari suatu material. Tegangan tarik yang digunakan adalah tegangan aktual eksternal atau perpanjangan sumbu benda uji. Uji tarik dilakukan dengan cara penarikan uji dengan gaya tarik secara terus menerus, sehingga bahan (perpajangannya) terus menerus meningkat dan teratur sampai putus, dengan tujuan menentukan nilai tarik. Untuk mengetahui kekuatan tarik suatu bahan dalam pembebanan tarik, garis gaya harus berhimpit dengan garis sumbu bahan sehingga pembebanan terjadi beban tarik lurus. Tetapi jika gaya tarik sudut berhimpit maka yang terjadi adalah gaya lentur.

Bentuk dimensi spesimen uji tarik menurut standar ASTM D-638 adalah sebagai mana ditunjukkan pada Gambar 2.22 berikut:



Cambar 2.22 Dimensi spesimen uji tarik (ASTM D 638)