

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Maulida (2006) telah melakukan penelitian dengan membuat komposit polipropilena dengan pengisi serat daun pandan dan serat batang pisang. Polipropilena yang digunakan sebagai matrik terlebih dahulu dilarutkan dalam xylena pada temperature 160°C dengan konsentrasi polipropilena terhadap xylena 10, 20 dan 30%. Hasil penelitian menunjukkan kekuatan tarik komposit serat daun pandan lebih baik dibandingkan kekuatan tarik komposit serat batang pisang dengan ketebalan yang sama. Nilai kekuatan tarik tertinggi didapat pada konsentrasi polipropilena 30%.

Diharjo dkk (2007) dalam penelitiannya menyatakan kekuatan dan modulus tarik serat kenaf adalah sekitar 200-300MPa dan 20-30GPa, sedangkan uji tarik matrik poliester memiliki kekuatan tarik 50,70MPa dan modulus tarik 4,23GPa. Kekuatan kenaf menurun seiring dengan peningkatan waktu perendaman serat di dalam larutan alkali. Hal ini disebabkan oleh sifat larutan alkali yang mengikis lignin dan permukaan selulosa serat.

Ray dkk (2001) dalam penelitiannya *effect of alkali treated jute fibers on composite properties*, memperoleh hasil bahwa perlakuan alkali (5%NaOH) pada serat *jute* dapat meningkatkan kekuatan dari komposit serat *jute*. Tetapi durasi perlakuan serat yang terlalu lama dapat mengikis hemi selulosa pada serat *jute*, sehingga kekuatan serat *jute* menurun secara signifikan.

Thamae dan Baille (2007) serat yang diekstrak dari daun *agave Americana* tanpa direbus memiliki ISS lebih besar dibandingkan dengan daun yang direbus. Hal ini bisa disebabkan oleh stabilitas bahan dengan berat molekul rendah pada permukaan serat selama perebusan, sehingga antarmuka buruk dan karena kekasaran permukaan yang relatif tinggi serat dari daun tanpa direbus. Serat dari daun yang direbus memiliki kekuatan tarik lebih tinggi dari pada daun tanpa direbus. Mungkin

menghilangkan serat dari daun tanpa direbus membutuhkan banyak gaya dan menciptakan lebih banyak cacat pada bahan tersebut. Memperlakukan serat dari daun yang direbus dengan NaOH lebih meningkatkan kekuatan tarik sementara perlakuan silan setelah merserisasi tidak ada bedanya untuk kekuatan tarik merserisasi peningkatan stabilitas panas dari serat dengan timbulnya penuruna beralih ke level yang lebih tinggi.

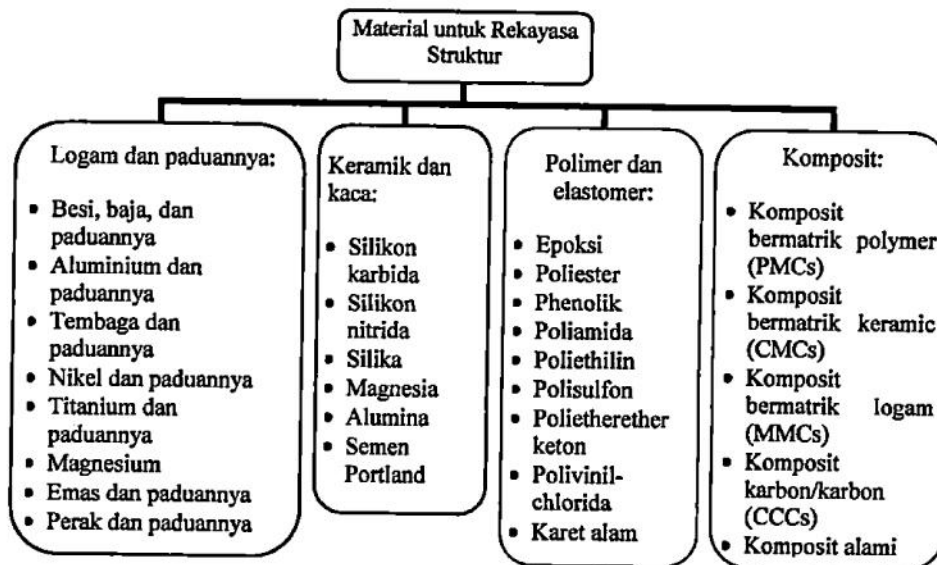
Dari beberapa penelitian di atas, dapat disimpulkan bahwa penelitian mengenai serat alam sudah banyak dilakukan. Namun, penelitian mengenai pengaruh lama proses deguming pada suhu tertentu terhadap kuat tarik serat pandan berduri bermatrik epoksi masih sangat sulit diperoleh. Maka dari itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut agar optimalisasi pemanfaatan serat pandan berduri dapat diperoleh sehingga akan sangat bermanfaat untuk pengembangan teknologi khususnya teknologi material.

## **2.2. Komposit**

### **2.2.1 Definisi Komposit**

Kata komposit (*Composite*) merupakan kata sifat yang berarti susunan atau gabungan. *Composite* ini berasal dari kata kerja "*to compose*" berarti menyusun atau menggabung. Jadi pengertian komposit adalah suatu sistem material yang merupakan campuran atau kombinasi dari dua atau lebih bahan pada skala makroskopis untuk membentuk material ketiga yang lebih bermanfaat (Jones, 1975).

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 untuk rekayasa struktur dapat dikelompokkan menjadi 4 kategori dasar yaitu: logam, polimer, keramik dan komposit (Gambar 2.1) memiliki sejumlah sifat yang tidak mungkin dimiliki oleh masing-masing komponennya (Schwartz, 1984).



Gambar 2.1 Ringkasan pengelompokan material untuk rekayasa struktur (Sudarisman, 2009).

Tujuan dari penggabungan material ini adalah untuk menemukan material baru yang mempunyai sifat yang lebih baik dari material penyusunnya. Komposit merupakan bahan multi fasa yang terbentuk secara alami. Matrik berfungsi sebagai pengikat serat. Serat inilah yang menentukan karakteristik komposit seperti kekuatan, keuletan, kekakuan dan sifat mekanik yang lainnya (Jones, 1975 ; Schwartz, 1984). Penggunaan bahan komposit serat sangat efisien dalam menerima beban dan gaya. Karena itu bahan komposit serat sangat kuat dan kaku bila dibebani searah serat, sebaliknya sangat lemah bila dibebani dalam arah tegak lurus serat.

### 2.2.2 Klasifikasi Komposit

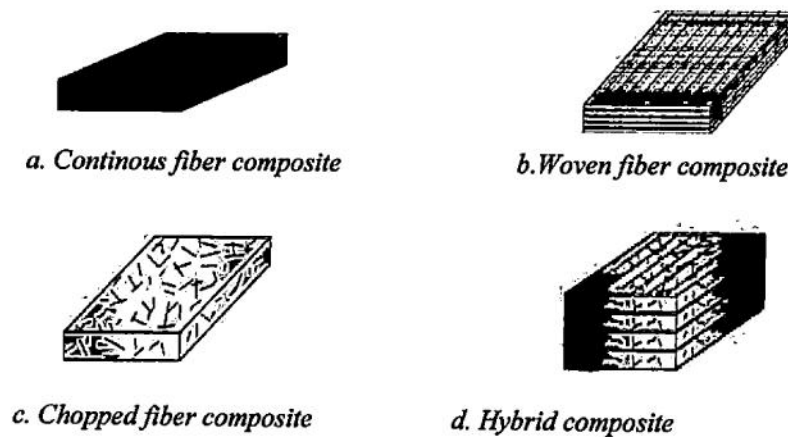
Menurut Jones (1975) secara garis besar komposit diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu: Komposit serat (*Fibrous Composites*), Komposit partikel (*Particulate Composites*), Komposit lapis (*Laminates Composites*).

#### 1. Komposit serat (*Fibrous Composites*).

Komposit serat merupakan jenis komposit yang paling banyak digunakan untuk struktur. Hal ini disebabkan serat lebih kuat daripada penguat partikel.

Komposit serat terdiri dari serat sebagai bahan penguat dan matrik sebagai bahan pengikat, pengisi volume dan pelindung serat-serat untuk mendistribusikan gaya atau beban antara serat-serat. Kekuatan komposit serat ditentukan oleh aktifitas ikatan kimia atau ikatan mekaniknya. Ikatan yang kurang baik antara serat dan matrik dapat menyebabkan kegagalan (Schwartz, 1984).

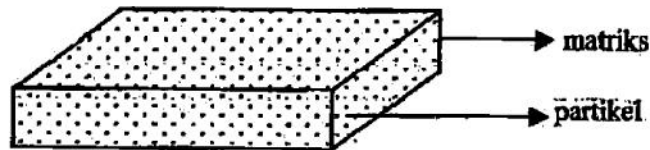
Lamina adalah kumpulan beberapa serat satu arah *unidirectional* atau *woven* berbentuk pelat yang sudah dibenamkan dalam matriks. Sebuah lamina biasanya terlampau tipis untuk dipergunakan langsung dalam aplikasi *engineering*. Beberapa lamina dapat disatukan bersama-sama membentuk suatu struktur yang diberi nama laminat. Sifat serta orientasi lamina dalam suatu laminat dipilih untuk bisa memenuhi persyaratan desain. Sifat-sifat laminat ditentukan oleh sifat lamina penyusunnya. contoh beberapa bentuk lamina dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Komposit Serat (Gibson, 1994)

## 2. Komposit Partikel (*Particulate Composites*)

Merupakan komposit yang menggunakan partikel serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriknya. Contoh komposit partikel dapat dilihat pada Gambar 2.3.

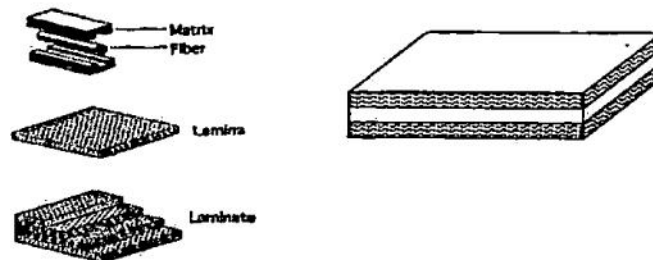


Gambar 2.3 *Particulate Composite* (Gibson, 1994)

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 dibenamkan 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).

### 3. Komposit Lapis (*Laminates Composites*).

Merupakan jenis komposit terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri. Dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 *Laminated Composites* (Gibson, 1994)

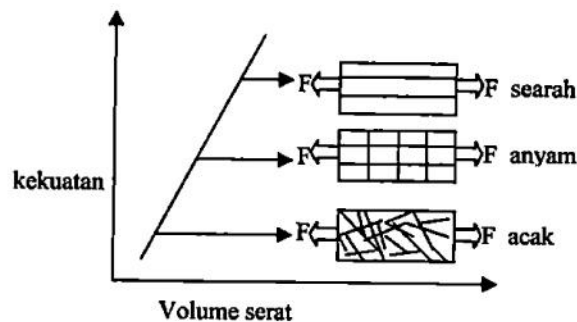
Laminat merupakan pelat yang terdiri dari dua atau lebih lapisan lamina yang digabung bersama membentuk struktur yang integral. Laminat dibuat agar elemen struktur mampu menahan beban *multiaksial*, sesuatu yang tidak dapat dicapai dengan lapisan tunggal. Lapisan tunggal hanya kuat pada arah seratnya,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

untuk beban *uniaksial*, sedangkan untuk menahan beban *multiaksial*, lapisan tersebut harus digabung dengan lapisan lain yang berbeda arah dengan lapisan yang pertama. 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 (Jones, 1999).

### 2.3. Material Pembentuk Komposit FRP (*Fiber reinforced plastik*)

#### 2.3.1. Serat

Serat merupakan material penguat pada komposit 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 (Schwartz, 1984). Gambar 2.5 dibawah menunjukkan bahwa semakin tinggi fraksi volume serat maka kecenderungan kekuatan komposit semakin tinggi.



**Gambar 2.5** Grafik hubungan antara kekuatan dan susunan serat (Gibson, 1994)

Serat secara umum terdiri dari 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 yang relatif seragam, kekuatan serat dapat diupayakan sama disepanjang serat. Serat

sintetis yang telah banyak digunakan antara lain: serat gelas, serat karbon, serat optik, serat nylon dan lain-lainya.(Jones, 1975).

Serat alami adalah serat yang dapat langsung diperoleh dari alam, biasanya berupa serat organik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan dan binatang. Serat ini telah banyak digunakan, diantaranya adalah : kapas, wol, sutera, aren, kelapa sawit, kenaf, flax, rami, ijuk, serat bambu, sabut kelapa dan lain-lainya. Serat alami mempunyai kelemahan yaitu ukuran serat yang tidak seragam, kekuatan serat sangat dipengaruhi oleh usia (Schwartz, 1984).

Kualitas serat alami pada umumnya sangat tergantung pada umur pohon, tempat menanam dan waktu memanennya, prosedur pemisahan serat dengan batang atau unsur bukan serat dan perlakuan yang diberikan. Pada Tabel 2.1 ditunjukkan komposisi kimia beberapa serat alam.

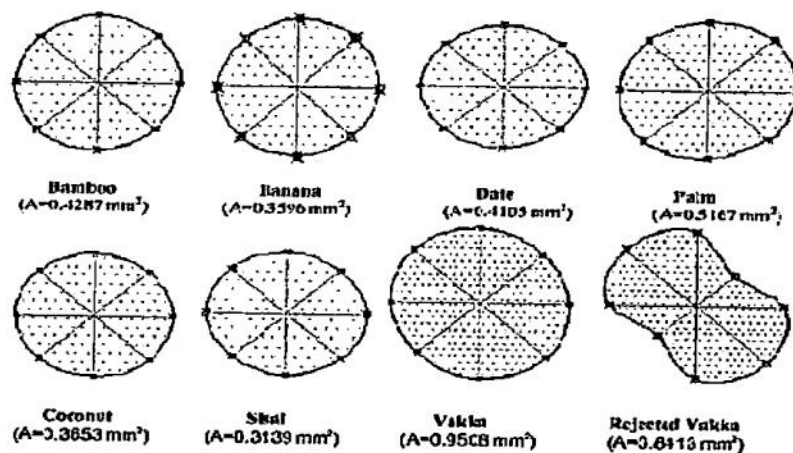
**Tabel 2.1** Komposisi unsur kimia serat alam

Serat	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)	Kadar air (%)
Encenggondok	64-51	15,61	7,69	92,6
Pisang	60-65	6-8	5-10	10-15
Sabutkelapa	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
Sunhemp	70-78	18 -19	4-5	10-11
Cotton	90	6	-	7

Sumber: Syafisab (2010) *Building Material and Technology Promotion Council (1998)*

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, pada 160<sup>0</sup>C -180<sup>0</sup>Cselama sampai dengan 45 menit kurang dari satu jam,

sehingga tersisa seratnya. Serat tersebut kemudian disisir dan dicuci sehingga bersih dari unsur bukan serat untuk mendapatkan kekuatan yang optimal serat harus dapat benar-benar kering (Pickering dkk, 2007). Kandungan air beberapa serat alami ditunjukkan dalam Tabel 2.2 bentuk penampang lintang serat alam pada umumnya tidak benar-benar bulat, namun ada unsur kelongongannya. Berbagai bentuk dan ukuran serat alam ditunjukkan pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Bentuk dan ukuran beberapa jenis serat alami (Rao, 2007)

Bentuk serat yang digunakan untuk pembuatan komposit tidak begitu mempengaruhi kekuatannya, yang mempengaruhi adalah diameter seratnya. Pada umumnya, semakin kecil diameter serat maka akan menghasilkan kekuatan komposit yang lebih tinggi serta semakin kecil kemungkinan terjadinya ketidak sempurnaan pada material. Selain bentuknya kandungan seratnya juga mempengaruhi kekuatan material komposit (Schwartz, 1984).



**Tabel 2.2** Kadar air dan masa jenis serat alami pada cuaca normal

Jenis Serat Alami	Kadar Air (%)	Massa Jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Jenis Serat Alami	Kadar Air (%)	Massa Jenis (kg/m <sup>3</sup> )
Pelepah Aren	12,09	810	Ijuk	12,8	1030
Daun Kurma	10,67	990	Sabut Kelapa	11,36	1150
Pelepah Kurma	9,55	960	Batang Pisang	10,71	1350
Bambu (Sisi Luar)	9,16	910	Sisal	9,76	1450
Bambu (Sisi Dalam)	10,14	890	---	---	---

Sumber: (Rao 2007)

Karena serat-serat tersebut pada umumnya tidak tahan suhu tinggi, maka matrik yang banyak digunakan adalah polimer, sehingga fabrikasi material kompositnya bisa dilakukan pada suhu relatif rendah (Van de Velde dan Kiekens, 2001).

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 konduktifitas kalor yang baik.

Kekurangannya adalah:

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

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). Sifat-sifat mekanik serat dapat dilihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Sifat mekanis beberapa jenis serat alam

Jenis Serat Alami	Kadar Air(%)	$\sigma$ (MPa)	$E$ (GPa)	$\sigma'$ (Mpa/(kg.m <sup>3</sup> ))	$E'$ (Gpa/(kg.m <sup>3</sup> ))
Pelepah Aren	3,46	549	15,85	0,6678	19,56
Daun Kurma	2,73	309	11,32	0,3121	11,44
Pelepah Kurma	24,00	459	1,91	0,4781	1,99
Bambu (Sisi luar)	1,40	503	35,91	0,5527	39,47
Bambu (Sisi dalam)	1,73	341	19,61	0,3831	22,10
Ijuk	13,71	377	2,75	0,3660	2,67
Sabut Kelapa	20,00	500	2,50	0,4348	2,17
Batang Pisang	3,36	600	17,85	0,4444	13,22
Sisal	5,45	567	10,40	0,3910	7,17

Sumber: (Rao, 2007)

### 2.3.1.1. Serat Daun Pandan Berduri

Pandan berduri (*pandanus tectorius*) merupakan salah satu jenis pandan yang hidup liar, tumbuh subur di daerah pesisir pantai dan tersebar luas di daerah terbuka dataran rendah. Pandan berduri terdapat di wilayah tropis, diketahui penyebarannya terdapat di wilayah Asia Tenggara. Serat daun pandan berduri didapat dengan cara merebus pada suhu 80°C selama 4 jam, sehingga serat dapat dengan mudah dipisahkan dengan bagian daun yang lain. Serat daun pandan yang digunakan pada penelitian berfungsi sebagai bahan penguat pada pembuatan komposit.

Pada awalnya dari daun pandan hanya dibuat barang kerajinan berupa tikar, seiring dengan waktu, kerajinan pandan dibuat menjadi berbagai macam bentuk, seperti tas, sandal, kotak hantaran, box file, topi, dan lain sebagainya. Daun pandan

terdapat hampir diseluruh Indonesia karena tumbuhan ini sangat mudah tumbuh, namun masih kurangnya penelitian di Indonesia tentang serat daun pandan membuat tumbuhan ini hanya di buat dalam bentuk kerajinan saja.

Keunggulan utama penggunaan serat alam dibandingkan dengan serat sintetis yaitu serat alam dapat terurai oleh kondisi lingkungan (*biodegradable*). Keunggulan tersebut yang mendorong peneliti untuk senantiasa meneliti dan mengembangkan pemanfaatan serat alam diberbagai sektor aplikasi.

## **2.4 Matrik**

### **2.4.1 Jenis-Jenis Matrik**

Matriks berfungsi sebagai penyelubung serat dari kerusakan atau abrasi yang terjadi antar serat, pelindung terhadap lingkungan (dari serangan zar kimia, kelembaban dan lain-lain), pendukung dan menginfiltrasi serat, mentransfer beban antar serat dan perekat serta penyetabil secara fisika dan kimia setelah proses manufaktur. Matriks dalam komposit berfungsi sebagai bahan pengikat serat, tidak diutamakan untuk menahan atau menerima beban. Menjadi sebuah unit struktur, melindungi dari perusakan eksternal, meneruskan atau memindahkan beban eksternal pada bidang geser antara serat dan matriks.

Matriks polimer paling banyak digunakan untuk memproduksi material komposit. Beberapa keuntungan menggunakan matriks polimer yaitu: murah, ringan, ketahanan kimiawinya tinggi serta pemrosesan untuk pembuatan produknya mudah. Adapun jenis polimer yaitu:

#### **1. Termoplastik**

Termoplastik merupakan jenis plastik yang dapat didaur ulang, yaitu dapat dicairkan dan dialirkan bila dipanasi sehingga dapat dibentuk atau membeku kembali bila pemanasannya dihentikan, bahan-bahan yang termasuk termoplastik antara lain : *Polysterene* (PS), *Polyethylene* (PE),

*Polypropylene (PP), Acrylonitril Butadine Styrene (ABS), Polymethyl Metacrylate ( PMMA atau Acrylik ), Polyester dll.*

## 2. Termosetting

Termosetting merupakan jenis plastik yang tidak dapat didaur ulang karena plastik jenis ini akan langsung mengeras dan menjadi arang jika dipanaskan. Plastik termosetting meliputi *Phenol Formaldehyde (PF), Urea Formaldehyde (UF), Melamine Formaldehyde (MF), Alkyds, Epoxy resin (EP), Polyurethane (PUR), Silicones* serta *Acrylic. Polycarbonat (PC), Teflon, PVC, Nylon, Cellulosics, Polyfluorocarbon, Styrene Acrylonitrile (SAN), Acetal.*

### 2.4.2 Epoksi

Resin ini mempunyai kegunaan yang luas dalam industri teknik kimia, listrik, mekanik dan sipil sebagai perekat, cat pelapis, pencetakan cor dan benda-benda cetakan. Resin epoksi bereaksi dengan pengeras dan menjadi unggul dalam kekuatan mekanik dan ketahanan kimia. Sifatnya bervariasi tergantung pada kondisi dan pencampuran pada pengerasnya (Harper, 1996).

Resin epoksi mempunyai keuntungan dan kekurangan (Harper, 1996) antara lain:

#### 1. Keuntungannya:

- a. Mempunyai sifat merekat yang baik untuk berbagai fiber
- b. Hampir semua plastik dapat melekat cukup kuat kecuali resin *silicon, Fluoresin, polietilen* dan *polipropilen*.
- c. Tidak ada efek samping terhadap suatu produk yang telah dibentuk atau dicetak.
- d. Mempunyai tingkat penyusutan volume yang rendah setelah dibentuk atau dicetak (saat *curing*) dan kestabilan dimensinya baik
- e. Tahan terhadap zat kimia dan stabil terhadap banyak asam
- f. Fleksibilitas dan kekuatan tinggi

g. Mempunyai sifat kelistrikan yang baik

h. Tahan terhadap korosi

2. Kekurangan:

a. Koefisien muai Thermal tinggi

b. Sensitif terhadap sinar *ultraviolet*

c. Menyerap embun

d. Sulit untuk dikombinasikan antara sifat ketangguhan (*toughness*) dan ketahanan terhadap temperature yang tinggi (*high temperature resistance*)

e. Lambat pada saat dibentuk (*slow curing*)

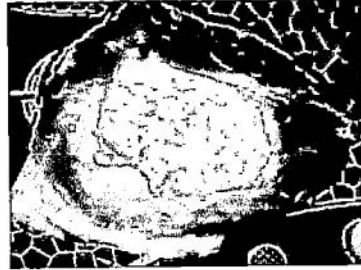
## 2.5 Alkali (NaOH)

Natrium hidroksida (NaOH) murni berbentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk pelet, serpihan, butiran, atau larutan jenuh 50%. Natrium hidroksida juga dikenal sebagai soda kaustik atau sodium hidroksida, adalah sejenis basa logam kaustik. Sifat alami serat alam adalah *hydrophilic*, yaitu suka terhadap air, berbeda dengan polimer yang bersifat *hydrophobic*. Pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat permukaan serat alam *selulosa* telah diteliti dan bahwa kandungan optimum air mampu direduksi sehingga sifat alami *hidrophilic* serat dapat memberikan ikatan *interfacial* dengan matrik secara optimal. NaOH merupakan larutan basa yang tergolong mudah larut dalam air dan termasuk basa kuat yang dapat terionisasi dengan sempurna. NaOH juga bersifat lembab cair dan secara spontan menyerap karbon dioksida dari udara bebas. Menurut teori *Arrhenius*, basa adalah zat yang dalam air menghasilkan ion  $\text{OH}^-$  dan ion positif (Bismarck dkk, 2002) Gambar 2.7 menunjukkan contoh serpih alkali NaOH.

Penggunaan NaOH selain untuk komposit diantaranya:

1. Digunakan sebagai basa dalam proses produksi bubur kayu.
2. Sebagai larutan *Fehling* penguji makanan sebagai penguji larutan basa.

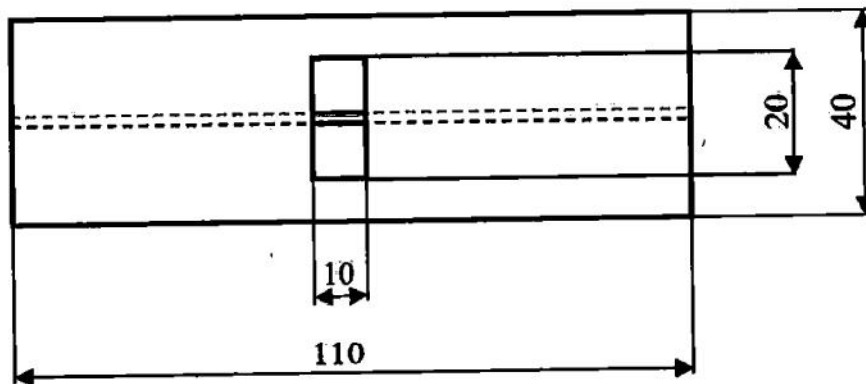
3. Digunakan sebagai basa pada proses produksi tekstil, air minum, sabun, dan detergen.



Gambar 2.7 Serpih Alkali (NaOH)

#### 2.6. Pembebanan Tarik

Pada pengujian tarik sifat-sifatnya sangat dipengaruhi oleh laju tarikan. Sifat-sifatnya juga berubah karena temperatur, oleh karena itu dalam hal ini perlu perhatian yang cukup sebelum penggunaan bahan epoksi. Bentuk spesimen ditunjukkan pada Gambar 2.8. Uji tarik bertujuan mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Dengan pengujian tarik dapat diketahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tarikan dan mengetahui sejauh mana material bertambah panjang.



Gambar 2.8 Bentuk specimen, ukuran milimeter. (Fidelis, of at, 2013) dengan modifikasi ukuran

Pada pengujian ini bila seratnya patah maka akan di peroleh kuat tarik serat, sedangkan bila seratnya tercabut maka akan di peroleh kuat geser rekatan antar muka serat-matrik. Besarnya tegangan geser dari material komposit dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

### 1. Tegangan Tarik ( $\sigma$ )

Besarnya tegangan tarik dari material komposit dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

$\sigma$  = tegangan tarik (MPa)

$P$  = beban tarik maksimum (N)

$A$  = luas penampang ( $\text{mm}^2$ )

### 2. Modulus Elastisitas (E)

Besarnya modulus elastisitas dari material komposit dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

$E$  = modulus elastisitas

$\sigma$  = tegangan

$\varepsilon$  = regangan

### 3. Regangan ( $\epsilon$ )

Besarnya regangan dari material komposit dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

$\epsilon$  = regangan

$\Delta L$  = perubahan panjang

$L_0$  = panjang awal