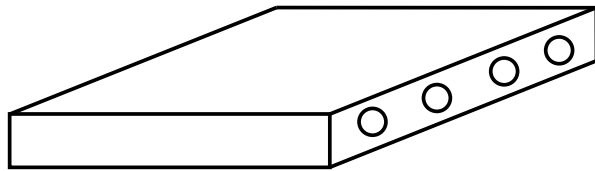


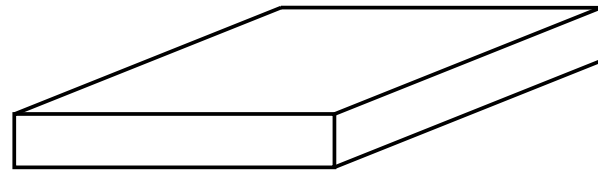
Bab 2

Mikromekanik Lamina
(Lamina unidireksional)

- Lamina : Plat tipis datar atau lengkung yang tersusun atas penguat (reinforced) yang terbungkus oleh matrik
- lamina hanya satu lapis, atau satu layer atau satu ply
- Analisa mikromekanik komposit : analisa yang didasarkan pada material pembentuk komposit
- analisa mikromekanik menekankan pada sifat fisik, mekanik dari elemen pembentuknya



Nonhomogeneous Lamina

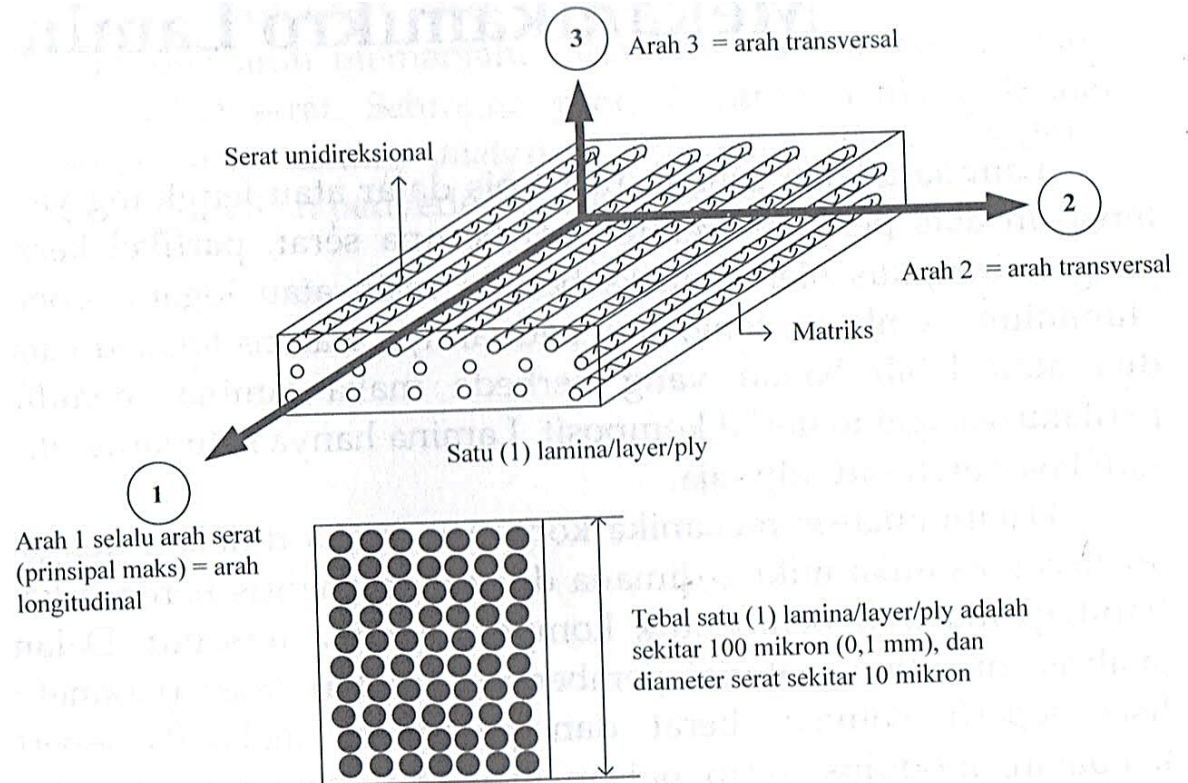


Homogeneous Lamina

Lamina tidak homogen dengan serat dan matrik sebagai lamina yang homogen

Lamina unidireksional

- Tebal komposit lamina = 0,1 mm dengan diameter serat 10 μ m, sehingga rasio tebal: diameter serat = 10
- Arah serat selalu didefinisikan sebagai arah 1
- Arah tegak lurus serat didefinisikan sebagai arah 2 dan arah 3



Gambar. 2.1. Skema komposit serat unidireksional

Fraksi Volume

- Bila v_c adalah volume komposit yang mengandung volume serat v_f dan volume matrik v_m , maka

$$V_f + V_m = V_c$$

- Jika fraksi volume serat V_f dan fraksi volume matrik V_m , maka

$$V_f = \frac{V_f}{V_c}, \text{ dan } V_m = \frac{V_m}{V_c} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

Serta

$$V_f + V_m = 1 \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

Fraksi Berat

- Bila w_c , w_f , w_m adalah berat komposit, serat dan matrik, maka

$$w_f + w_m = w_c$$

- Jika fraksi berat serat W_f dan fraksi berat matrik W_m , maka

$$W_f = \frac{w_f}{w_c}, \text{ dan } W_m = \frac{w_m}{w_c} \quad \text{.....(2.3)}$$

$$W_f + W_m = 1 \quad \text{.....(2.4)}$$

Konversi dari fraksi volume ke fraksi berat

- dengan mengetahui densitas komposit, serat, dan matrik, ρ_c , ρ_f , ρ_m maka dapat dikonversi dari fraksi volume ke fraksi berat atau sebaliknya

$$W_f = \frac{w_f}{w_c} = \frac{\rho_f}{\rho_c} \times \frac{v_f}{v_c} = \frac{\rho_f}{\rho_c} \times V_f \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

$$W_f = \frac{\rho_f}{\rho_c} \times V_f$$

$$W_m = \frac{\rho_m}{\rho_c} \times V_m$$

Konversi dari fraksi berat ke fraksi volume

$$V_f = \frac{\rho_c}{\rho_f} x W_f \quad \text{.....(2.6)}$$

$$V_m = \frac{\rho_c}{\rho_m} x W_m$$

Densitas Komposit

$$\rho_c \cdot v_c = \rho_f \cdot v_f + \rho_m \cdot v_m \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\rho_c = \rho_f \cdot \frac{v_f}{v_c} + \rho_m \cdot \frac{v_m}{v_c}$$

$$\rho_c = \rho_f \cdot V_f + \rho_m \cdot V_m \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\rho_c = \frac{1}{\left(\frac{W_f}{\rho_f} \right) + \left(\frac{W_m}{\rho_m} \right)} \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

Densitas komposit dengan penyusun lebih dari 2 komponen

$$\rho_c = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot V_i$$

$$\rho_c = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (W_i / \rho_i)}$$

$$W_i = \frac{\rho_i}{\rho_c} \cdot V_i$$

$$V_i = \frac{\rho_c}{\rho_i} \cdot W_i$$

.....(2.10)

Fraksi volume rongga kosong

- Bila densitas komposit teoritis ρ_{ct} dan densitas komposit eksperimen adalah ρ_{ce} , maka fraksi volume rongga kosong adalah

$$V_v = \frac{\rho_{ct} - \rho_{ce}}{\rho_{ct}} \dots\dots\dots(2.11)$$

- komposit yang baik memiliki $V_v \leq 1\%$ dan komposit yang jelek bisa memiliki V_v sampai 15%

interaksi serat-matrik dalam lamina serba searah (unidirectional lamina)

asumsi dasar yang digunakan:

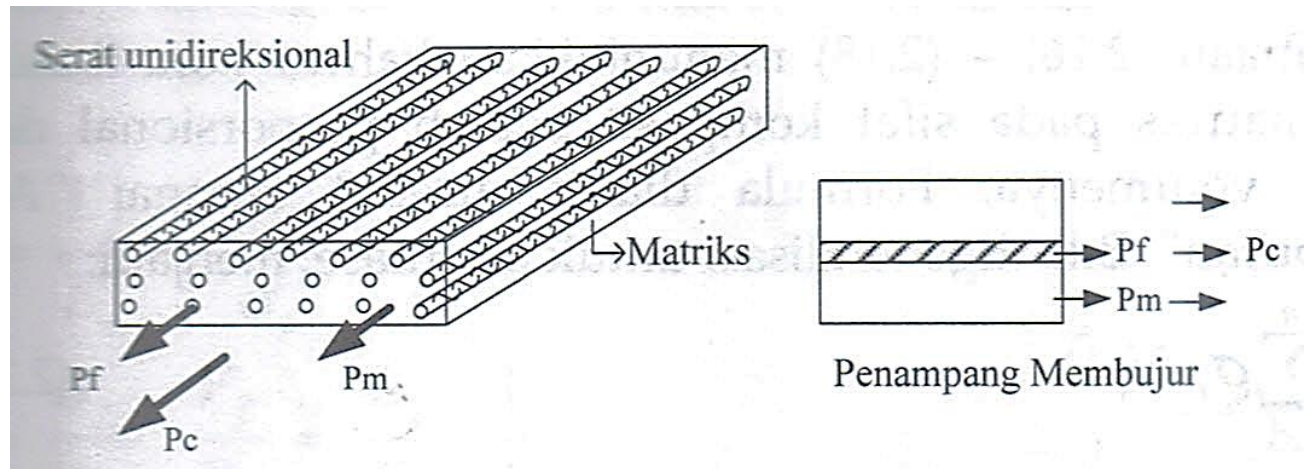
- a. serat didistribusikan secara merata
- b. ikatan serat dan matrik sempurna
- c. matrik bebas void
- d. beban yang diterapkan sejajar atau tegak lurus arah serat
- e. lamina awalnya bebas dari tegangan (tidak ada tegangan sisa)
- f. serat dan matrik berperilaku sebagai bahan elastis linier

Analisa mekanika arah serat (arah1)

Gambar 2.2 memperlihatkan model komposit serat searah. disini diasumsikan ikatan antara matrik dan serat sempurna, sehingga tidak ada slip di antarmuka yg berakibat regangan serat, matrik dan komposit besarnya sama:

$$\epsilon_f = \epsilon_m = \epsilon_c \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

dimana ϵ_f , ϵ_m , ϵ_c adalah regangan longitudinal dari serat, matrik dan komposit



Gambar 2.2. Model komposit unidirectional

karena kedua serat dan matriks bersifat elastis, maka tegangan masing-masing dapat dihitung sebagai

$$\sigma_f = E_f \cdot \varepsilon_f = E_f \cdot \varepsilon_c \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

$$\sigma_m = E_m \cdot \varepsilon_m = E_m \cdot \varepsilon_c \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

sehingga beban yang disangga oleh serat dan matrik:

$$P_f = \sigma_f \cdot A_f = E_f \cdot \varepsilon_f \cdot A_f \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

$$P_m = \sigma_m \cdot A_m = E_m \cdot \varepsilon_m \cdot A_m$$

dan beban yang ditanggung komposit:

$$P_c = P_f + P_m \quad \dots\dots\dots(2.16)$$

dengan A_m dan A_f adalah luas penampang matrik dan serat

Modulus Longitudinal Komposit

karena beban = tegangan x luas penampang, maka

$$\sigma_c \cdot A_c = \sigma_f \cdot A_f + \sigma_m \cdot A_m \quad \text{atau} \quad \sigma_c = \sigma_f \cdot \frac{A_f}{A_c} + \sigma_m \cdot \frac{A_m}{A_c} \quad \dots(2.17)$$

dengan $A_c = A_f + A_m$

karena $v_f = A_f/A_m$ dan $v_m = A_m/A_c$ maka

$$\sigma_c = \sigma_f \cdot v_f + \sigma_m \cdot v_m$$

$$\sigma_c = \sigma_f \cdot v_f + \sigma_m \cdot (1 - v_f) \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

kedua sisi pers. 2.18 dibagi dengan ε_c maka, **modulus longitudinal dari komposit** adalah

$$E_L = E_f \cdot v_f + E_m \cdot (1 - v_f) \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

Persamaan 2.18 dan 2.19 menunjukkan bahwa kontribusi serat dan matrik pada sifat komposit adalah proposional dengan fraksi volumenya. formula ini disebut

rule of mixture (aturan campuran)

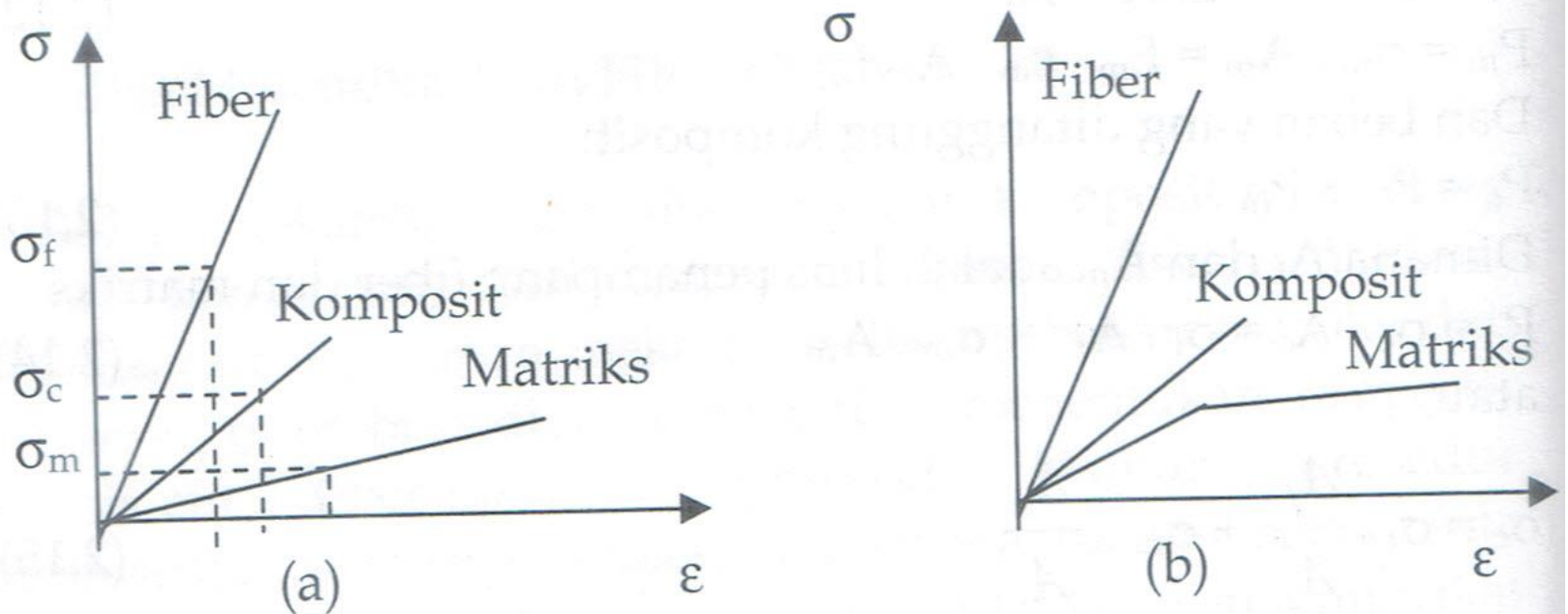
- rule of mixture, bila digeneralisasi untuk multifase

$$\sigma_c = \sum_{i=1}^n \sigma_i \cdot V_i \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

$$E_c = \sum_{i=1}^n E_i \cdot V_i \quad \dots\dots\dots(2.21)$$

PREDIKSI TEGANGAN KOMPOSIT

- kurva teg-reg komposit selalu berada diantara serat dan matrik.
- bentuk kurva teg-reg tergantung pembentuknya. → kurva teg reg matrik linier, maka komposit juga memiliki teg-reg linier
- Perilaku komposit cenderung mengikuti pembentuknya.
→ fraksi volume serat tinggi, maka sifat komposit cenderung bertendensi ke sifat serat



Gambar. 2.3 Diagram teg-reg, a. komposit dg matrik linier, b. komposit dgn matrik non linier

Bagaimana komposit membagi bebannya untuk fiber dan matrik

Fraksi beban yang dibawa oleh serat dalam lamina serat serba searah (unidirectional lamina).

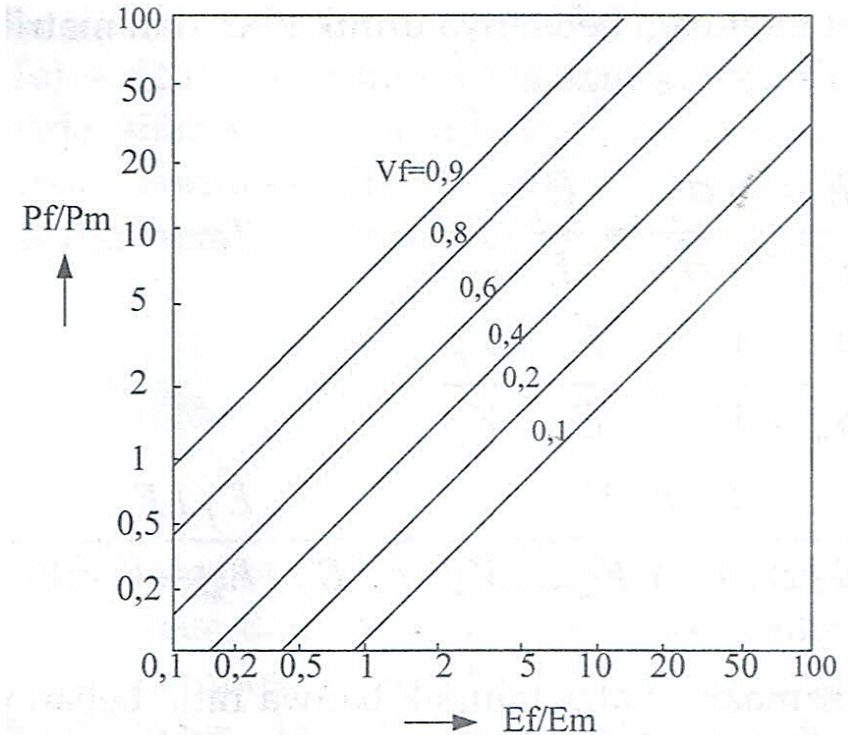
$$\frac{\sigma_f}{\sigma_m} = \frac{E_f}{E_m}; \frac{\sigma_f}{\sigma_c} = \frac{E_f}{E_c}$$

$$\frac{P_f}{P_m} = \frac{\sigma_f}{\sigma_m} \cdot \frac{V_f}{V_m} = \frac{E_f}{E_m} \cdot \frac{V_f}{V_m}$$

$$\frac{P_f}{P_c} = \frac{\sigma_f \cdot V_f}{\sigma_f \cdot V_f + \sigma_m (1 - V_f)} = \frac{E_f / E_m}{E_f / E_m + V_m / V_f} \dots\dots\dots(2.20)$$

rasio beban yang dibawa oleh serat dan komposit merupakan fungsi dari modulus elastisitas dan fraksi volume pembentuknya.

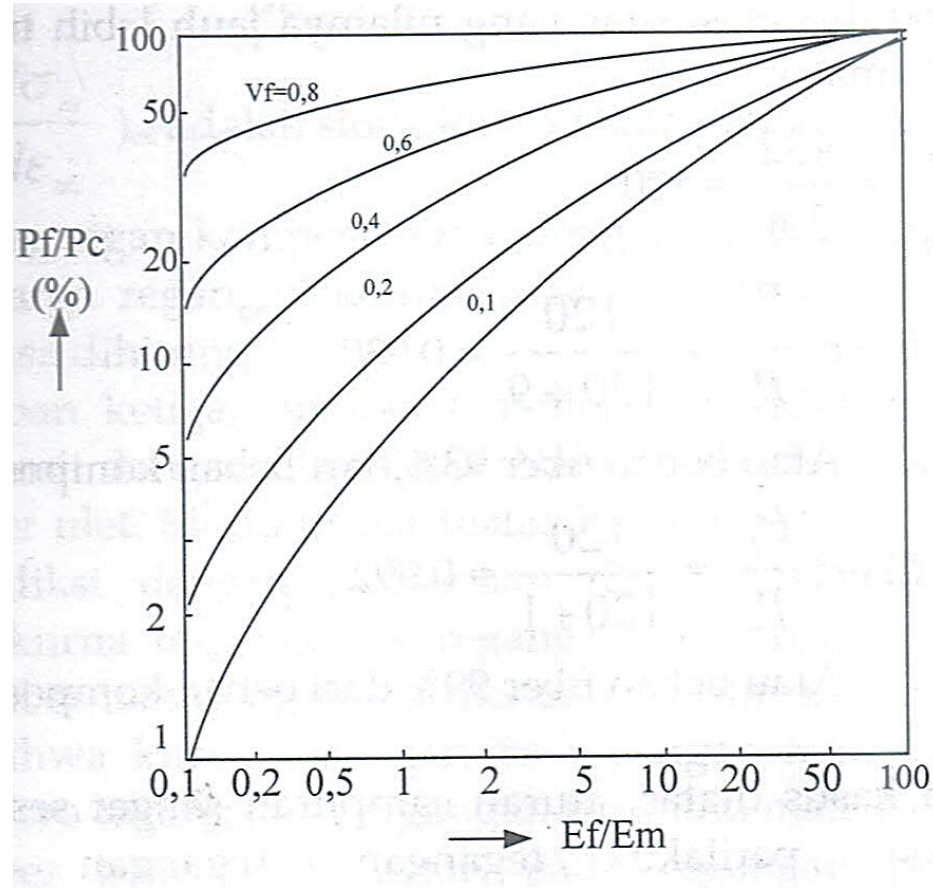
- Fraksi beban yang disangga serat semakin besar, ketika rasio modulus elastis serat terhadap matrik semakin besar, ketika fraksi volume serat besar
- Jika diinginkan serat menyangga beban komposit sebesar mungkin, maka komposit harus dibuat dengan fraksi serat yang besar



Gambar. 2.4 rasio beban serat terhadap beban matrik

- Dalam aplikasi, fraksi volume serat yang bisa dibuat maksimum 91%
- untuk fraksi volume diatas 80% matrik tidak cukup membasahi dan mengikat serat, sehingga muncul rongga

- Fraksi beban serat terhadap beban komposit semakin besar, ketika rasio modulus elastis serat terhadap matrik semakin besar, dan ketika fraksi volume serat besar
- Jika diinginkan serat menyangga beban komposit sebesar mungkin, maka komposit harus dibuat dengan fraksi serat yang besar



Gambar. 2.5 fraksi beban komposit yang disangga serat

Kekuatan tarik longitudinal komposit serat serbasearah

- Regangan patah serat lebih rendah dibanding regangan patah matrik. Diasumsikan semua serat mempunyai kekuatan sama, maka patahnya serat akan memicu patahnya/ rusaknya komposit
- **Kekuatan tarik longitudinal σ_{Ltu} komposit serat serbasearah :**

$$\sigma_{Ltu} = \sigma_{fu} \cdot v_f + \sigma_m' (1 - v_f) \quad \dots\dots\dots(2.21)$$

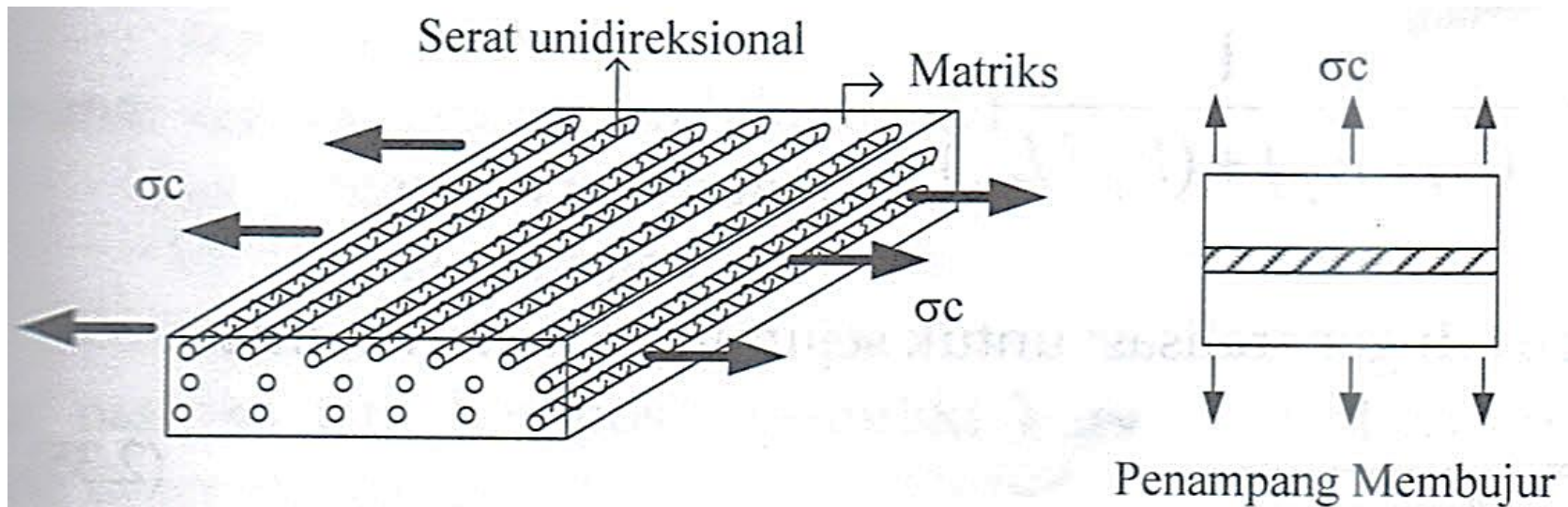
dengan σ_{fu} = kekuatan tarik serat

σ_m' = tegangan matrik saat serat patah

- untuk penguatan matrik yang efektif, untuk $\sigma_{LTU} \geq \sigma_{mu}$, maka fraksi volume serat dalam komposit harus lebih besar dari fraksi volume kritis

$$\textit{Critical} \quad V_f = \frac{\sigma_{mu} - \sigma_m'}{\sigma_{fu} - \sigma_m'} \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

Analisa mekanika arah tegak lurus serat (arah 2)



Gambar. 2.6 model pembebanan transversal komposit unidireksional

- serat diasumsikan memiliki orientasi searah, dengan diameter sama
- komposit dibebani pada arah transversal /tegak lurus arah serat
- perpanjangan komposit searah pembebanan (δ_c) merupakan penjumlahan perpanjangan serat (δ_f) dan perpanjangan matrik (δ_m)

$$\delta_c = \delta_f + \delta_m \quad \dots\dots\dots(2.23)$$

- Perpanjangan bahan= regangan x ketebalan kumulatif, sehingga

$$\delta_c = \varepsilon_c \cdot t_c$$

$$\delta_f = \varepsilon_f \cdot t_f$$

$$\delta_m = \varepsilon_m \cdot t_m \quad \dots\dots\dots(2.24)$$

- Dari pers 2.23 dan 2.24, didapat:

$$\varepsilon_c \cdot t_c = \varepsilon_f \cdot t_f + \varepsilon_m \cdot t_m$$

$$\varepsilon_c = \varepsilon_f \cdot \frac{t_f}{t_m} + \varepsilon_m \cdot \frac{t_m}{t_c}$$

$$\varepsilon_c = \varepsilon_f \cdot V_f + \varepsilon_m \cdot V_m \quad \dots\dots\dots(2.25)$$

- diasumsikan, matrik dan serat terdeformasi elastis, maka:

$$\frac{\sigma_c}{E_m} = \frac{\sigma_f}{E_f} \cdot V_f + \frac{\sigma_m}{E_m} \cdot V_m \quad \dots\dots\dots(2.26)$$

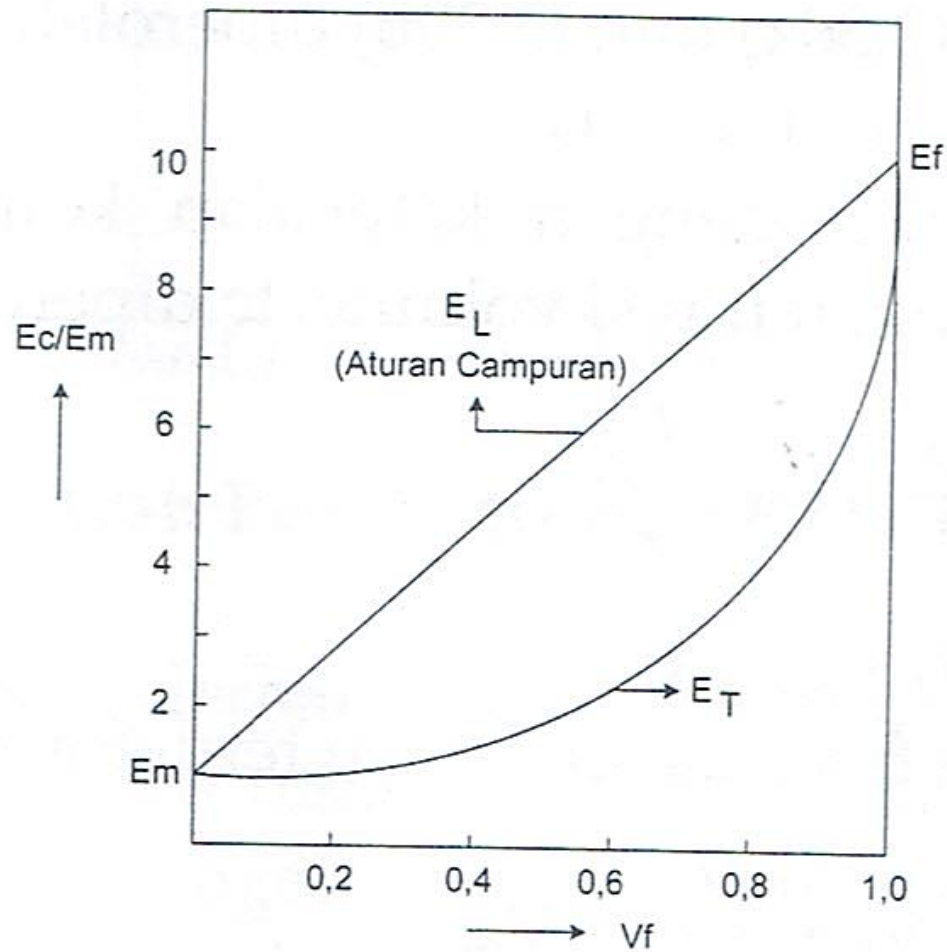
- Pada pembebanan transversal: $\sigma_c = \sigma_f = \sigma_m = \sigma$, maka:

$$\frac{1}{E_c} = \frac{V_f}{E_f} + \frac{V_m}{E_m}$$

$$E_c = \frac{1}{(V_f/E_f) + (V_m/E_m)} \quad \dots\dots\dots(2.27)$$

- Bila digeneralisasi untuk sejumlah n material, maka

$$E_c = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (V_i/E_i)} \quad \dots\dots\dots(2.28)$$



Gambar. 2.7 Modulus longitudinal dan transversal komposit sebagai fungsi fraksi volume

- untuk menghasilkan modulus transversal komposit dua kali modulus matrik diperlukan 55% fraksi volume serat.
- sedangkan untuk modulus longitudinal hanya dibutuhkan 11% fraksi volume serat

- Pendekatan empirik untuk memprediksi regangan patah komposit arah transversal

$$E_c = \varepsilon_{mB} \left(1 - V_f^{1/3} \right) \dots\dots\dots(2.29)$$

- Dengan: ε_{CB} = regangan patah komposit
 ε_{mB} = regangan patah matrik
 V_f = fraksi volume serat