

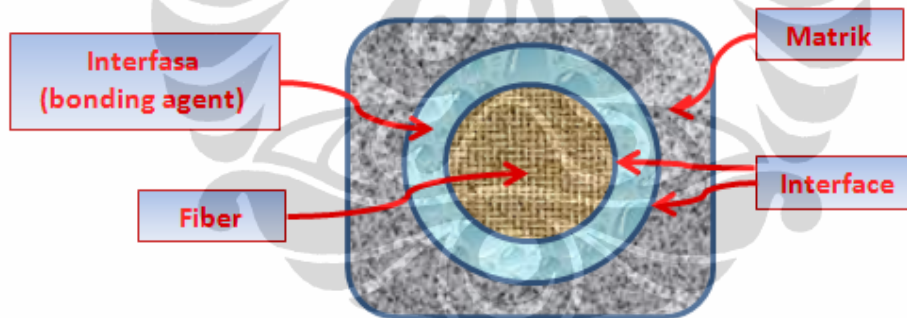
## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Material Komposit

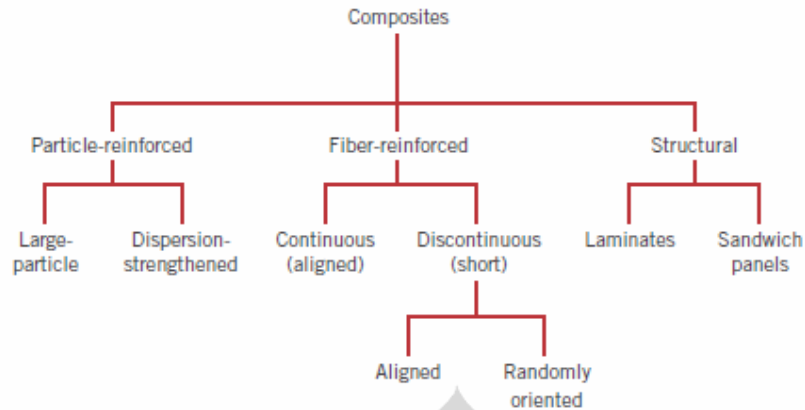
##### 2.1.1. Definisi dan klasifikasi komposit

Komposit adalah kombinasi dari dua bahan atau lebih yang tersusun dengan fasa matrik dan penguat<sup>[11]</sup> yang dipilih berdasarkan kombinasi sifat mekanik dan fisik masing-masing material penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang unik dibandingkan sifat material dasar sebelum dicampur dan terjadi ikatan permukaan antara masing-masing material penyusun. Dengan adanya perbedaan sifat material penyusun dimana antar material harus terjadi ikatan yang kuat maka *wetting agent* perlu ditambahkan. Penyusun komposit terdiri dari matrik (penyusun dengan fraksi volume terbesar), fiber sebagai penguat (penahan beban utama), interfasa (pelekat antar dua penyusun) dan *interface* (permukaan fasa yang berbatasan dengan fasa lain)



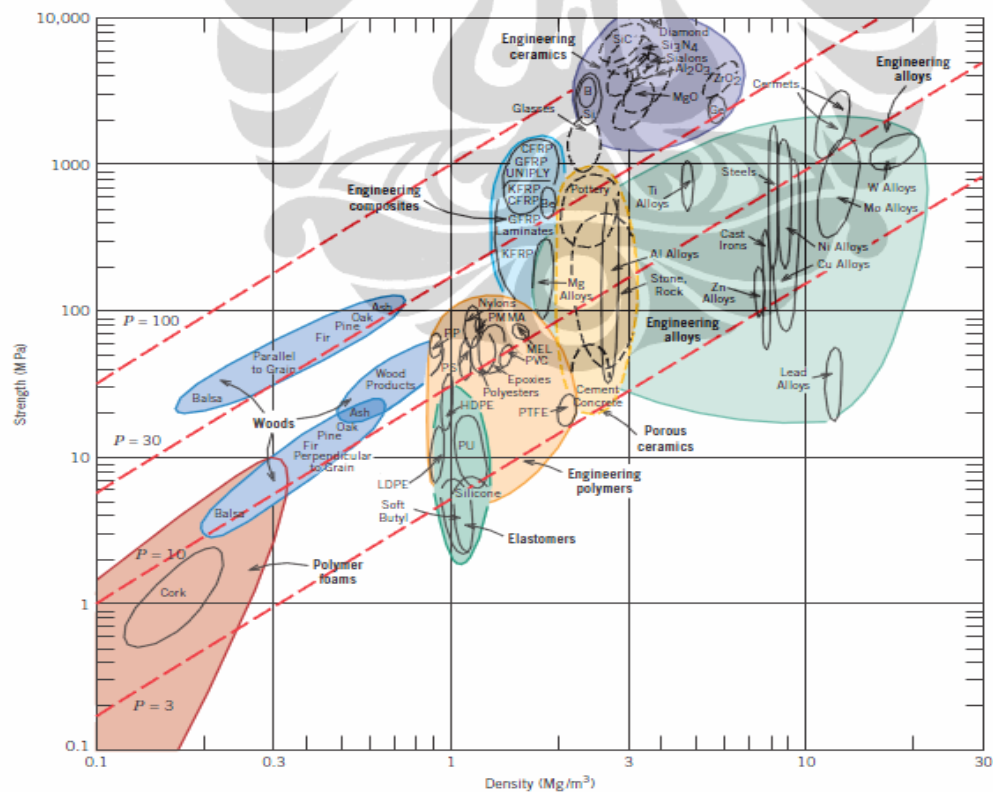
Gambar 2.1. Ilustrasi material penyusun komposit

Klasifikasi material komposit yang terdiri dari tiga bagian utama dan sub-bagiannya dijelaskan pada Gbr. 2.2 :



Gambar 2.2. Klasifikasi material komposit<sup>[12]</sup>

Dengan nilai kekuatan yang tinggi dan keunggulan lain seperti ringan dan tahan korosi menyebabkan material komposit menjadi pilihan utama dalam pengembangan produk. Dalam bukunya, Mike Ashby<sup>[13]</sup> menyebutkan bahwa kekuatan material komposit telah dapat mencapai diatas 1000 MPa dan melebihi kekuatan beberapa material dari bahan logam.



Gambar 2.3. Nilai kekuatan material terhadap densitas<sup>[13]</sup>

## 2.2. Material Penyusun Komposit

Matrik dan fiber adalah bahan pembentuk material komposit dimana fiber sangat berperan dalam memberikan kekuatan dan kekakuan komposit. Namun aspek lain yang menjadi sumber kekuatan komposit di dapat dari matrik yang memberikan ketahanan terhadap temperatur tinggi, ketahanan terhadap tegangan geser dan mampu mendistribusikan beban.

### 2.2.1. Matrik

Pada material komposit matrik memberikan pengaruh yang lebih besar dalam pengikatan material penyusun selain bertugas untuk mendistribusikan beban dan memberikan perlindungan dari pengaruh lingkungan.

Polyester dan *vinyl ester resin* umumnya yang paling banyak digunakan sebagai bahan matrik dan biasanya digunakan untuk pembuatan produk-produk komersial, industri dan transportasi. Namun bila produk yang dibutuhkan diharapkan untuk memiliki kekuatan yang lebih tinggi maka bahan epoksi menjadi pilihan sebagai matrik. Meskipun epoksi sensitif terhadap kelembaban, namun tetap masih lebih baik dibanding dengan polyester serta tahan terhadap penyusutan. Dalam aplikasinya epoksi terbatas terhadap temperatur hingga 120°C untuk pemakaian jangka panjang, bahkan pada kondisi tertentu temperatur tertinggi hanya pada sekitar 80°C sampai 105°C. Untuk pemakaian pada temperatur lebih tinggi sekitar 177°C sampai 230°C dapat menggunakan *bismaleimide resins (BMI)* sebagai matrik<sup>[14]</sup>.

### 2.2.2. Fiber

Pada material Komposit Matrik Polimer (KMP), fungsi utama fiber penguat adalah menaikkan kekuatan dan kekakuan komposit sehingga didapatkan material yang kuat dan ringan.

Beberapa jenis fiber yang umum digunakan adalah<sup>[14]</sup> :

#### a. Fiber glass

Sangat umum digunakan dalam industri karena bahan baku yang sangat banyak tersedia. Komposisi fiber glass mengandung silica yang berguna memberikan kekerasan, fleksibilitas dan kekakuan. Proses pembentukan fiber glass melalui proses fusion (*melting*) terhadap silica dengan campuran mineral oksida. Pada proses ini

diberikan pendinginan yang sangat cepat untuk pembentukan kristalisasi yang sempurna, proses ini biasa disebut dengan *fiberization*.

Produk fiber glass dibedakan dalam beberapa jenis berdasarkan propertis dan karakteristiknya.

Tabel 2.1. Propertis fiber dan matriks yang umum di gunakan<sup>[14, 15]</sup>

Kode	Propertis dan karakteristiknya
E, <i>electrical</i>	<i>Low electrical conductivity</i>
S, <i>strength</i>	<i>High strength</i>
C, <i>chemical</i>	<i>High chemical durability</i>
M, <i>modulus</i>	<i>High stiffness</i>
A, <i>alkali</i>	<i>High alkali or soda lime glass</i>
D, <i>dielectric</i>	<i>Low dielectric constant</i>

#### b. Karbon Fiber

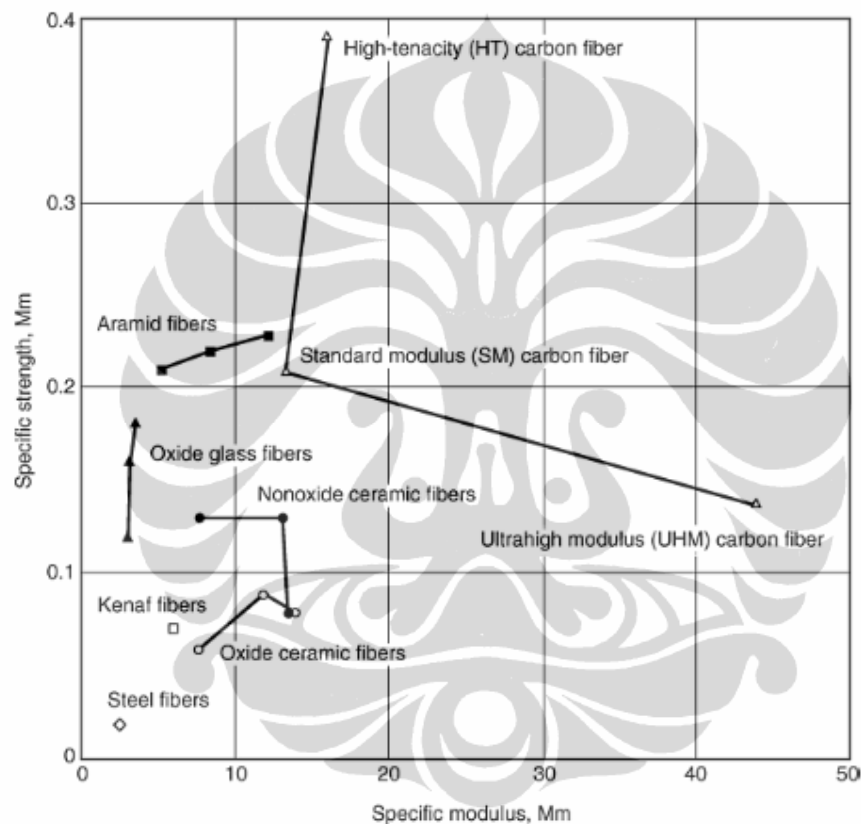
Salah satu keunggulan karbon fiber adalah sangat unggul terhadap ketahanan fatik, tidak rentan terhadap beban perpatahan dan mempunyai *elastic recovery* yang baik. Perkembangan penggunaan karbon fiber tergolong sangat cepat untuk aplikasi penerbangan, produk olahraga dan berbagai kebutuhan industri. Sebagai bahan anorganik, karbon fiber tidak terpengaruh oleh kelembaban, atmosfer, pelarutan basa dan *weak acid* pada temperature kamar. Namun oksidasi menjadi permasalahan pada fiber karbon pada suhu tinggi dimana impuritis dapat menjadi katalisator dan menghambat proses oksidasi yang menyebabkan kemurnian fiber karbon tidak tercapai.

#### c. Aramid Fiber

Aramid fiber memiliki kekuatan yang sangat tinggi dibandingkan dengan ratio berat yang dimilikinya. Pada awalnya aramid fiber di produksi oleh *E.I. Du Pont de Nemours & Company, Inc.* dengan merek Kevlar yang dipakai sebagai fiber penguat dalam produksi ban dan plastik.

Karena aramid fiber relatif flexible dan *non-brittle* maka aramid fiber dapat diproses dengan berbagai metode seperti *twisting*, *weaving*, *knitting*, *carding* dan *felting*. Aramid Kevlar terdapat dalam 3 jenis yaitu Kevlar 29 (*high toughness*), Kevlar 49 (*high modulus*) dan Kevlar 149 (*ultrahigh modulus*). Menurut Charley Yan, Kevlar memiliki nilai rasio kekuatan dan berat sebesar lima kali lebih kuat dari logam<sup>[16]</sup>.

Perbandingan kekuatan dan nilai modulus fiber tersebut secara umum dapat dilihat pada grafik Gbr.2.4 berikut.



Gambar 2.4. Nilai kekuatan fiber terhadap modulus<sup>[14]</sup>

### 2.3. Mekanisme Adesifitas

Fenomena adesifitas atau perekatan (*adhesion phenomenon*) relevan dengan berbagai ilmu bidang studi lain dan menjadi hal penting dalam perkembangan teknologi. Hal utama dalam aplikasi perekatan adalah ikatan (*bonding*) antar material tersebut dalam suatu campuran. Maka istilah perekatan diartikan terjadinya ikatan antar permukaan (*interfacial bonds*) dan membutuhkan suatu tenaga untuk melepaskan ikatan tersebut<sup>[17]</sup>.

Menurut J. Schultz dan M. Nardin dalam bukunya *Theories and Mechanisms of Adhesion* menyebutkan terdapat beberapa teori model perekatan, yaitu<sup>[17]</sup>:

1. *Mechanical interlocking*
2. *Electronic theory*
3. *Theory of boundary layers and interphases*
4. *Adsorption (thermodynamic) theory*
5. *Diffusion theory*
6. *Chemical bonding theory*

Untuk estimasi kekuatan rekat  $G$  akibat efek dari *mechanical interlocking* dan *thermodynamic interfacial interactions* didapat dengan persamaan berikut :

$$G = (\text{constant}) \times (\text{mechanical keying component}) \times (\text{interfacial interactions component}) \quad (1)$$

Dari persamaan diatas, untuk mencapai hasil perekatan yang sempurna maka diperlukan bahan perekat yang bermutu tinggi dan preparasi permukaan yang sempurna dengan menjaga kekasarannya<sup>[17]</sup>.

Pada sistim pencampuran *slolid-liquid*, kesetimbangan pembasahan (*wetting equilibrium*) dapat ditentukan dari bentuk cairan yang jatuh pada permukaan padat. Persamaan Young mengenai energi permukaan (*surface tension*)  $\gamma$  pada material *three-phase contact point* terhadap kesetimbangan sudut kontak (*equilibrium contact angle*)  $\theta$  yaitu<sup>[18]</sup>:

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos \theta \quad (2)$$

Dimana :

$\gamma_{SV}$  = energi permukaan padat-uap

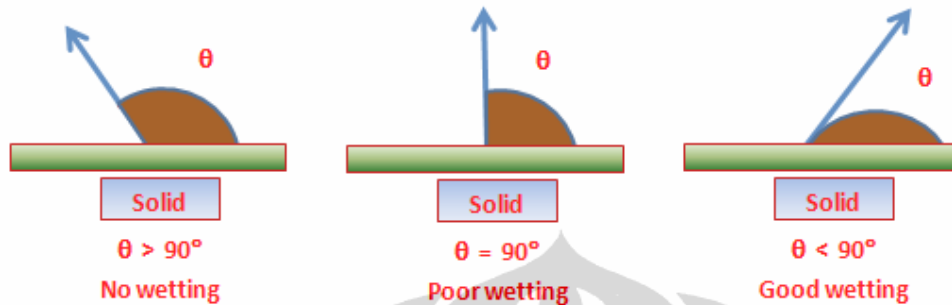
$\gamma_{SL}$  = energi permukaan padat-cair

$\gamma_{LV}$  = energi permukaan cair-uap

Sedangkan untuk mendapatkan *adhesion energy*  $W_{SL}$  didapat dengan persamaan berikut<sup>[19]</sup>:

$$W_{SL} = \gamma_S + \gamma_{LV} - \gamma_{SL} = \gamma_{LV} (1 + \cos \theta) \quad (3)$$

Namun dalam implementasi dilapangan untuk menguji suatu kemampuan perekatan suatu material terhadap material lain dapat di lakukan cara yang sederhana yaitu dengan melihat sudut rekat material tersebut.

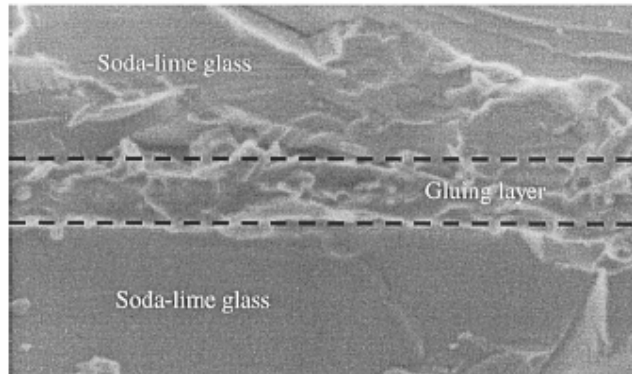


Gambar 2.5. Pengujian sederhana kemampuan perekatan (*wetting*) material<sup>[11]</sup>:

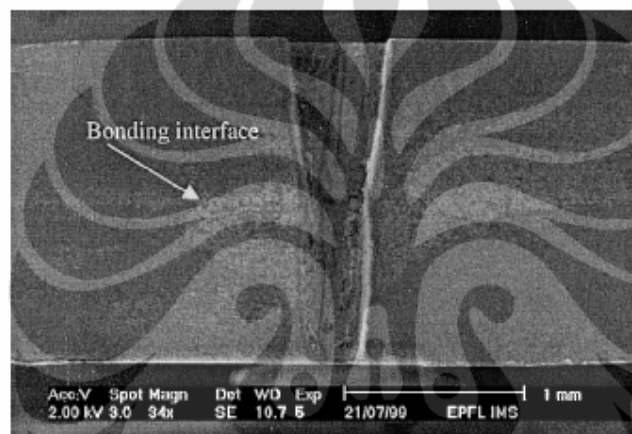
Untuk mencapai *interface* yang kuat antara matrik dan fiber penguat tergantung dari beberapa parameter berikut<sup>[20]</sup> :

- Pencapaian pembasahan *thermodynamic* antara matrik polimer dan penguat
- Menghasilkan gaya ikatan dari sebagian besar penguat ke matrik sehingga menjamin *transfer* beban ke penguat menjadi sempurna.
- Ikatan yang mempunyai stabilitas yang lama dan kekuatan diatas temperatur yang diharapkan.
- Daerah reaksi antarmuka antara penguat dan matrik harus mempunyai gesekan yang kecil
- Koefisien ekspansi panas harus saling menutupi sehingga tidak terjadi pelemahan ikatan akibat perbedaan koefisien ekspansi panas.

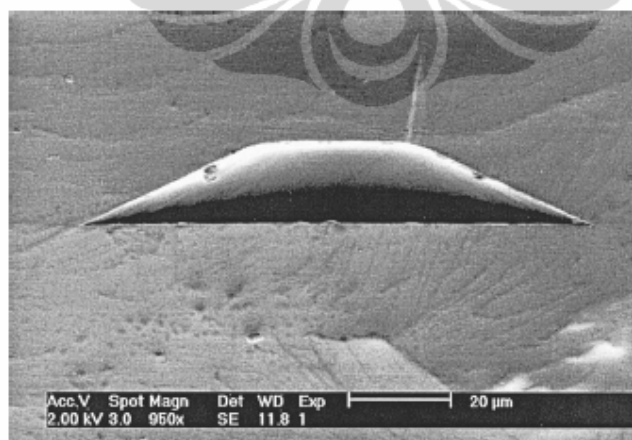
Dalam jurnal yang diterbitkan oleh Sayah dan Solignac<sup>[21]</sup> menampilkan contoh gambar SEM (*Scanning Electron Microscope*) tentang daerah perekatan dan kegagalan yang terjadi dalam perekatan.



Gambar 2.6. Contoh foto SEM daerah perekatan antar layer<sup>[21]</sup>



Gambar 2.7. Contoh foto SEM kegagalan perekatan di daerah interface<sup>[21]</sup>

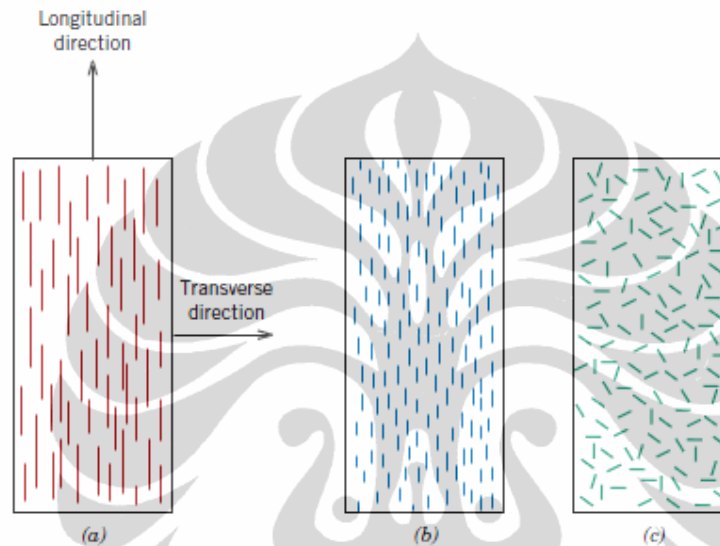


Gambar 2.8. Contoh foto SEM menunjukkan tidak terbentuknya perekatan<sup>[21]</sup>



## 2.4. Kekakuan Komposit

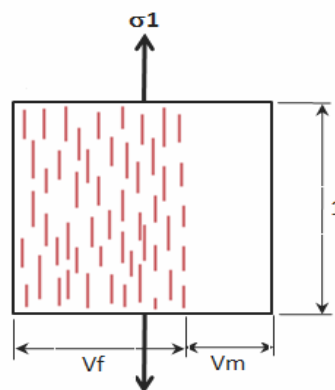
Penyebaran fiber dalam suatu komposit umumnya acak dan tidak teratur, tetapi memungkinkan jika dilakukan penyusunan sesuai yang diharapkan. Pengaturan orientasi fiber diharapkan dapat memberikan ketahanan pembebanan dalam komposit. Pada pengamatan secara mikroskopis, propertis suatu komposit dapat ditentukan oleh orientasi dan distribusi fibernya, selain nilai propertis yang diberikan oleh matrik dan fiber itu sendiri<sup>[22]</sup>.



Gambar 2.9. Orientasi fiber dan penyebarannya, (a) kontinu & lurus, (b) putus-putus & lurus, (c) putus-putus & acak<sup>[12]</sup>

Untuk mendapatkan fraksi volume matrik ( $V_m$ ) dengan orientasi fiber *single direction* seperti Gambar 2.10, dimana  $V_f$  = fraksi volume fiber, adalah :

$$V_m = 1 - V_f \quad (4)$$



Gambar 2.10. Beban paralel terhadap fiber<sup>[22]</sup>

Jika tegangan  $\sigma_1$  diaplikasikan searah fiber, maka fiber dan matrik akan bereaksi untuk menahan beban yang terjadi dan regangan pada semua fasa akan sama, maka regangan  $\epsilon_1$  dapat dituliskan<sup>[22]</sup>:

$$\epsilon_f = \epsilon_m = \epsilon_1 \quad (5)$$

Tegangan pada tiap fasa akan didistribusikan pada semua beban total material, maka tegangan pada setiap fasa adalah :

$$\sigma_1 = \sigma_f V_f + \sigma_m V_m = E_f \epsilon_1 V_f + E_m \epsilon_1 V_m \quad (6)$$

Dari persamaan diatas, maka nilai kekakuan E, didapat :

$$E_1 = \frac{\sigma_1}{\epsilon_1} = V_f E_f + V_m E_m \quad (7)$$

Hubungan persamaan tersebut dikenal sebagai hukum campuran (*rule of mixture*):

$$\frac{1}{E_2} = \frac{V_f}{E_f} + \frac{V_m}{E_m} \quad (8)$$

## 2.5. Kekuatan Komposit

Total gaya yang bekerja pada komposit  $F_c$  adalah penjumlahan dari gaya pada bekerja pada matrik  $F_m$  dan gaya yang bekerja pada fiber  $F_f$ , dengan asumsi orientasi fiber kontinu yang searah serta mempunyai ikatan antar fasa yang baik<sup>[12]</sup> :

$$F_c = F_m + F_f \quad (9)$$

Dari persamaan diatas, maka untuk mendapatkan tegangan komposit didapat melalui persamaan berikut:

$$\sigma_c A_c = \sigma_m A_m + \sigma_f A_f \quad (10)$$

dimana :  $\sigma_c A_c$  = tegangan komposit pada area komposit

$\sigma_m A_m$  = tegangan matrik pada area matrik

$\sigma_f A_f$  = tegangan fiber pada area fiber

Dengan pembagian oleh area komposit maka :

$$\sigma_c = \sigma_m \frac{A_m}{A_c} + \sigma_f \frac{A_f}{A_c} \quad (11)$$

Jika,  $V_f = A_f/A_c$  dan  $\epsilon_c = \epsilon_m = \epsilon_f$ , maka didapat :

$$\frac{\sigma_c}{\epsilon_c} = \frac{\sigma_m}{\epsilon_m} V_m + \frac{\sigma_f}{\epsilon_f} V_f \quad (12)$$

Maka untuk mendapatkan ratio tegangan fiber terhadap tegangan matrik dengan beban longitudinal adalah:

$$\frac{F_f}{F_m} = \frac{E_f V_f}{E_m V_m} \quad (13)$$

## 2.6. Obyektif pemeliharaan fasilitas kilang

Obyektif dalam pemeliharaan fasilitas paada kilang minyak adalah melakukan pemeliharaan yang berkesinambungan dan menjamin bahwa semua fasilitas dapat bekerja dengan sempurna dan aman serta melakukan analisa efisiensi biaya. Aspek-aspek yang selalu dipertimbangkan dalam analisa pemeliharaan adalah efektifitas bisnis, optimisasi biaya, resiko dan faktor keselamatan, aspek lingkungan hidup, efisiensi energi, kualitas produk yang digunakan dan menjaga hubungan dengan pihak lain<sup>[23]</sup>.

Seorang enjiner pemeliharaan memiliki peranan dalam peningkatan pemeliharaan yang berkelanjutan dengan melakukan analisa terhadap metode pekerjaan agar berlangsung aman dan berhasil, studi implementasi produk baru yang menunjang efisiensi biaya dan efisiensi waktu pekerjaan, serta membuat konsep desain untuk peningkatan kapasitas produksi.

## 2.7. Kualifikasi Produk Komposit

Sebelum implementasi produk komposit polimer ini digunakan sebagai bahan alternatif mengatasi kebocoran pipa, maka dilakukan beberapa kualifikasi yang antara lain adalah<sup>[24, 25]</sup>:

### a. *Coating performance*:

- *Cathodic disbondment*, pengujian di lakukan untuk mengukur kemampuan lapisan komposit menahan masuknya air ke dalam lapisan, dimana air tersebut dapat menimbulkan potensial korosi

- *Adhesion*, pengujian dilakukan untuk melihat apakah lapisan komposit dan material pipa terjadi ikatan yang baik.

b. *Strengthening performance*, pengujian untuk melihat kekuatan lapisan komposit jika diberikan tekanan pada pipa, pengujian dilakukan dengan melakukan hidrottest sampai melebihi tekanan yang diijinkan.

- c. *Repair application*, pengujian dilakukan untuk melihat apakah lapisan komposit tersebut dapat di perbaiki jika terjadi kesalahan dalam pemasangan atau untuk melakukan lapisan ulang jika umur lapisan komposit telah melebihi dari yang ditetapkan.
- d. Keselamatan dan kesehatan, pengujian untuk mengetahui apakah produk komposit ini berbahaya bagi pekerja ketika pemasangan dan bagi masyarakat ketika melalui pipa.

