

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Wahono, B. (2008) telah meneliti tentang pengaruh perlakuan alkali (NaOH) pada material komposit dengan variasi waktu 2, 4, 6, 8 jam dan telah melakukan perlakuan *post cure* pada komposit dengan temperatur 60°C selama 4 jam, dari hasil pengujian diperoleh kekuatan tarik maksimum komposit dengan perlakuan NaOH 2 jam sebesar 20,94 MPa dengan fraksi volume 27 %, sedangkan kekuatan tarik komposit tanpa perlakuan NaOH sebesar 14,21 MPa. Modulus elastisitas optimum komposit untuk perlakuan NaOH selama 4 jam sebesar 8,44 Gpa dengan fraksi berat serat 32 %, sedangkan regangan optimum komposit untuk perlakuan NaOH selama 2 jam sebesar 0,84 % dengan fraksi berat 27 %.

Penelitian yang dilakukan Haryanto, S. (2007) tentang pengujian tarik komposit berpenguat serat aren dengan perlakuan serat dengan NaOH 2,4,6, dan 8 jam, telah melakukan perlakuan *post cure* pada semua material komposit dengan suhu 60°C selama 1 jam. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar fraksi volume serat maka semakin besar pula tegangan tariknya. Kekuatan tarik pada fraksi volume serat 9,8%; 15,45%; 18,71%; 21,97; dan 26,86% masing-masing adalah 24,55 MPa; 30,57 MPa; 37,01 MPa; 37,22 MPa dan 42,35 MPa, sedangkan modulus tariknya masing-masing adalah 2,23 Gpa; 2,33 Gpa; 2,50 Gpa; 2,61 Gpa; 1, 2,43 Gpa. Pada fraksi volume serat 22%

komposit berpenguat serat aren dengan perlakuan alkali 4 jam memiliki kekuatan dan modulus tarik tertinggi, yaitu 45,17 MPa dan 3,12 Gpa.

Rajak, F. (2006) dalam kajian uji tarik material komposit berpenguat serat rami/polyester melakukan perlakuan postcure dengan suhu 70°C selama 4 jam. Dari hasil pengujian spesimen dengan fraksi volume 26,70% dan 54,10% mode patahnya terjadi patah banyak. Mode patah spesimen tersebut sangat dipengaruhi dari kekuatan *interface* material tersebut. Tegangan tertinggi terjadi pada spesimen dengan fraksi volume 67,47% dengan nilai rata-rata tertinggi 206,58 MPa. Untuk modulus elastisitas rata-rata nilai tertinggi terdapat pada fraksi volume 67,47% dengan nilai 44,61 Gpa. Hasil regangan rata-rata tertinggi terdapat pada fraksi volume 26,70% dengan nilai 0,83 %.

## **2.2 Material Komposit**

Material komposit terbentuk dari dua atau lebih komponen (bahan penguat dan matriks), yang memiliki karakteristik yang berbeda dengan bahan-bahan pembentuknya (Selby dan Miller, 1975). Material suatu struktur dapat dikelompokkan menjadi 4 kategori dasar yaitu: logam, polimer, keramik dan komposit. Komposit adalah kombinasi antara dua atau lebih dari tiga bahan yang berbeda yang tidak larut satu dengan yang lain dan memiliki sejumlah sifat yang tidak mungkin dimiliki oleh masing-masing komponennya (Schwartz, 1984).

## **2.3 Klasifikasi Material komposit**

Material komposit dikelompokkan menjadi tiga yaitu

### **2.3.1. Komposit Serat (*Fibrous composites*)**

Menurut bentuk material dan penyusunannya, komposit serat (*fibrous composite*) merupakan jenis komposit yang paling banyak digunakan untuk struktur. Hal ini disebabkan karena komposit serat lebih kuat daripada bentuk butiran. Komposit serat terdiri dari serat sebagai bahan penguat dan matrik sebagai bahan pengikat, pengisi volume dan pelindung serat-serat untuk mendistribusikan gaya atau beban antar serat (Schwartz, 1984).

Unsur utama komposit serat adalah serat yang mempunyai banyak keunggulan, oleh karena itu bahan komposit serat paling banyak dipakai. Bahan komposit serat terdiri dari serat-serat yang diikat oleh matrik yang saling berhubungan. Serat inilah yang menentukan karakteristik komposit seperti kekuatan, keuletan, kekakuan dan sifat mekanik yang lain (Jones, 1975).

### **2.3.2. Komposit Partikel (*Particulate composites*)**

Dalam struktur komposit, bahan komposit partikel tersusun dari partikel-partikel disebut bahan komposit partikel (*particulate composites*). Menurut definisinya partikelnya berbentuk beberapa macam seperti bulat, kubik, tetragonal atau bahkan bentuk-bentuk yang tidak beraturan secara acak, tetapi secara rata-rata berdimensi sama. Bahan komposit partikel umumnya digunakan sebagai pengisi dan penguat bahan komposit keramik (*ceramic matrix composites*). Bahan komposit partikel umumnya lebih lemah dibanding bahan

### **2.3.3. Komposit Lapis (*Laminates composites*)**

Komposit yang terdiri dari bermacam-macam lapisan material dalam satu matrik. Bentuk nyata dari komposit lapis adalah :

#### **1. Bimetal**

Bimetal adalah lapisan dari dua buah logam yang mempunyai koefisien ekspansi thermal yang berbeda. Bimetal akan melengkung seiring perubahannya suhu sesuai dengan perancangan, sehingga jenis ini sangat cocok untuk alat ukur suhu

#### **2. Pelapis 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 terhadap cuaca

#### **4. Komposit lapis**

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 terbang.

### **2.4 Tipe komposit serat**

Untuk memperoleh komposit yang kuat harus menempatkan serat dengan

.....

### 1. *Continuous Fiber Composite*

*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.

### 2. *Woven Fiber Composite (bi-directional)*

Komposit ini tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan akan melemah.

### 3. *Discontinuous Fiber Composite*

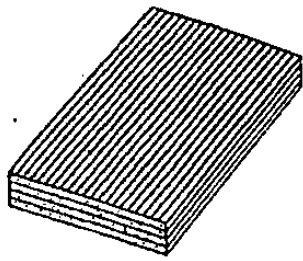
*Discontinuous Fiber Composite* adalah tipe komposit dengan serat pendek.

Tipe ini dibedakan menjadi 3

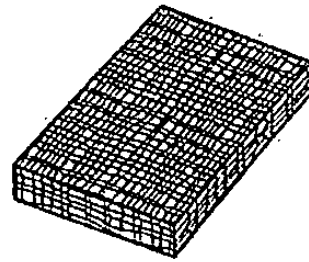
- a) *Aligned discontinuous fiber*
- b) *Off-axis aligned discontinuous fiber*
- c) *Randomly oriented discontinuous fiber*

### 4. *Hybrid Fiber Composite*

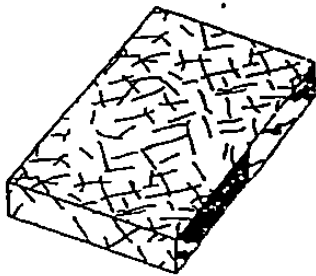
*Hybrid Fiber Composite* merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Tipe ini digunakan supaya dapat mengganti kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihan



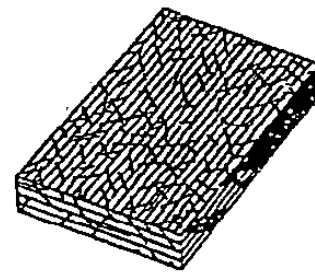
*Continuous Fiber Composite*



*Woven Fiber composite*



*Randomly oriented discontinuous composite*



*Hybrid Fiber Composite*

Gambar 2.1. Tipe komposit serat  
(marcel dekker,2004)

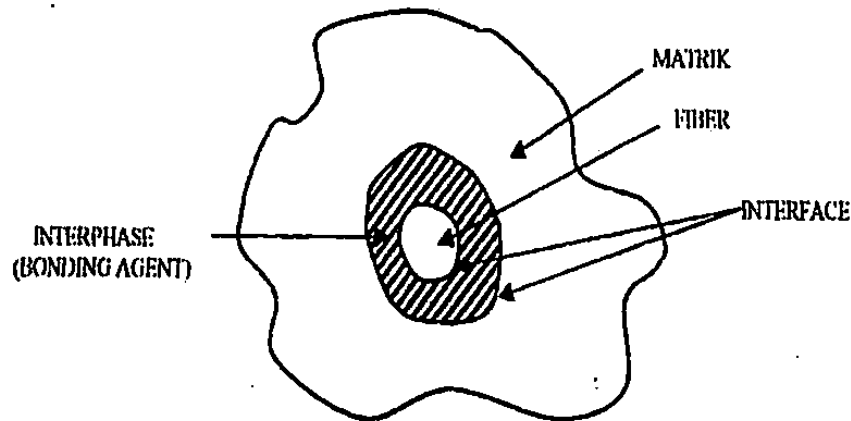
## **2.5 Unsur-unsur Penyusun Komposit Serat (*fibrous composite*).**

Unsur-unsur utama penyusun komposit adalah matrik dan serat. Bahan-bahan pendukung pembuatan komposit meliputi katalis dan pigmen dan sebagainya. Bahan tambahan tersebut juga memiliki fungsi yang sangat penting dalam menentukan kualitas produk komposit.

Karena material komposit terdiri dari penggabungan unsur-unsur utama yang berbeda, maka munculah daerah perbatasan antara serat dan matrik (*interface*) seperti ditampilkan pada gambar 2.2. Daerah pencampuran antara

... ..

batas pencampuran antar serat dan matrik disebut *interface* (Diharjo,K., dan Triyono.T.,2000,*Material Teknik*'').



Gambar 2.2. *Interface* antara serat dan matrik (Diharjo,K., dan Triyono.T.,2000,*Material Teknik*'')

### 2.5.1. Serat

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 komposit serat. Seperti dinyatakan oleh Schwarz (1984) bahwa semakin banyak serat yang dikandung dalam komposit, kekuatan mekanis (*strenght*) semakin besar.

Disisi lain, meningkatnya kandungan resin, berarti akan meningkatkan ketahanan produk cetaknya terhadap serangan kimia, cuaca dan tahan terhadap beban tekan. Oleh karena itu, perbandingan antara serat dan resin memegang peranan yang sangat penting untuk menentukan sifat-sifat mekanisnya.

Sistem penguat dalam material komposit, serat bekerja dengan mekanisme

bahan matrik (bermodulus rendah) yang sedang dikenai beban, untuk mentransfer beban kepada serat-seratnya (berkekuatan jauh lebih besar).

Diameter serat juga memegang peranan yang sangat penting dalam memaksimalkan tegangan. Makin kecil diameternya akan memberikan luas permukaan per satuan luas yang lebih besar, sehingga membantu transfer tegangan tersebut. Semakin kecil diameter serat (mendekati ukuran kristal) semakin tinggi kekuatan bahan serat.

Secara umum serat terdiri dari dua jenis yaitu : serat alami, dan serat sintetis. Serat alam adalah serat yang dapat langsung diperoleh dari alam, biasanya serat organik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan dan binatang. Serat ini telah banyak digunakan oleh manusia, diantaranya adalah : kapas, wol, sutera, pelepah pisang, sabut kelapa, ijuk, rami, dan serat nanas-nanasan. Serat alam mempunyai kelemahan yaitu ukuran serat yang tidak seragam, kekuatan serat alam sangat dipengaruhi oleh usia.

Serat sintetis adalah serat yang dibuat dari bahan-bahan anorganik dengan komposisi kimia tertentu. Serat sintetis mempunyai beberapa kelebihan yaitu: sifat dan ukurannya relatif seragam, kekuatan serat dapat diupayakan sama disepanjang serat, ketahanan abrasi dan ketahanan lelah sangat baik, serta kekuatan tarik dan modulus dari serat cukup baik. Serat sintetis yang telah

.....



Tabel 2.1, Sifat mekanis beberapa serat alam (Sumber : Building Material and Technology Promotion Council).

Serat	Panjang (mm)	Diameter (mm)	Massa jenis (Kg/m <sup>3</sup> )	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
Serat	Panjang (mm)	Diameter (mm)	Massa jenis (Kg/m <sup>3</sup> )	Modulus Young (GPa)	Kekuatan Tarik (MPa)	Regangan (%)
Kenaf	30-750	0,04-0,09	-	22	295	-
Sisal	-	0,5-2	1450	100	1100	-

Sumber : (Rao, 2007)

### 2.5.2. Matrik

Syarat utama yang harus dimiliki oleh bahan matrik adalah bahan matrik tersebut harus dapat meneruskan beban. Oleh karena itu, serat harus dapat melekat pada matrik secara *chemical bond* dan kompatibel antara serat dan matrik (tidak ada reaksi kimia yang mengganggu). Biasanya matrik yang dipilih adalah matrik yang memiliki ketahanan panas yang tinggi.

Persyaratan di bawah ini perlu dipenuhi sebagai bahan matrik untuk pencetakan 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 dikuatkan

Tidak ada bahan yang dapat memenuhi semua persyaratan di atas tetapi pada saat ini paling banyak dipakai adalah polyester tak jenuh (Surdia, 2000).

Berdasarkan karakteristik termalnya matrik dapat dibagi menjadi dua yaitu matrik thermosetting dan matrik termoplastik. Ada dua macam resin thermosetting yang banyak digunakan saat ini, yaitu *epoxy* dan *polyester*. Resin *Unsaturated polyester (UP)* adalah matrik thermosetting yang banyak dipakai untuk pembuatan komposit serat (*fibrous composite*).

Matrik *Unsaturated polyester* memiliki sifat : ketahanan thermal lebih rendah dibandingkan dengan matrik thermosetting yang lainya dan ketahanan terhadap kelembaman lebih cukup baik.

Sifat resin ini adalah kaku dan rapuh. Mengenai sifat termalnya karena banyak mengandung *monomer stiren*, maka suhu *deformasi thermal* lebih rendah daripada resin *thermoset* lainya dan ketahanan panas jangka panjangnya adalah kira-kira 110-140<sup>0</sup> C. Ketahanan dingin adalah baik secara relatif. Sifat listriknya lebih baik diantara resin *thermoset*. Mengenai ketahanan kimianya, pada umumnya kuat terhadap asam kecuali asam pengoksid, tetapi lemah terhadap alkali. Bila dimasukan dalam air mendidih untuk waktu yang lama (30 jam), bahan akan pecah dan retak-retak. Bahan ini mudah mengembang dalam pelarut, yang melarutkan polimer stiren. Kemampuan terhadap cuaca sangat baik. Tahan terhadap sinar *ultra violet* bila dibiarkan di luar, tetapi sifat tembus cahaya permukaan rusak dalam beberapa tahun. Secara luas digunakan untuk

Penggunaan resin jenis ini dapat dilakukan dari proses *hand layup* sampai dengan proses yang kompleks yaitu dengan proses mekanik. Resin ini banyak digunakan dalam aplikasi komposit pada dunia industri dengan pertimbangan harga relatif murah, *curing* yang cepat, warna jernih, kestabilan dimensional dan mudah penanganannya (Billmeyer, 1984).

Pengsetan termal digunakan *Benzoil peroksida* (BPO) sebagai katalis. Temperatur optimal adalah 80-130<sup>0</sup> C, namun demikian kebanyakan pengesetan dingin yang digunakan. *Metyl Etyl Keton Peroksida* (MEKPO) digunakan sebagai katalis dan ditambahkan pada 1-2% (Surdia, 2001).

Tabel 2.2. Sifat resin yang umum digunakan

Resin	Massa jenis $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Modulus elastisitas E (MPa)	Modulus geser G (MPa)	Aspek rasio $\nu$	Tegangan tarik $\sigma$ (MPa)	Perpanjangan E (%)	Koefisien ekspansi termal $\alpha$ ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )	Koefisien konduksi termal $k$ (W/m $^{\circ}\text{C}$ )	Kapasitas panas $C$ (J/kg $^{\circ}\text{C}$ )	Penggunaan suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )
Epoxy	1200	4500	1600	0,4	130	2 (100 $^{\circ}\text{C}$ ) 6 (100 $^{\circ}\text{C}$ )	$11 \times 10^{-5}$	0,2	1000	90-200
Phenolic	1300	3000	1100	0,4	70	2,5	$1 \times 10^{-5}$	0,3	1000	120-200
Polyester	1200	4000	1400	0,4	80	2,5	$8 \times 10^{-5}$	0,2	1400	60-200
Polycarbonate	1200	2400		0,35	60		$6 \times 10^{-5}$		1200	120
Vinylester	1150	3300			75	4	$5 \times 10^{-5}$			>100
Silicone	1100	2200		0,5	35					100-350
Urethane	1100	700-7000			30	100				100
polyimide	1400	4000-19000	1100	0,35	70	1	$8 \times 10^{-5}$	0,2	1000	250-300
Polypropylene (pp)	900	1200		0,4	30	20-400	$9 \times 10^{-5}$		330	70-140
Polyphenylene sulfone (pps)	1300	4000			65	100	$5 \times 10^{-5}$			130-250
Polyamide (pa)	1100	2000		0,35	70	200	$8 \times 10^{-5}$		1200	170
Polyether sulfone (pes)	1350	3000			85	60	$6 \times 10^{-5}$			180
Polyetherimide (pei)	1250	3500			105	60	$6 \times 10^{-5}$	0,2		200
Polyether-etherketone	1300	4000			90	50	$5 \times 10^{-5}$	0,3		140-250

## 2.6 Post Cure

*Post cure* adalah perlakuan terhadap material komposit dengan suhu dan waktu tertentu sesuai dengan bahan matrik dan tipe jenis serat yang dipakai dalam material komposit. Perlakuan ini dilakukan dengan cara pengopenan pada material komposit, perlakuan ini dilakukan untuk mendapatkan material komposit benar-benar kering dari proses pencetakan yang material komposit berpenguat serat alam untuk mendapatkan *mechanical interlocking* (sifat mekanis ikatan) yang lebih baik antara serat dengan matrik dan meningkatkan viskositas campuran serat dengan matrik. Dalam penelitian ini perlakuan material komposit serat pelepah pisang/poliester menggunakan oven pemanas yang dibatasi antara suhu 40°C- 80°C.

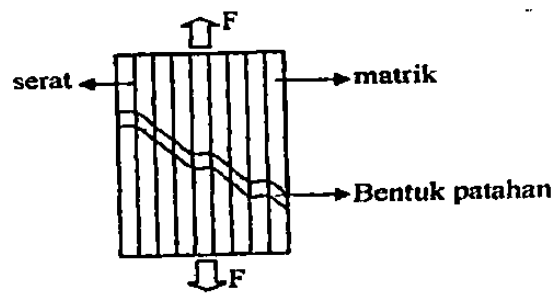
## 2.7 Mode Patah Material Komposit

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 thermal yang dapat terjadi selama fabrikasi atau dalam pemakaiannya. Kenyataan bahwa banyak faktor yang dapat menyebabkan proses retak pada komposit, maka tidaklah

... .. dapat diuji pada suatu sistem

### 2.7.1. Patah banyak

Ketika jumlah serat yang putus akibat beban tarik masih sedikit dan kekuatan *interface* masih baik, matrik mampu mendukung beban yang diterima dengan cara mendistribusikan beban tersebut kesekitarnya. 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 (Schwartz, 1984).



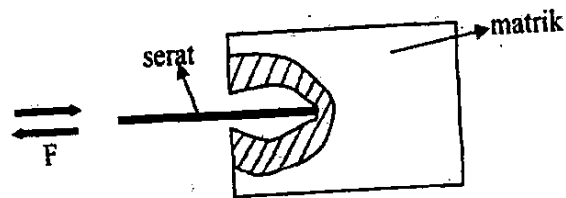
Gambar 2.3. Patah banyak  
(Schwartz, 1984)

### 2.7.2. Patah Tunggal

Patah yang disebabkan ketika serat putus akibat beban tarik dan matrik tidak mampu lagi menahan beban tambahan. Patahan terjadi pada satu bidang

### 2.7.3. Debonding

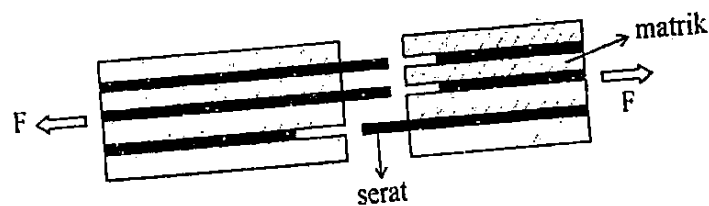
Adalah lepasnya ikatan pada bidang kontak matrik serat, disebabkan gaya geser yang tidak mampu ditahan oleh matrik (Schwartz, 1984).



Gambar 2.5. Debonding (Schwartz, 1984)

### 2.7.4. Fiber pull out

Adalah tercabutnya serat dari matrik yang disebabkan ketika matrik retak akibat beban tarik. Kemampuan menahan beban akan segera berkurang. Namun komposit masih mampu menahan beban walaupun beban yang mampu ditahan lebih kecil daripada beban maksimum. Saat matrik retak, beban akan ditransfer dari matrik ke serat di tempat 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 2.6. Fiber pull out (Schwartz, 1984)

## 2.8 Jenis Pembebanan Komposit

Ada dua jenis pembebanan komposit unidireksional, yaitu :

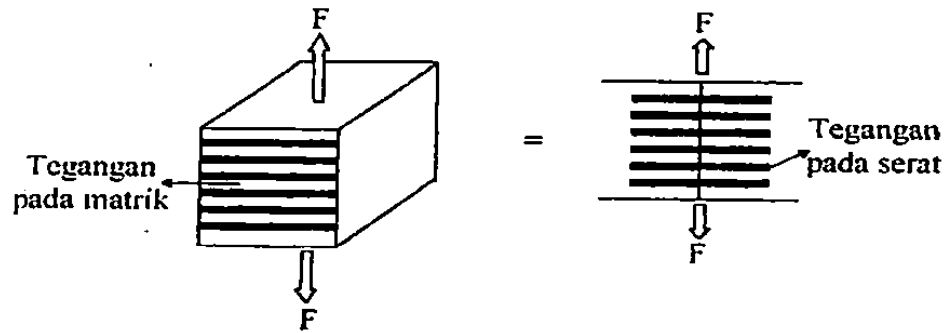
### 2.8.1. Isostrain

Gambar 2.5. mendeskripsikan regangan yang terjadi pada komposit akibat beban tarik. Regangan yang dialami oleh serat sama dengan regangan yang terjadi pada matrik (Jones, 1975). Secara matematis dapat ditulis :

$$\epsilon_f = \epsilon_m = \epsilon_{ct} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

- $\epsilon_f$  : Regangan pada serat
- $\epsilon_m$  : Regangan pada matrik
- $\epsilon_{ct}$  : Regangan pada komposit



Gambar 2.7. *Isostrain*  
(Jones, 1975)

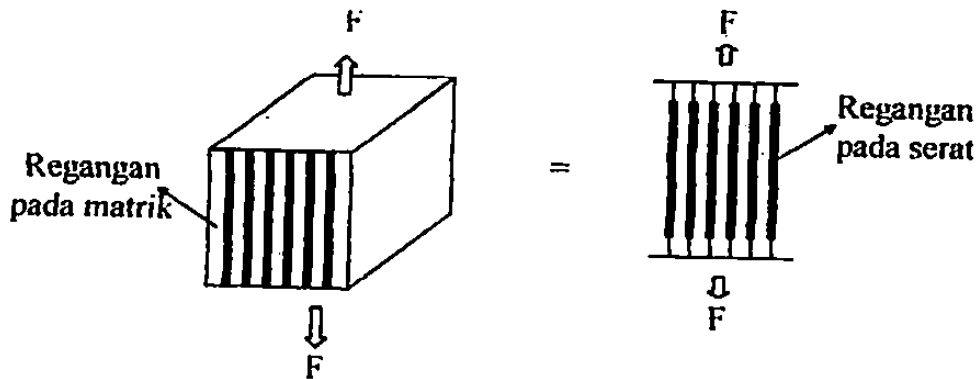
### 2.8.2. Isostress

Gambar 2.6. mendiskripsikan tegangan yang terjadi pada komposit akibat beban tarik. Tegangan yang dialami oleh serat besarnya sama dengan tegangan yang terjadi pada matrik (Jones, 1975). Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :



Keterangan :

- $\sigma_c$  : Tegangan pada serat
- $\sigma_f$  : Tegangan pada matrik
- $\sigma_m$  : Tegangan pada serat



Gambar 2.8. *Isostress*  
(Jones, 1975)

## 2.9 Sifat Fisis Komposit

Untuk mencari massa jenis material komposit dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

- Menentukan massa jenis komposit

$$\rho_c = \frac{m_c}{v_c} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$V_c = P \times \ell \times t$$

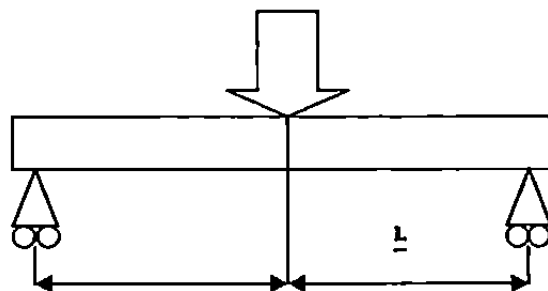
Keterangan :

- $\rho_c$  : massa jenis komposit ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
- $V_c$  : Volume Komposit ( $\text{cm}^3$ )
- $m_c$  : massa komposit dari hasil penimbangan (gr)
- $P$  : panjang material (cm)
- $\ell$  : lebar material (cm)
- $t$  : tebal material (cm)

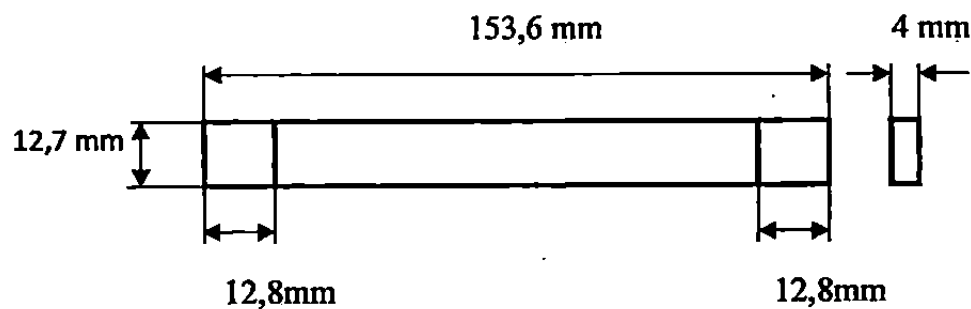


Pengujian ini dilakukan terhadap bahan getas dan untuk bahan liat dimaksudkan agar dapat menentukan adanya cacat dan retakan pada permukaan material. Pengujian bending dengan bahan keras dan getas adalah cara terbaik untuk menentukan kekuatan dan kegetasan.

Untuk mengetahui kekuatan bending dapat dilakukan pengujian dengan mesin uji *torsee*. Pada pengujian bending seperti yang ada di gambar 2.12 dan geometri spesimen benda uji pada gambar 2.13. Pada gambar 2.12 bagian atas spesimen akan mengalami tegangan tekan dan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik.



Gambar 2.9. Pemasangan benda uji



Gambar 2.10. Geometri mesin benda uji bending

- Menentukan besarnya kekuatan bending

$$\sigma_b = \frac{PL/4 \times 1/2 d}{bxd^{1/12}}$$

$$\sigma_b = \frac{12 PLd}{8bd^3}$$

$$\sigma_b = \frac{3 PLd}{2bd^3}$$

Pada perhitungan kekuatan bending ini, digunakan persamaan yang ada pada standar ASTM D790, sama seperti persamaan diatas, yaitu :

$$S = \frac{3 PLd}{2bd^3} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

- S : Tegangan Bending (MPa)
- P : Beban / *Load* (N)
- L : Panjang span / *Support Span* (mm)
- b : Lebar / *Widht* (mm)
- d : Tebal / *Depht* (mm)

- Menentukan regangan komposit

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan

- $\varepsilon$  : regangan
- $\Delta L$  : penambahan panjang (mm)
- L : panjang awal (mm)

- Menentukan modulus elastisitas komposit

**Keterangan :**

- $E_b$**  : Modulus Elastisitas Bending (MPa)
- L** : Panjang Span / Support Span (mm)
- b** : Lebar / Width (mm)
- d** : Tebal / Depth (mm)
- m** : Slope Tangent pada kurva beban defleksi (N/mm)