

## SIMULASI PENGARUH PARAMETER DISTRIBUSI ORIENTASI SERAT MWNT TERHADAP KEKUATAN TARIK DARI KOMPOSIT HYBRID EPOXY/GLASS-MWNT

Iwan Dwi Antoro

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI

### ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh parameter distribusi orientasi serat MWNT terhadap kuat komposit hybrid Glass/Epoxy-MWNT. Komposit hybrid ini dipandang sebagai system komposit polimer/serat kontinu/serat pendek. Beberapa peneliti menyatakan bahwa orientasi serat pendek tidak bisa diabaikan karena berperan penting terhadap sifat mekanik suatu komposit. Disini kuat tarik komposit hybrid dihitung dengan menggunakan model Rule of Hybrid Mixtures (RoHM) dan Rule of Mixtures (ROM). Dalam RoHM, komposit hybrid ini dimodelkan tersusun dari dua jenis komposit yaitu komposit berpenguat serat kontinu dan komposit berpenguat serat pendek. Kuat tarik komposit berpenguat serat pendek dihitung dengan menggunakan metode Laminate Analogy Approach (LAA) dengan menerapkan variasi kombinasi parameter distribusi orientasi, sedangkan kuat tarik komposit berpenguat serat kontinu dihitung dengan ROM. Selanjutnya kuat tarik komposit hybrid dihitung dengan RoHM. Untuk menghitung kuat tarik komposit hybrid dengan model ROM, maka komposit berpenguat serat MWNT diasumsikan sebagai matriknya dan gelas sebagai seratnya. Penelitian ini menunjukkan bahwa distribusi orientasi serat MWNT akan berpengaruh terhadap sifat kuat tarik komposit hybrid.

**Kata kunci:** komposit hybrid, Carbon Nanotube, Laminate Analogy Approach (LAA), RoHM, RoM, Fiber Orientation Distribution (FOD)

### Abstract

*It had been conducted a research about the effect of fiber orientation distribution parameters on tensile strength of hybride composites Glass/Epoxy-MWNT. Hybride composites was treated as composite system of polymer/continuous fiber/short fiber. Some researchers stated that orientation distribution in short fibre reinforced composites had important role in mechanical properties of composites. tensile strength of hybride composites was calculated by using Rule of Hybride Mixtures (RoHM) and Rule of Mixtures (RoM). In RoHM, hybrid composites consisted of two types of composites, namely: continuous fibre reinforced composites and short fibre reinforced composites. Tensile strength of short fibre reinforced composites was calculated by using laminate analogy approach (LAA) by applying varied orientation distribution parameters, while Tensile strength of continuous fibre reinforced composites was calculated by using ROM. Then, tensile strength of hybride composites was calculated by using RoHM. Whereas, to calculate tensile strength of hybride composites by using ROM, short fibre reinforced composites was assumed as a matrix and glass as fibre. This research showed that orientation distribution of MWNT fibre will effect to tensile strength of hybride composites.*

**Keywords:** hybride composites, Carbon Nanotube, Laminate Analogy Approach (LAA), RoHM, RoM, Fiber Orientation Distribution (FOD)

### Pendahuluan

Salah satu masalah fundamental dalam material komposit adalah bagaimana memprediksi sifat mekanik dan fraksi volume dari setiap konstitun dalam komposit (serat dan matrik). Bukan hal mudah untuk memprediksi secara akurasi sifat mekanik dari komposit. Dalam

penelitian sebelumnya, telah dipelajari pengaruh parameter distribusi orientasi serat MWNT terhadap modulus elastis komposit hybrid Glass/Epoxy-MWNT. Tetapi kekuatan tariknya belum dipelajari. Dalam penelitian ini, dilakukan studi lebih jauh tentang kekuatan tarik dari komposit hybrid Glass/Epoxy-MWNT.

Pada penelitian ini simulasi pengaruh parameter distribusi orientasi serat MWNT pada komposit hybrid Epoxy/Glass-MWNT telah dilakukan. Sistem komposit hybrid dapat dipandang sebagai komposit polimer/ serat kontinyu/ serat pendek. Model RoHM digunakan untuk menghitung modulus elastisnya. RoHM sering digunakan untuk memprediksi sifat mekanik dari komposit hybrid. RoHM digunakan dalam makalah ini untuk memprediksi kekuatan tarik dari komposit polimer/serat kontinyu/serat pendek. Dalam RoHM, diasumsikan bahwa komposit hibridi terdiri dari dua buah komposit yang terpisah, yaitu komposit polimer berpenguat serat pendek dan komposit polimer berpenguat serat kontinyu. Sehingga tidak ada interaksi antara serat pendek dan serat kontinyu. Pada kenyataannya kedua serat tersebut berada pada komposit yang sama. Kekuatan tarik dari komposit berpenguatn serat pendek dihitung dengan pendekatan laminate analogy approach, sementara komposit berpenguat serat kontinyu dihitung dengan ROM. Kemudian kekuatan tarik komposit hybrid Epoxy/Glass-MWNT dihitung dengan emnggunakan RoHM. Hasil-hasil simulasinya kemudian dibandingkan dengan hasil percobaan eksperimen dan dengan model lainnya.

**Teori**

*A. Kekuatan tarik Komposit Berpenguat Serat*

Persamaan untuk menghitung kekuatan komposit jenis ini menggunakan prinsip RoM (Rule of hybride mixture) sebagai berikut

$$\bar{\sigma}_{c1} = \bar{\sigma}_{f1}v_f + \bar{\sigma}_{m1}v_m \tag{1}$$

Berdasarkan asumsi bahwa matrik bersifat isotropic dan serat bersifat ortotropik, dan baik serat maupun matrik mengikuti hukum Hooke

$$\bar{\sigma}_{c1} = E_1\bar{\epsilon}_{c1}; \bar{\sigma}_{f1} = E_{f1}\bar{\epsilon}_{f1}; \bar{\sigma}_{m1} = E_{m1}\bar{\epsilon}_{m1} \tag{2}$$

Persamaan (1) menjadi

$$E_1\bar{\epsilon}_{c1} = E_{f1}\bar{\epsilon}_{f1}v_f + E_{m1}\bar{\epsilon}_{m1}v_m \tag{3}$$

Karena ikatan antara serat dan matrik diasumsikan sempurna (tak ada void), maka regangan serat dan matrik dapat ditulis sebagai berikut,

$$\bar{\epsilon}_{c1} = \bar{\epsilon}_{f1} = \bar{\epsilon}_{m1} \tag{4}$$

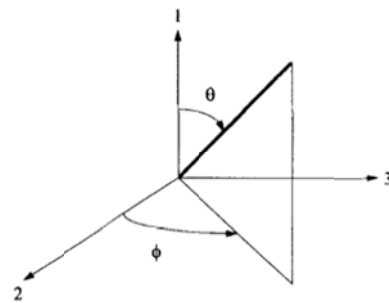
Dengan mensubstitusikan persamaan (4) ke persamaan (3), kita akan mendapatkan persamaan ROM untuk modulus elastis longitudinal

$$E_1 = E_{f1}v_f + E_mv_m \tag{5}$$

Persamaan (5 memprediksi modulus elastis longitudinal dan fraksi volum serat dalam komposit.

*B. Komposit Berpenguat Serat Pendek*

Orientasi serat dalam komposit dapat didefinisikan dengan sepasang sudut ( $\theta, \phi$ ), seperti pada gambar 1,  $\theta$  adalah sudut yang dibentuk oleh arah serat dan sumbu 1.  $\phi$  adalah sudut yang dibentukoleh proyeksi serat terhadap bidang 2-3 dan sumbu 2. Ketika gaya bekerja pada sumbu 1,  $\theta$  adalah satu-satunya sudut yang diperlukan untuk mengevaluasi modulus elastis dari komposit berpenguat serat pendek pada arah tersebut.



Gambar 1 Deskripsi orientasi serat  
Laminate analogi approach (LAA) digunakan untuk memprediksi modulus elastis komposit berpenguat serat pendek.

Untuk komposit berpenguat serat pendek yang searah, modulus elongitudinal,  $E_{11}$ , tergantung dari rasio aspek serat,  $\beta$ ,  $L/(2r_f)$ , dimana  $L$  adalah panjang serat dan  $r_f$  adalah jari-jari serat. Berdasarkan model Shear lag Cox,  $E_{11}$  dapat ditulis sebagai berikut [16]

$$E_{11} = E_f \left[ 1 - \frac{\tanh(\beta L/2)}{\beta L/2} \right] V_f + E_m(1 - V_f)$$

dimana  $V_f$  adalah fraksi volum dan  $E_f$  adalah modulus elastis serat.

$\beta$  diberikan oleh persamaan berikut [16,17],

$$\beta = \left[ \frac{2G_m}{E_f r_f^2 \ln(R/r_f)} \right]^{1/2} \quad (7)$$

Dimana  $G_m$  adalah modulus geser matrik. Untuk serat dengan susunan konfigurasi hexagonal dapat ditulis sebagai berikut,

$$\frac{\ln R}{r_f} = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{2\pi}{\sqrt{3}V_f} \right) \quad (8)$$

Untuk susunan segiempat

$$\frac{\ln R}{r_f} = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{\pi}{V_f} \right) \quad (9)$$

Modulu transversal dan geser,  $E_{22}$  dan  $G_{12}$  diberikan sebagai berikut [18,19]

$$E_{22} = \frac{E_m(1 + 2\eta_1 V_f)}{(1 - \eta_1 V_f)} \quad (10)$$

$$G_{12} = \frac{G_m(1 + \eta_2 V_f)}{(1 - \eta_2 V_f)} \quad (11)$$

dimana

$$\eta_1 = \frac{\left( \frac{E_f}{E_m} - 1 \right)}{\left( \frac{E_f}{E_m} + 2 \right)} \quad (12)$$

$$\eta_2 = \frac{\left( \frac{G_f}{G_m} - 1 \right)}{\left( \frac{G_f}{G_m} + 1 \right)} \quad (13)$$

Dimana  $G_f$  adalah modulus geser serat.

Untuk rasio poisson longitudinal,  $\nu_{12}$ , dimana tidak sensitive terhadap panjang serat, kita dapat menggunakan ROM sebagai berikut

$$\nu_{12} = \nu_f V_f + \nu_m(1 - V_f) \quad (14)$$

Dimana  $\nu_f$  dan  $\nu_m$  adalah rasio poisson dari serat dan matrik. Rasio poisson,  $\nu_{21}$ , dapat dihitung sebagai berikut

$$\nu_{21} = \frac{\nu_{12} E_{22}}{E_{11}} \quad (15)$$

Matrik kekakuan,  $Q_{ij}$ , yang menghubungkan antara tegangan dan regangan komposit uniaxial dimana tegangan utamanya searah dengan arah serat, ditulis sebagai

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{16} \\ Q_{12} & Q_{22} & Q_{26} \\ Q_{16} & Q_{26} & Q_{66} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \end{Bmatrix} \quad (16)$$

dimana,

$$Q_{11} = E_{11}/(1 - \nu_{12}\nu_{21})$$

$$Q_{12} = \nu_{21}Q_{11}$$

$$Q_{16} = 0$$

$$Q_{22} = E_{22}/(1 - \nu_{12}\nu_{21})$$

$$Q_{26} = 0$$

$$Q_{66} = G_{12}$$

Hubungan tegangan regangan pada sumbu non-utama dapat ditulis sebagai berikut,

$$\begin{Bmatrix} \sigma'_1 \\ \sigma'_2 \\ \sigma'_{12} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Q'_{11} & Q'_{12} & Q'_{16} \\ Q'_{12} & Q'_{22} & Q'_{26} \\ Q'_{16} & Q'_{26} & Q'_{66} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon'_1 \\ \varepsilon'_2 \\ \gamma'_{12} \end{Bmatrix} \quad (17)$$

Persamaan transformasi yang menghubungkan matrik kekakuan pada sumbu utama dan sumbu non-utama dapat dinyatakan sebagai berikut

$$\begin{Bmatrix} Q'_{11} \\ Q'_{22} \\ Q'_{12} \\ Q'_{66} \\ Q'_{16} \\ Q'_{26} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} m^4 & n^4 & 2m^2n^2 & 4m^2n^2 \\ n^4 & m^4 & 2m^2n^2 & 4m^2n^2 \\ m^2n^2 & m^2n^2 & m^2n^2 + n^4 & 4m^2n^2 \\ m^2n^2 & m^2n^2 & -2m^2n^2 & (m^2 - n^2)^2 \\ m^3n & -mn^3 & mn^3 - m^3n & 2(mn^3 - m^3n) \\ mn^3 & -m^3n & m^3n - mn^3 & 2(m^3n - mn^3) \end{bmatrix}$$

Dimana  $m = \cos \theta$  dan  $n = \sin \theta$ . Konstanta kekakuan transformasi,  $Q'_{ij}$ , diintegrasikan terhadap ketebalan laminasi untuk memperoleh matrik kekakuan laminasi,  $\bar{A}_{ij}$ :

$$\bar{A}_{ij} = \sum_{k=1}^M Q'_{ij} h_k \tag{19}$$

Dimana  $M$  adalah jumlah lapisan dalam laminasi;  $k$  adalah index setiap lapisan dalam laminasi; dan  $h_k$  adalah fraksi ketebalan dari lapisan ke- $k$ . Jika serat pendek dalam kompositnya adalah bersifat kontinyu dalam sudut orientasinya dan dalam panjangnya, maka lapisan ke- $k$  dapat dimodelkan terdiri dari serat dengan panjang  $L$  dan  $L+dL$ , dan sudut orientasi antara  $\theta$  and  $d\theta$ . Kemudian sumasi persamaan (19) dapat ditulis sebagai berikut

$$\bar{A}_{ij} = \int_{L_{min}}^{L_{max}} \int_{\theta_{min}}^{\theta_{max}} Q_{ij} f(L) g(\theta) dL d\theta \tag{20}$$

dimana  $0 \leq L_{min} \leq L \leq L_{max} < \infty$  and  $0 \leq \theta_{min} \leq \theta \leq \theta_{max} \leq \pi/2$ .  $f(L)$  dan  $g(\theta)$  adalah fungsi kerapatan probabilitas panjang serat dan fungsi kerapatan probabilitas orientasi serat.  $f(L)$  diberikan oleh persamaan berikut [3, 17, 20, 21, 22]

$$f(L) = abL^{b-1} \exp(-aL^b) \text{ for } L > 0 \tag{21}$$

Dimana  $a$  dan  $b$  adalah parameter skala dan bentuk dari kurva distribusi. Dari persamaan (21) kita mendapatkan panjang serat rata-rata.

$$L_{mean} = \frac{\int_0^{\infty} L f(L) dL}{\int_0^{\infty} f(L) dL} = a^{-1/b} \Gamma(1/b + 1) \tag{22}$$

Dimana  $\Gamma(x)$  adalah fungsi gamma. Fungsi distribusi orientasi diberikan oleh persamaan berikut [17, 20, 21, 22]

$$g(\theta) = \frac{(\sin \theta)^{2p-1} (\cos \theta)^{2q-1}}{\int_{\theta_{min}}^{\theta_{max}} (\sin \theta)^{2p-1} (\cos \theta)^{2q-1} d\theta} \tag{23}$$

Dimana  $p$  dan  $q$  adalah parameter bentuk dari kurva distribusi orientasi. Sudut orientasi rata-rata diturunkan dari persamaan (23),

$$\theta_{mean} = \int_{\theta_{min}}^{\theta_{max}} \theta g(\theta) d\theta \tag{24}$$

Dengan mendiferensiasikan persamaan (23) dan membuat hasilnya menjadi 0, diperoleh persamaan sebagai berikut,

$$\theta_{mod} = \arctan \left[ \frac{2p-1}{2q-1} \right]^{1/2} \tag{25}$$

Persamaan (25) menyatakan sudut orientasi yang mungkin sering muncul. Koefisien orientasi serat  $f_0$ , dapat didefinisikan sebagai berikut,

$$f_{\theta} = 2 \int_{\theta_{min}}^{\theta_{max}} g(\theta) \cos^2(\theta) d\theta - 1 \quad (26)$$

Model mikromekanik dari komposit hybride dalam makalah ini mengacu pada model maklah sebelumnya [22].

**Kekuatan Tarik Komposit Hybrid Glass/Epoxy-MWNT.**

RoHM (Rule of Hybride Mixtures) digunakan untuk menghitung modulus elastis komposit hybrid dalam studi sebelumnya. Pada makalah ini modulus elastis komposit hybrid yang dihitung dengan RoHM akan digunakan untuk menghitung kekuatan tariknya. Berdasarkan orientasi dari sudut rata-rata distribusi orientasi serat MWNT terhadap arah serat gelas, kekuatan tarik akan mencapai nilai maksimum jik orientasi sudut rata-rata MWNT searah dengan arah serat gelas, seperti diilustrasikan pada gambar. Nila minimum kekuatan tarik akan tercapai jika orientasi sudut rata-ratanya tegak lurus terhadap arah serat gelas.

Tabel 1 menyajikan karakteristik epoxy, glass, dan MWNT yang digunakan dalam simulasi untu mengevaluasi modulus elastis longitudinal dari komposit hybrid. Kemudian hasil simulasinya dibandingkan dengan hasil eksperimen dan dengan model lain pada tabel 2 [11].

Tabel 1. Karaktristik Epoxy, Glass, dan MWNT[11]

	Epoxy	Glass	MWNT
Density(gram/cm <sup>3</sup> )	1,17	2,6	2,1
Tensile strenth (GPa)	0,096	0,512	11
Elastic modulus(Gpa)	2,482	38	270
Elongation	0,028	0,0135	
Diameter (nm)		17000	20
Length (µm)		150000	15

Tabel 2. Kekuatan tarik komposit hybrid diperoleh dari hasil eksperimen [11]

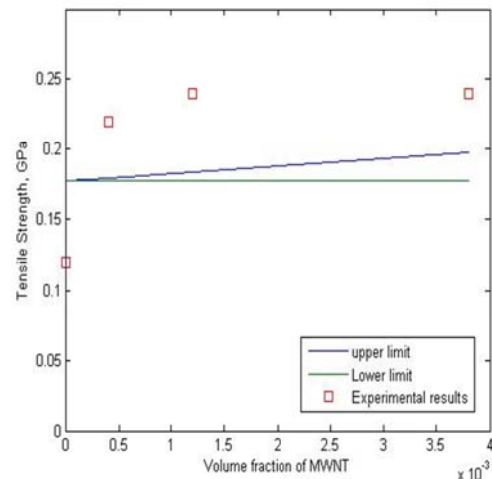
V <sub>glass</sub>	MWNT		Kekuatan tarik (GPa)
	% berat	VCNT	Hasil Eksperimen
0,31±0,01	0	0	0.12
0,28±0,03	0,1	0,0004	0.22
0,27±0,01	0,3	0,0012	0.24
0,31±0,02	1,0	0,0038	0.24

**Hasil Penelitian dan Diskusi**

Hasil-hasil simulasi disajikan dalam tabel dibawah untuk berbagai parameter distribusi orientasi (p dan q). Hasil-hasil ini dibandingkan dengan nilai eksperimen, seperti ditunjukkan gambar 4 sampai dengan gambar 8.

Tabel 3. Kekuatan tarik komposit hybrid berdasarkan model RoHM untuk p=0,5 dan q=10<sup>6</sup>

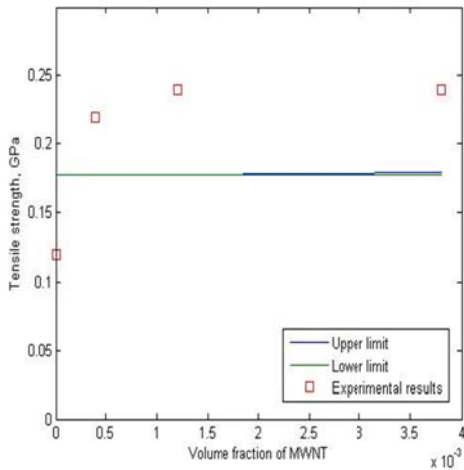
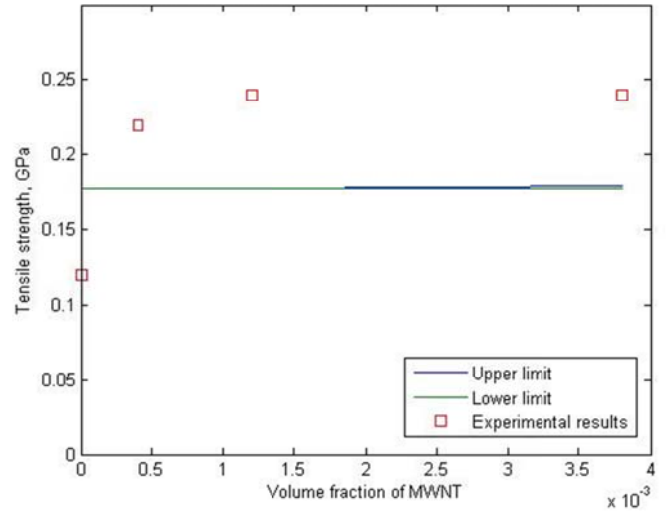
V <sub>glass</sub>	MWNT		Kekuatan tarik	
	% Berat	VCNT	Atas (GPa)	Bawah (GPa)
0,31±0,01	0	0	0.17735	0.17735
0,28±0,03	0,1	0,0004	0.179469	0.177404
0,27±0,01	0,3	0,0012	0.183695	0.177512
0,31±0,02	1,0	0,0038	0.197465	0.177876



Gambar 4. Perbandinagn kekuatan tarik komposit hibrid antara hasil ekperimen dan hasil simulasi model I ( $p = 0,5$  and  $q = 10^6$ )

Tabel 4. Kekuatan tarik komposit hybrid berdasarkan model RoHM untuk  $p=q=0.5$

V <sub>glass</sub>	MWNT		Kekuatan tarik	
	% Berat	VCNT	Atas (GPa)	Bawah (GPa)
0,31±0,01	0	0	0.17735	0.17735
0,28±0,03	0,1	0,0004	0.177539	0.177417
0,27±0,01	0,3	0,0012	0.17793	0.177566
0,31±0,02	1,0	0,0038	0.179199	0.178038



Gambar 5. Perbandingan kekuatan tarik komposit hibrid antara hasil ekserimen dan hasil simulasi model I ( $p = 0,5$  and  $q = 0,5$ )

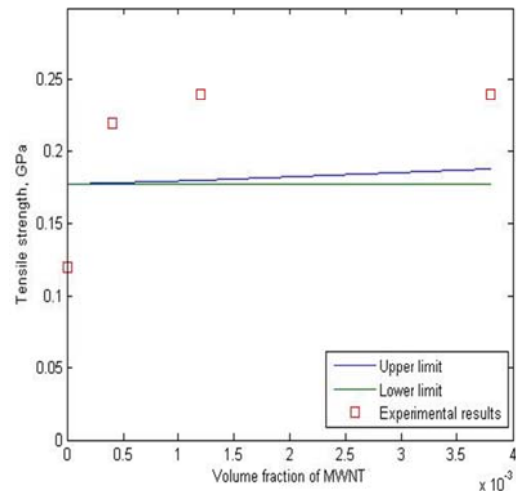
Tabel 5. Kekuatan tarik komposit hybrid berdasarkan model RoHM untuk  $p=q=1$

V <sub>glass</sub>	MWNT		Kekuatan tarik	
	% Weight	VCNT	Atas (GPa)	Bawah (GPa)
0,31±0,01	0	0	0.17735	0.17735
0,28±0,03	0,1	0,0004	0.177552	0.177431
0,27±0,01	0,3	0,0012	0.17793	0.177579
0,31±0,02	1,0	0,0038	0.179145	0.178038

Gambar 6. Perbandingan kekuatan tarik komposit hibrid antara hasil eksperimen dan hasil simulasi model I ( $p = 1$  and  $q = 1$ )

Tabel 6. Kekuatan tarik komposit hybrid berdasarkan model RoHM untuk  $p=0.5$  and  $q=2$

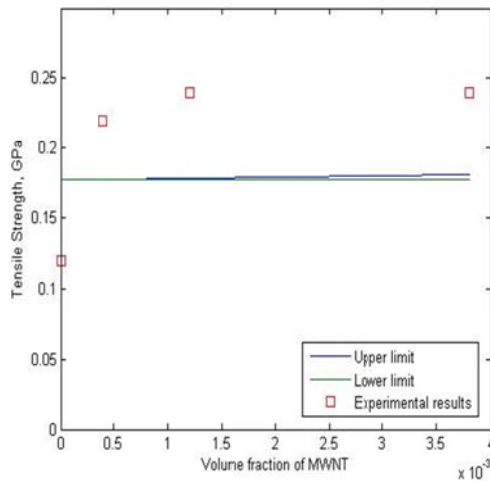
V <sub>glass</sub>	MWNT		Kekuatan tarik, GPa	
	% Berat	VCNT	Atas (GPa)	Bawah (GPa)
0,31±0,01	0	0	0.17735	0.17735
0,28±0,03	0,1	0,0004	0.178443	0.177404
0,27±0,01	0,3	0,0012	0.180644	0.177485
0,31±0,02	1,0	0,0038	0.187745	0.177782



Gambar 7. Perbandingan kekuatan tarik komposit hibrid antara hasil eksperimen dan hasil simulasi model I (p = 0,5 and q = 2)

Tabel 7. Kekuatan tarik komposit hibrid berdasarkan model RoHM untuk p=1 and q=2

V <sub>glass</sub>	MWNT		Kekuatan tarik	
	% Berat	VCNT	Atas (GPa)	Bawah (GPa)
0,31±0,01	0	0	0.17735	0.17735
0,28±0,03	0,1	0,0004	0.177782	0.177404
0,27±0,01	0,3	0,0012	0.178673	0.177485
0,31±0,02	1,0	0,0038	0.181535	0.177755



Gambar 8. Perbandingan modulus elastis komposit hibrid antara hasil eksperimen an hasil simulasi model I (p = 1 and q = 2)

Tabel 8. Data  $\theta_{mean}$ ,  $\theta_{mod}$ , dan  $f_{\theta}$  untuk kombinasi berbagai nilai p dan q yang diperoleh dari hasil simulasi

p	q	$\theta_{mean}$	$\theta_{mod}$	$f_{\theta}$
0,5	10 <sup>6</sup>	0.055	0	0.99
1	2	0,589	0,524	0.33
1	1	0,785	0,785	0
0.5	2	0.0404	0	0.59
0,5	0,5	0,785	No	0

Untuk membantu menginterpretasikan hasil simulasi, diperlukan data dari nilai of  $\theta_{mean}$ ,  $\theta_{mod}$ , and

$f_{\theta}$  untuk setiap pasangan nilai p dan q. Data  $\theta_{mean}$ ,  $\theta_{mod}$ , and  $f_{\theta}$  untuk kombinasi nilai p dan q diperoleh dari simulasi disajikan pada tabel 8.

Data yang disajikan pada tabel 3 dan gambar 4 adalah hasil simulasi kekuatan tarik dari komposit hibrid untuk nilai p=0,5 dan nilai q=10<sup>6</sup>. Seperti ditunjukkan pada gambar 4, parameter orientasi serat p=0,5 dan q=10<sup>6</sup> akan menyebabkan distribusi orientasi serat pendek saling sejajar, dengan koefisien distribusi orientasi  $f_{\theta} = 0,99$  dan sudut orientasi rata-rata sama dengan 0 (tabel 8). Kekuatan tarik meningkat dengan meningkatnya volume fraksi MWNT [11] seperti ditunjukkan dalam gambar 4. Kekuatan tarik longitudinal mencapai maksimu ketika orientasi serat MWNT saling sejajar satu sama lainnya [8]. Nilai kekuatan tarik komposit hibrid hasil eksperimen untuk semua fraksi volume MWNT berada diluar area antara kekuatan tarik atas dan kekuatan tarik bawah. Hasil ini sesuai dengan hasil studi sebelumnya untuk modulus elastis [1].

Data pada tabel 4 dan gambar 5 menyajikan hasil simulasi utnuk kekuatan tarik model RoHM untuk nilai p=0,5 dan q=0,5. Tabel 8 menunjukkan parameter p dan q seperti itu akan memberikan koefisien distribusi,  $f_{\theta} = 0,785$  dan  $\theta_{mean} = 0.785$  (45°). itu berarti distribusi orientasi MWNT adalah sama untuk semua arah  $\theta$ . Gambar 5 menunjukkan bahwa kekuatan tarik atas dan kekuatan tarik bawah dari model RoHM hampir bersentuhan, disebabkan oleh distribusi orientasi serat MWNT-nya sama untuk semua nilai  $\theta$ . Hal itu menyebabkan kekuatan tarik komposit MWNT/Epoxy menjadi isotropic. Sehingga menyebabkan kekuatan tari longitudinal atas dan bawah dari komposit hibrid bersentuhan dan mencapai nilai terendahnya [8].

Data pada tabel 5 dan gambar 6 menyajikan hasil simulasi kekuatan tarik

komposit hybrid model RoHM untuk nilai  $p=q=1$ . Berdasarkan data pada tabel 8, nilai  $p$  dan  $q$  seperti itu akan memberikan koefisien orientasi serat,  $f_0 = 0$  and sudut rata-rata sebesar  $0.785$  ( $45^\circ$ ). Jika kekuatan tarik model I dibandingkan dengan kekuatan tarik untuk  $p=q=0,5$  dan  $p=q=1$ , keduanya mempunyai nilai kekuatan tarik atas dan bawah yang sama seperti ditunjukkan pada tabel 4 dan 5. Perbedaannya dengan model I ( $p=q=0,5$ ) adalah kekuatan tarik komposit berpenguat serat pendeknya bersifat tidak isotropic disebabkan ketidakhomogenan distribusi orientasi serat pendeknya. Nilai modulus sudut orientasi untuk parameter  $p=q=0,5$  tidak ada karena distribusi orientasi serat sama untuk semua arah, sementara nilai modulus untuk sudut orientasi untuk parameter  $p=q=1$  adalah sebesar  $45^\circ$  (table 8).

Data pada tabel 6 dan gambar 7 menyajikan hasil simulasi komposit hybrid model RoHM untuk nilai  $p=0,5$  dan  $q=2$ . Nilai koefisien orientasi  $f_0 = 0,59$  (tabel 8) and sudut rata-rata,  $\theta_{mean} = 0.0404$ . dari gambar 7, terlihat bahwa kekuatan tarik hasil eksperimen untuk semua fraksi volum MWNT berada di luar area antara kekuatan tarik atas dan bawah.

Data pada tabel 7 dan gambar 8 menyajikan hasil simulasi komposit hybrid model RoHM untuk nilai  $p=1$  dan  $q=2$ . Nilai  $p$  dan  $q$  tersebut akan memberikan nilai koefisien orientasi,  $f_0 = 0,33$  dan sudut rata-rata,  $\theta_{mean}$ , sebesar  $0,589$  (tabel 8).

### Kesimpulan

- Model RoHM dapat mensimulasikan kekuatan tarik longitudinal atas dan bawah dari komposit hybrid Glass/Epoxy-MWNT.
- Model RoHM akan memberikan nilai kekuatan tarik komposit hybrid yang

meningkat dengan meningkatnya fraksi volum MWNT.

- Dalam model RoHM, parameter distribusi orientasi serat MWNT akan menentukan bentuk kurva distribusi yang akan mempengaruhi terhadap nilai kekuatan tarik longitudinal komposit hybrid. Kekuatan tarik akan mencapai nilai maksimumnya jika orientasi MWNT sejajar satu dengan lainnya dan sudut rata-ratanya searah dengan arah serat gelas. Kekuatan tarik akan mencapai nilai minimumnya jika distribusi orientasi MWNT sama untuk semua arah acak sempurna).

### Daftar Pustaka

- Iman Eslami Afrooz, Andreas Ochsner, Moones Rahmandoust, "Effects of the carbon nanotube distribution on the macroscopic stiffness of composite materials", *Computational Materials Science*, 51,422-429, (2012).
- Shao Yun Fu, Guanshui Xu, Yiu Wing Mai, "On the elastic modulus of hybrid particle/short fiber/polymer composites", *Composites, part B*, 33, 291-299, (2002).
- Shao Yun Fu, Bernd Lauke, "Effects of fiber length and fiber orientation distribution on the tensile strength of short fiber reinforced polymers", *Composition Science and Technology*, 56, 1179-1190, (1996).
- Shao Yun Fu, Bernd Lauke, An analytical characterization of the anisotropy of the elastic modulus of misaligned short fiber reinforced polymers. *Composites Science and Technology*, 58, 1961-1972.
- H. Wan, F. Delale, L. Shen, "Effect of CNT length and CNT-matrix interphase in carbon nanotube (CNT) reinforced composites", *Mechanics Research Communication*, 32, 481-489, (2005).



- Zhihang Fan, Suresh G. Advani, “Characterization of orientation state carbon nanotube in shear flow”, *Polymer*, 46, 5232-5240, (2005).
- J.R. Wood, O. Zhao, H.D. Wagner, “Orientation, of carbon nanotubes in polymers and its detection by raman spectroscopy”, *Composites: Part A*, 32, 391-39, (2001).
- Yue Han, James Elliott, “Molecular dynamics simulations of the elastic properties of polymer/carbon nanotube composites” *Computational Materials Science*, 39, 315-323, (2007).
- Shao Yun Fu, Bernd Lauke, “The elastic modulus of misaligned sort fiber reinforced composites”, *Composites Science and Technology*, 58, 389-400, (1998).
- Francesca Cosmi, “A micro mechanical model of the elastic properties of a short fibre reinforced polyamide”, *Prosedia Engineering*, 10, 2135-2140, (2011).
- Arwanto, ”Synthesis of hybrid composites glass/epoxy-MWNT and analyze using micromechanic model”, *Disertasi-Universitas Indonesia, Jakarta*, (2012).
- Bal, S and S S Amal, “Carbon nanotube reinforced polymer composites-A State of the art”, *Bull. Mater. Sci*, Vol. 30, No. 4, 379-386, (2007).
- Jamshid Aghazadeh Mohandesi, Ali Sangghaleh, Ali Nazari, Navid Pourjavad, “Analytical modeling of strength in randomly oriented PP and PPTA short fiber reinforced gypsum composites”, *Computational Materials Science*, 50, 1619-1624, (2011).
- Modniks J., Andersons J., “Modelling elastic properties of short flax fiber reinforced composites by orientation averaging”, *Computational Materials Science*, 50, 595-599, (2010).
- Koen Decroos, Marc Seefeldt, Carsten Ohms, Roumen Petrov, Frederik Verhaeghe, Leo Kestens, “Calculation of macroscopic elasto-plastic anisotropy based on analytical expression of the orientation distribution function in the case of fibre textures”, *Computational Materials Science*, 68, 263-270, (2013).
- Cox HL, “The elasticity and strength of paper and other fibrous materials”, *Br J Appl Phys*, 3, 72-79, (1952)
- Halpin JC, Tsai SW, “ Environmental factors in composite materials design”, *AFML TR*, 67-423, (1967).
- Halpin JC, “Stiffness and expansion estimates for oriented short fiber composites”, *Journal Composites Material*, 3, 732-5, (1969).
- Fu SY, Lauke B, “ The fibre pull out energy of misaligned short fiber reinforced polymers. *Journal of material science*, 32, 1985-93, (1997).
- Fu SY, Yue CY, Hu X, Mai YW, “Characerization of fiber length distribution of short fiber reinforced thermoplastics”, *Journal of Material Science Letter*, 20, 31-3, (2001)
- Ronald F. Gibson, “Principles of Composite Material Mechanics”, *McGraw-Hill*, 1994
- Iwan Dwi Antoro, Bambang Soegijono, Andika W Pramono, Simulation of Effect of Orientation Distribution Parameters of MWNT Fiber on Tensile Strength of Hybride Composites Epoxy/Glass-MWNT, *Asian Transaction on Science & Technology volume 03 Issue 03*, 2013