

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian pada material komposit sudah mulai banyak dilakukan dengan jenis parameter serta variasi yang berbeda. Kegunaan material komposit sangat berpengaruh dalam industri manufaktur maupun otomotif, karena material komposit mempunyai sifat mekanis yang lebih baik dari material logam sehingga untuk kedepannya diharapkan dapat digunakan sebagai bahan alternatif pengganti material logam

Effendi, dkk (2015) melakukan penelitian tentang pipa komposit serat batang pisang *polyester* yang disusun dua lapis terhadap pengujian tarik dengan variasi temperatur ruang uji. Serat pisang yang digunakan dalam penelitian ini berupa serat pisang kepok, pengambilan serat dengan perendaman menggunakan air dalam waktu satu bulan, penjemuran pada temperatur ruang selama 24 jam dengan panjang serat yang direndam sebesar 100 cm. Serat pisang diberi perlakuan menggunakan *kalium permangante* ( $KMnO_4$ ) kadar 2% air per satu liter aquades, dengan lama perendaman selama 2 jam. Pembuatan komposit menggunakan resin *polyester* dengan metode *hand lay-up* hingga dua lapis pada orientasi serat  $25^\circ/-25^\circ$ . Komposit akan dilakukan uji tarik dengan mengacu standard ASTM D 2105 pada variasi pada temperatur  $35^\circ C$ ,  $45^\circ C$  dan  $55^\circ C$ . Dari penelitian tersebut menghasilkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas pada temperatur ruang sebesar  $0,3998 \text{ N/mm}^2$  dan  $0,4442 \text{ N/mm}^2$ , pada temperatur ruang uji  $35^\circ C$  sebesar  $0,7618 \text{ N/mm}^2$  dan  $0,3809 \text{ N/mm}^2$ , pada temperatur ruang uji  $45^\circ C$  sebesar  $0,403 \text{ N/mm}^2$  dan  $0,178 \text{ N/mm}^2$ , pada temperatur ruang uji  $55^\circ C$  sebesar  $0,3792 \text{ N/mm}^2$  dan  $0,1517 \text{ N/mm}^2$ . Nilai kekuatan tarik terbesar terdapat pada temperatur ruang uji  $35^\circ C$  hal itu dikarenakan terdapat ikatan antara serat dan resin (*bonding*) yang merekat dengan baik sehingga kekuatan tegangan lebih besar, selain itu jika temperatur ruang uji semakin tinggi maka *void* dapat mengembang yang menyebabkan turunnya nilai kekuatan tarik.

Rochardjo (2017) melakukan penelitian tentang manufaktur pada rangka sepeda balap menggunakan serat karbon bermatriks epoksi dengan metode *warpped on foam*. Desain *frame* sepeda terpotong menjadi 3 komponen yaitu main *triangle*, *chain stay*, *seat stay* dan komponen tambahan yaitu *real dropout* kanan kiri menjadi satu cetakan. Resin yang dilakukan menggunakan resin epoksi dengan perbandingan 1:2 dengan hardener yang lebih sedikit agar mengering lebih lama sehingga akan memudahkan pemasangan karbon yang memerlukan waktu yang cukup lama. Proses fabrikasi dilakukan dengan pemberian resin ke serat karbon, kemudian serat karbon dililitkan ke *body core* yang terbuat dari *foam* (*Necuron 651*). Untuk mendapatkan *frame* sepeda dengan tebal 2 mm, dibutuhkan lapisan serat karbon anyaman sebanyak 6 lapis. Proses *post curing* dilakukan dengan mengoven pada suhu 120°C selama 1 jam. Dari hasil fabrikasi dihasilkan *frame* sepeda dengan berat sebesar 2,89 kg, selanjutnya *frame* sepeda akan dilakukan pengujian tarik secara utuh dari semua komponen *frame*. Dari hasil pengujian tarik diperoleh modulus elastisitas pada *frame* sebesar 129,9 Gpa dan kekuatan tarik sebesar 2006,4 Mpa. Perlakuan *post curing* dapat membuat meningkatnya kekakuan dan kekuatan komposit menjadi cukup tinggi dibandingkan dengan aluminium dan baja, dimana kekakuan dan kekuatannya berturut-turut adalah 69 Gpa dan 310 Mpa untuk aluminium, 200 Gpa dan 1030 Mpa untuk baja.

Lakshmi, dkk (2015) melakukan penelitian tentang desain manufaktur rangka sepeda balap berbahan komposit. Penelitian ini diawali dengan membuat metode CAD software 3D hingga fabrikasi komposit. Analisa software 3D dilakukan dengan membuat desain komponen *head tube*, *top tube*, *bottom tube*, *chain stays*, *seat stays* dan *bottom bracket shell* yang dibentuk menjadi satu bagian, selanjutnya membuat tiap komponen rangka sepeda menggunakan serat *e-glass/epoxy* dengan metode *hand layup*. Tiap komponen dibuat dengan panjang 140 mm, diameter dalam 23 mm dan variasi tebal 3 mm dan 4mm pada orientasi serat 45°. Setelah proses fabrikasi selesai, selanjutnya tiap-tiap komponen digabung menjadi satu menggunakan resin dan selanjutnya dilakukan proses pengujian tekan. Dari hasil proses fabrikasi diperoleh berat *frame* sepeda sebesar 2,5kg. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh nilai kekuatan

tekan tertinggi pada variasi ketebalan 3mm sebesar 76,02 N/mm<sup>2</sup>, sedangkan pada variasi ketebalan 4 mm kekuatan tekan mengalami penurunan nilai tegangan tekan sebesar 71,45 N/mm<sup>2</sup>.

Kumar dan madhuri (2017) melakukan penelitian tentang desain dan fabrikasi *frame* sepeda menggunakan serat *e-glass* anyaman, pembuatan *frame* sepeda dilakukan pada 3 komponen yaitu *top tube*, *down tube* dan *seat tube* yang dibentuk secara terpisah, selanjutnya akan dilakukan pengujian tekan dan tarik. Fabrikasi komposit dilakukan dengan metode *pressure bag moulding* dengan cara menempelkan serat yang telah diolesi resin epoksi ke dalam cetakan, kemudian cetakan dimasukan kedalam suatu wadah yang elastis dan dilakukan pemberian tekanan udara sebesar 30 psi selama 45 menit, fabrikasi komposit diperoleh spesimen dengan ketebalan 0,4 cm dengan orientasi serat 0°. Berikut dimensi pembuatan komponen *frame* sepeda sebagai berikut:

Tabel 2.1 Ukuran spesimen rangka sepeda komposit, (Kumar 2017)

Jenis rangka	Panjang <i>tube</i> (cm)	Diameter luar (cm)	Diameter dalam (cm)	Tebal (cm)
<i>Down tube</i>	65	3	2,2	0,4
<i>Seat tube</i>	52	3	2,2	0,4
<i>Top tube</i>	60	3	2,2	0,4

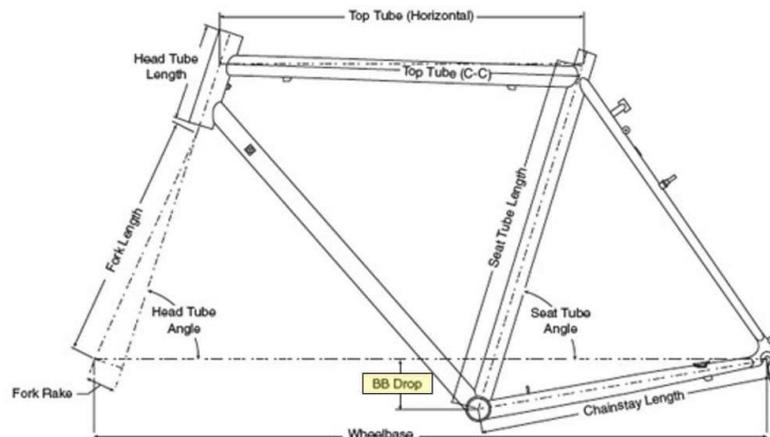
Dari hasil penelitian tersebut didapat nilai tegangan tarik pada *frame down tube* sebesar 2,14 N/mm<sup>2</sup>, nilai tegangan tarik pada *frame top tube* sebesar 2,6 N/mm<sup>2</sup> dan nilai tegangan tekan pada *frame seat tube* sebesar 2,6 N/mm<sup>2</sup>.

Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan oleh effendi, (2015) bahwa nilai rata-rata pengujian tarik tabung komposit yang menggunakan serat alam masih lebih rendah dibandingkan sengan serat sintetis. Penelitian yang dilakukan oleh kumar dan madhuri, (2017) dapat disimpulkan bahwa pembuatan komposit untuk aplikasi *frame* sepeda yang hanya menggunakan penekanan udara sebesar 30 psi menggunakan *vacuum bagging* masih lebih rendah, sehingga perlu dilakukan proses *curing* atau *post curing* agar komposit memiliki kepadatan yang lebih baik. Penelitian yang dilakukan oleh rochardo, (2017) dan lakshmi, (2015) dapat disimpulkan bahwa nilai modulus

elastisitas atau sifat kekakuan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan peredaman getaran sepeda menjadi kurang optimal, sehingga menyebabkan kurangnya kenyamanan pada saat bersepeda.

## 2.2 *Frame Sepeda*

Frame sepeda merupakan komponen utama pada sepeda, dimana roda dan komponen lainnya dipasang secara utuh. *Frame* sepeda klasik terdiri dari dua segitiga, yaitu segitiga utama dan segitiga belakang berpasangan yang digabung membentuk *frame* dengan bentuk dua segitiga. Pada sepeda modern, *frame* sepeda tidak hanya didesain untuk keselamatan dan kekuatan saja, tetapi didesain untuk menjadi performa yang maksimal dan bentuk yang beraneka ragam. Kemunculan material komposit untuk membuat *frame* sepeda yang lebih kuat dan ringan, juga membuat desain *frame* sepeda yang lebih fleksible, tidak harus terpaku untuk membentuk struktur yang kuat, tetapi bisa diarahkan untuk performa yang baik tanpa mengurangi kekuatan spesifik pada *frame* tersebut. *Frame* sepeda mempunyai empat faktor utama yang perlu diperhatikan seperti kekakuan, kekuatan, kekuatan retak, dan berat. *Frame* sepeda terdiri dari berbagai komponen-komponen pokok yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Geometri *frame* sepeda

Sumber: sepeda.me.

*Frame* sepeda mempunyai 6 komponen pokok seperti *top tube*, *down tube*, *seat tube*, *head tube*, *seat stay* dan *chain stay* yang dapat tersusun menjadi satu bagian utuh. *Frame* sepeda mempunyai spesifik jenis material yang dapat digunakan sesuai

kebutuhannya seperti baja, titanium, komposit serat karbon, komposit serat kevlar dan komposit serat *glass*. Berikut ini standar material yang dapat digunakan untuk *frame* sepeda ditunjukkan pada tabel 2.1.

**Tabel 2.2** Spesifikasi sifat mekanis material *frame* sepeda, (*ASM Handbook 1997*).

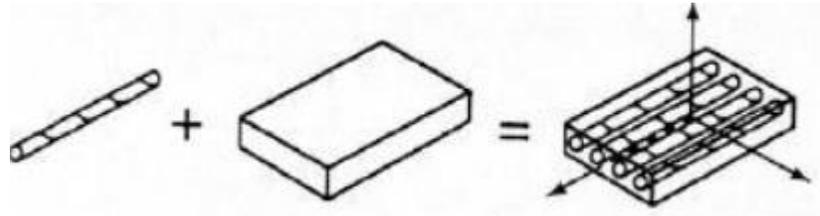
Material	<i>Tensile strength</i> (Mpa)	<i>Yield strength</i> (Mpa)	<i>Young's modulus</i> (Gpa)	<i>Toughness</i> MN m <sup>-3/2</sup>	<i>Density</i> (Mg/m <sup>3</sup> )
Steel 1020	380	200	210	140	7,8
Ti-alloy	950	910	100	85	4,5
CFRP	550	200	56	38	1,5
KFRP	1380	621	76	39	1,4
GFRP	530	125	26	40	1,8

### 2.3 Komposit

Komposit merupakan suatu material yang tersusun dari dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanis masing-masing material berbeda. Dari campuran tersebut terbentuk material baru yang memiliki sifat-sifat yang lebih baik dari material pembentuknya, (Matthews 1993).

Secara umumnya serat yang tersusun seperti serat anyam mempunyai kekuatan yang lebih baik dibanding serat dengan bentuk acak, karena struktur serat tersusun sempurna dan cacat *internal* pada serat lebih sedikit dibanding serat acak. Bahan pengikat serat dalam material komposit disebut dengan matrik. Matrik berfungsi sebagai penguat serat dari kerusakan akibat pembebanan, sebagai pelindung terhadap pengaruh lingkungan dan perekat serat agar tetap stabil. Material komposit terbentuk dari dua jenis komponen yaitu serat dan matrik, kedua material tersebut saling berhubungan serta memiliki fungsi masing-masing. Serat berfungsi sebagai penahan beban dari benturan, sehingga kekuatan material komposit tergantung dari kekuatan pembentuknya sedangkan matrik berfungsi untuk melindungi serat dan mentransfer

tegangan ke serat. Ilustrasi ikatan dan sifat fisik komposit ditunjukkan pada Gambar 2.2



**Gambar 2.2** Komposisi komposit, (Rijswijk 2002).

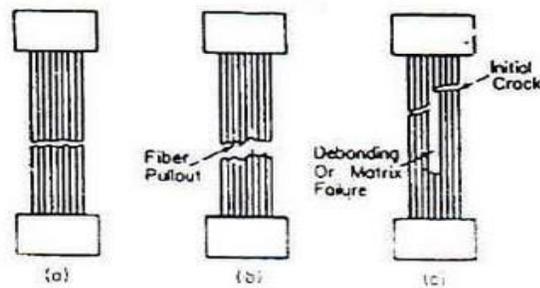
#### 2.4 Modus Kegagalan Komposit

Dalam hal ini kerusakan internal mikroskopik (yang tidak dapat diamati mata) dapat terjadi jauh sebelum kerusakan nyata terlihat. Kerusakan mikroskopik ini terjadi dalam beberapa bentuk, seperti:

1. Patah pada serat (*fiber breaking*)
2. Retak mikro pada matriks (*matrix microcrack*)
3. Terkelupasnya serat matriks (*debonding*)
4. Terpisahnya lamina satu sama lain (*delamination*)

Jika serat yang patah semakin banyak maka terdapat tiga kemungkinan, seperti:

1. Jika serat mampu menahan gaya geser dan meneruskan ke serat sekitar, maka serat yang patah akan semakin banyak. Hal ini akan menyebabkan terjadinya retakan, patahan ini disebut patah getas (*brittle failure*) seperti pada gambar 2.3a.
2. Jika matriks tidak mampu menahan konsentrasi tegangan geser yang timbul diujung, maka serat dapat terlepas dari matriks (*debonding*) dan komposit akan rusak tegak lurus searah serat seperti pada gambar 2.3b.
3. Kerusakan yang terjadi disembarang tempat disertai dengan kerusakan matriks, maka kerusakan yang terjadi berupa patahan seperti sikat (*brush type*) seperti pada gambar 2.3c.



**Gambar 2.3** Kerusakan komposit akibat beban tarik longitudinal (a) *brittle failure* (b) *debonding* (c) *brush type*, (Adiyono 1996).

## 2.5 Resin Epoksi

Epoksi termasuk jenis resin termoset yang berfungsi sebagai perekat, pelapis dan sekaligus matrik. Aplikasi dari resin epoksi terdapat pada bidang (automotif, *aerospace*, perkapalan, dan peralatan elektronik). Resin epoksi memiliki sifat yang baik dalam reaksi kimia, konduktivitas termal, konduktivitas listrik, tahan korosi yang baik, kekuatan tarik dan kekuatan bending yang cukup baik. Proses pembuatannya dapat dilakukan pada suhu kamar dengan memperhatikan polimerisasi jaringan silang agar dihasilkan sifat yang optimum. Resin epoksi mempunyai karakteristik yang dapat dijadikan acuan untuk fabrikasi komposit antara lain:

1. memiliki kemampuan mengikat paduan metalik yang baik, hal ini dikarenakan adanya hidroksil yang berfungsi membentuk ikatan hydrogen. Hidroksil juga dimiliki oleh oksida metal, sehingga pada kondisi normal menyebar pada permukaan logam.
2. Penggunaan resin epoksi sebagai matrik dibatasi oleh ketangguhan yang rendah dan cukup rapuh. Resin epoksi memiliki temperatur transisi pada temperatur 50°C sampai temperatur 180°C.

Pada umumnya resin epoksi memiliki beberapa kelebihan seperti tahan korosi, bersifat hidrofobik, dielektrik yang baik sedangkan kekurangan resin epoksi seperti mudah mengalir penuaan (*ageing*), degradasi permukaan akibat tegangan thermal dan resin epoksi bersifat getas. Resin epoksi mempunyai spesifikasi yang dapat digunakan sebagai acuan dalam pembuatan komposit yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.3** Spesifikasi resin epoksi, (Surdia 1995).

Sifat-sifat	Nilai
Massa jenis (Gram/cm <sup>3</sup> )	1,1
Penyerapan air di suhu ruang (°C)	0,2
Kekuatan tarik (Kgf/mm <sup>2</sup> )	5,95
Kekuatan tekan (Kgf/mm <sup>2</sup> )	14
Kekuatan lentur (Kgf/mm <sup>2</sup> )	12
Temperatur percetakan (°C)	90
Temperatur <i>resistance</i> (°C)	140 - 220
Temperatur <i>trasnsisi glass</i> (°C)	180

Resin epoksi mengandung struktur epoksi atau oxirene. Resin ini berbentuk cairan kental atau hampir padat, yang digunakan untuk material ketika hendak dikeraskan. Resin epoksi jika direaksikan dengan hardener yang akan membentuk polimer crosslink. Hardener untuk sistem curing pada temperatur ruang dengan resin epoksi pada umumnya adalah senyawa poliamid yang terdiri dari dua atau lebih grup amina. Curing time sistem epoksi bergantung pada kereaktifan atom hidrogen dalam senyawa amina. Epoksi memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dari pada polyester pada keadaan basah, namun tidak tahan terhadap asam. Epoksi memiliki sifat mekanik, listrik, kestabilan dimensi dan penahan panas yang baik. Proses pembuatannya dilakukan pada suhu kamar dengan memperhatikan zat zat kimia yang digunakan sebagai pengontrol polimerisasi jaringan silang agar didapatkan sifat optimim bahan, (Hartomo 1992).

## 2.6 Fiberglass

*Fiberglass* merupakan bahan yang sering digunakan dalam pembuatan komposit polimer. Serat *glass* banyak digunakan dalam bidang komposit karena serat *glass* memiliki beberapa sifat seperti tidak mudah terbakar, isolasi listrik yang baik dan memiliki kekuatan tarik yang tinggi. Walaupun harga serat *glass* lebih murah 10x lipat dibanding serat karbon, namun kekuatan tarik serat karbon tidak jauh berbeda dari serat

*glass*. Berikut tabel perbandingan harga dan standard sifat mekanis serat kontinyu *e-glass* dan serat *carbon* pada tabel 2.3

**Tabel 2.4** Sifat *e-glass fiber* dan *carbon fiber*, (Calliester 2007).

Jenis serat kontinyu	Properties		
	Massa jenis (g/cm <sup>3</sup> )	Kuat tarik (Mpa)	Modulus elastis (Gpa)
<i>E-glass fiber</i>	2,3	3450	72,5
<i>Carbon fiber</i>	1,78	3800 – 4200	230

Serat *glass* dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Serat *c-glass*, memiliki sifat tahan terhadap korosi yang baik, tetapi kekuatan *c-glass* lebih rendah dari *e-glass*.
2. Serat *e-glass*, kandungan serat *e-glass* berupa kalsium, alumunium hidroksida, borosilikat, pasir silika serta mempunyai kandungan alkali yang rendah. Selain itu juga mempunyai kekuatan tarik yang baik, kekuatan tekan dan geser yang baik namun termasuk sifat material yang cukup getas.

**Tabel 2.5** Sifat-sifat serat *e-glass* dan *s-glass*, (Callister 2007).

Sifat	<i>e-glass</i>	<i>s-glass</i>
Massa jenis (g/cm <sup>3</sup> )	2,3	2,4
Koefisien muai termal (x10 <sup>6</sup> °C)	4,7	5,6
Kuat tarik pada 22°C (Mpa)	3450	4585
Modulus tarik pada 22°C (Mpa)	72,4	85,5
Perpanjangan luluh (%)	4,8	5,7

Pembentukan serat *glass* dibuat dalam berbagai bentuk penyusunnya, karena setiap bentuk serat memiliki sifat mekanisnya yang berbeda-beda. Salah satu bentuk serat *glass* yang sering digunakan dalam bidang rangka yaitu bentuk anyaman (*woven roving*) karena serat anyaman mempunyai susunan yang rapi dibanding bentuk serat yang lainnya. Serat anyaman (*woven roving*) merupakan lembaran serat yang dianyam

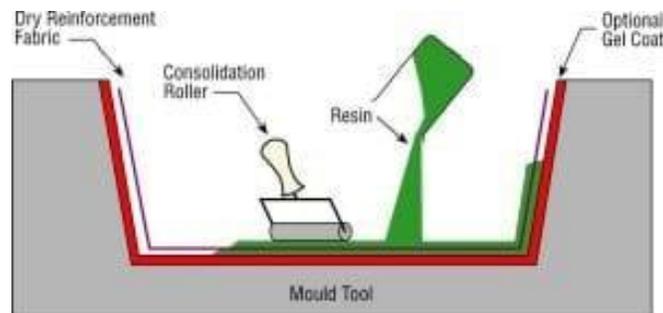
dari beberapa serat *continuous roving*. Bentuk serat ini memiliki kekuatan yang tinggi dan banyak digunakan pada proses *hand lay-up* untuk pembuatan tangki kapal dan body mobil. Bentuk serat *woven roving* ditunjukkan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.4** *Fiberglass woven roving*  
sumber: fibreglast.com.

### 2.7 Metode *Hand lay-up*

Metode *hand lay-up* merupakan metode yang paling mudah dan paling murah jika dibandingkan dengan metode yang lain. Dimana proses pembuatan secara manual menggunakan tangan, sehingga kualitas yang dihasilkan sesuai keahliannya. Karakteristik dari metode *hand lay-up* yaitu menghasilkan *void* yang besar, ketebalan produk sulit diatur, serat dapat bervariasi dan murah. Salah satu faktor penyebab rendahnya sifat mekanik pada metode *hand lay-up* adalah karena tidak meratanya distribusi resin yang membuat terjadinya *void* atau kekosongan pada komposit, (Zhu 2011). Proses *hand lay up* ditunjukkan pada Gambar 2.4



**Gambar 2.5** Metode *hand lay-up*, (Rodrigues 2016)

## 2.8 Tabung GFRP

*Glass Fiber Reinforced Plastic* (GFRP) merupakan suatu material yang terbuat dari campuran serat glass dengan resin *epoxy* atau *polyester* yang dibentuk tabung/pipa. Karakteristik dari tabung GFRP tergantung dari jumlah lapisan serat, tipe serat yang digunakan, orientasi serat dan pemilihan jenis resin yang tepat agar tabung GFRP dapat menghasilkan sifat mekanis yang maksimal. Secara umum ekspansi thermal memiliki pengaruh penting dalam analisa tegangan pada tabung GFRP, karena sifat fiberglass mempunyai modulus elastisitas yang rendah sehingga dapat berekspansi 2-3 kali lebih panjang dari pada ekspansi pipa metalik pada temperatur yang sama. Penggunaan tabung/pipa dari komposit *fiberglass* dibanding *carbon steel* dalam bidang industri sudah banyak dilakukan, hal ini dikarenakan sifat mekanis komposit *fiberglass* yang dapat diatur sesuai keinginan dan tahan terhadap korosi lingkungan. Berikut ini kelebihan dan kekurangan tabung GFRP dibanding tabung *carbon steel* sebagai berikut:

### 1. kelebihan GFRP dibanding *carbon steel*

- Kekuatannya bisa diatur
- Tahan korosi, baik bagian dalam tabung maupun bagian luar.
- Jauh lebih ringan dibanding *carbon steel*, sehingga cocok untuk digunakan di struktur yang mempertimbangkan berat.
- Tahan terhadap geseran/friksi.

### 2. kekurangan GFRP dibanding *carbon steel*

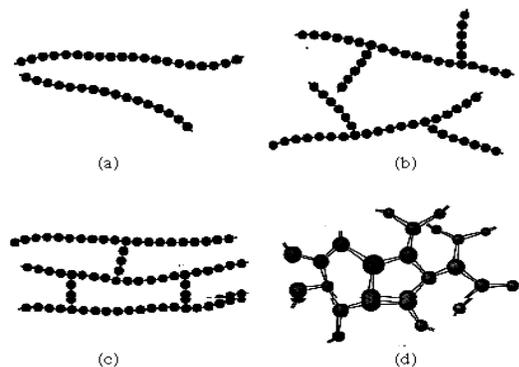
- Jika terjadi lubang atau patahan pada tabung GFRP, maka penambalan pipa komposit dilakukan dengan disambung dengan pipa baru secara laminating atau dithread dengan *flange*.

## 2.9 Proses Curing dan Post Curing

Inti mekanisme proses curing adalah terjadinya crosslink, reaksi *crosslink* pada resin *epoxy* terjadi pada saat campuran resin dan penguat telah dimasukkan kedalam cetakan dan *Crosslinking* terjadi pada temperature tinggi (100°C) tetapi tidak boleh

melebihi batas transisi temperatur yang menyebabkan komposit menjadi lunak. Material komposit yang telah terjadi proses *curing* akan menjadi lebih padat dan meningkatnya kekuatan, kekakuan dan kekerasan karena memiliki ikatan *crosslink* yang baik sehingga material tersebut tidak dapat dilelehkan kembali. Saat proses *curing* dilakukan pada temperatur tinggi, maka molekul resin akan menerima lebih banyak *energy*. Hal ini menyebabkan meningkatnya pergerakan molekul-molekul matrik sehingga akan memiliki banyak waktu untuk membentuk susunan rantai *polymer* yang lebih teratur, (Ritonga 2014).

Proses *curing* yang sempurna terjadi pada temperature tinggi, seiring dengan meningkatnya temperature *curing* maka aktivitas molekul dan polimerisasi juga meningkat. Proses *curing* dapat mengurangi terjadinya rongga (*voids*) sehingga akan menghasilkan material komposit yang berkualitas baik. Proses *curing* diatas suhu kamar dapat dilakukan menggunakan *oven*, *hot oil*, *lamp method*, *steam method*, *microwave* dan metode lainnya, (Malau 2010). Tipe rantai polimer ditunjukkan pada Gambar 2.5



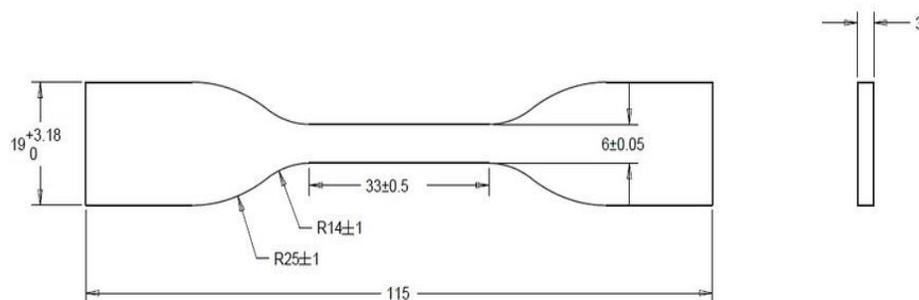
**Gambar 2.6** Tipe rantai polimer (a) *Linear*, (b) *Branched*, (c) *cross-linked*, (d) *network*, (Ritonga 2014).

Proses *post curing* merupakan suatu proses yang bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat yang dimiliki oleh komposit. *Post curing* dilakukan dengan cara memanaskan suatu spesimen komposit pada temperatur tertentu, tetapi tidak boleh melebihi sampai *glass transition temperature* ( $T_g$ ) karena jika melebihi batas  $T_g$  akan menyebabkan material komposit menjadi ulet dan jika *temperature* ditingkatkan lagi akan mengakibatkan material komposit menjadi leleh hingga mencair. Pada saat proses

*post curing*, molekul-molekul material pada kondisi ini akan menerima lebih banyak energy dan meningkatkan pergerakan molekul-molekul tersebut. Molekul-molekul tersebut tersusun ulang dan membentuk ikatan (*crosslink*) yang menyebabkan material menjadi lebih fleksibel. Ketika material komposit tersebut dalam keadaan dingin maka mobilitas dari molekul-molekul akan turun kembali dan menyebabkan material menjadi kaku kembali. Proses *post curing* juga menyebabkan material komposit mengalami peningkatan tegangan tekan, (Ritonga 2014).

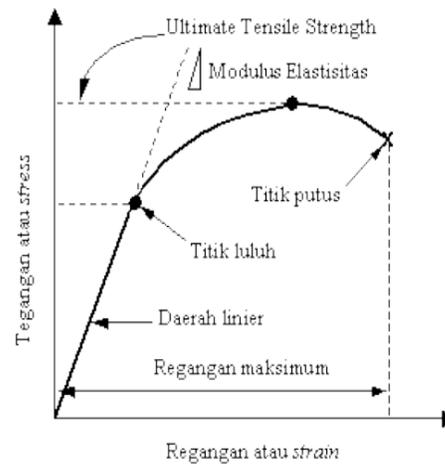
### 2.10 Uji Tarik Komposit

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui tegangan-regangan dan modulus elastisitas komposit dengan cara memberikan pembebanan tarik secara terus-menerus hingga titik maksimum yang menyebabkan spesimen bertambah panjang hingga putus.



**Gambar 2.7** Geometri spesimen uji tarik (ASTM D638 IV).

Dari hasil data pengujian tarik dengan ditambah data teknis spesimen, maka dapat dilakukan analisa tegangan-regangan dan kekuatan tarik dari setiap spesimen komposit (Surdia 1995). Kurva tegangan-regangan ditunjukkan pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.8** Kurva tegangan-regangan (Surdia 1995).

Untuk menentukan nilai sifat mekanis dari hasil pengujian tarik, maka dilakukan perhitungan seperti, (ASTM D 638 01):

1. Nilai tegangan pada beban tarik dapat dinyatakan dalam persamaan

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

Dimana:

$\sigma$  = Tegangan normal (Mpa)

$F$  = Gaya yang bekerja (N)

$A_0$  = Luas penampang yang dikenai beban tarik (mm<sup>2</sup>)

2. Nilai regangan pada beban tarik dapat dinyatakan dalam persamaan

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L-L_0}{L_0} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

$\varepsilon$  = Regangan

$\Delta L$  = Deformasi atau pemanjangan benda uji (mm).

$L_0$  = Panjang mula-mula (mm)

$L$  = Panjang akhir (mm)

3. Berlaku hukum *hooke*, modulus elastisitas adalah hubungan deformasi elastis antara tegangan dan regangan. Modulus merupakan sebuah kekakuan material terhadap deformasi elastis. Semakin besar nilai modulus maka

material semakin kaku, nilai modulus elastisitas dapat dinyatakan dalam persamaan.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

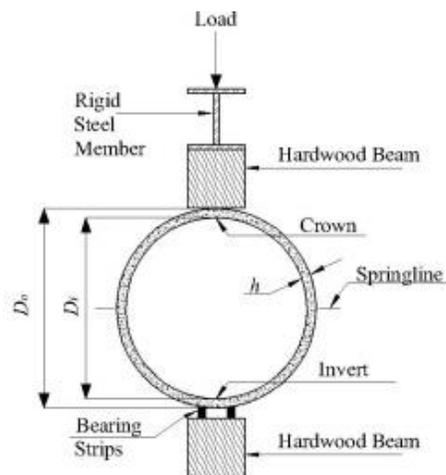
$E$  = Modulus elastisitas (Mpa).

$\sigma$  = Tegangan normal (Mpa).

$\varepsilon$  = Regangan.

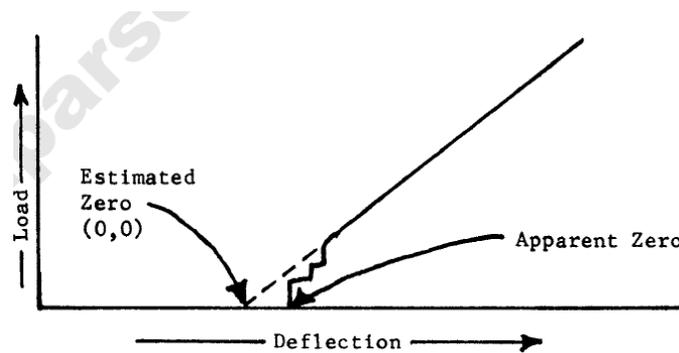
### 2.11 Uji Tekan Komposit Tabung

Pengujian tekan dilakukan untuk mengetahui dan mempelajari suatu material yang terkena beban tekan dengan mengukur parameter yang menentukan perilaku spesimen dibawah beban tekan. Secara skematis, pengujian tekan dapat diilustrasikan pada gambar 2.7.



**Gambar 2.9** Geometri pengujian tekan (ASTM D2412).

Hasil dari pengujian tekan sangat penting dalam keperluan rekayasa teknik dan desain rangka produk karena menghasilkan nilai kekakuan dari material uji yang dapat dilihat dari kurva pembebanan-defleksi uji tekan seperti pada Gambar 2.8.



**Gambar 2.10** Kurva pembebanan-defleksi, (ASTM D 2412).

Kekakuan tabung pada uji tekan dapat dihitung dari kurva pembebanan-defleksi yang diperoleh dari uji tekan. Spesimen yang diuji tekan akan mengalami patah pada batas tekan dan deformasi yang tidak dapat kembali seperti semula. Deformasi/defleksi tertentu dapat dianggap sebagai batas kekuatan tekan meskipun spesimen belum patah, terutama pada spesimen yang tidak dapat kembali ke bentuk semula (*irreversible*). Untuk menentukan nilai sifat mekanis dari hasil pengujian tekan, maka dilakukan perhitungan seperti, (ASTM D 2412):

1. Nilai kekakuan pada beban tekan dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$P_s = F/\Delta_y \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

$P_s$  = pipe stiffness (Mpa).

$F$  = Gaya yang bekerja (N).

$\Delta_y$  = perubahan diameter dalam akibat pembebanan tekan (mm).

2. Nilai deformasi pada beban tekan dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$P_d = \Delta_y/dx100 \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

$P_d$  = pipe deflection (%).

$\Delta_y$  = perubahan diameter dalam akibat pembebanan tekan (mm).

$d$  = diameter awal (mm).

3. Nilai modulus tekan pada beban tekan dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$E = P_s / P_d \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

$E$  = modulus tekan (Mpa).

$P_s$  = *pipe stiffness* (Mpa).

$P_d$  = *pipe deflection* (%).