

# PENGARUH KANDUNGAN AIR TERHADAP KEAUSAN ABRASI PADA KOMPOSIT GRAPHITE-EPOXY

Satryo Soemantri<sup>\*)</sup>

## RINGKASAN

Pengaruh kandungan air terhadap keausan abrasi pada komposit graphite-epoxy diamati dengan menggunakan alat pengujian keausan abrasi. Difusivitas komposit graphite epoxy dihitung setelah spesimen dicelupkan ke dalam air dan ternyata difusivitas tergantung pada orientasi fiber terhadap dimensi spesimen. Laju keausan abrasi pada komposit graphite-epoxy yang basah lebih besar 10% daripada yang kering.

## 1. PENDAHULUAN

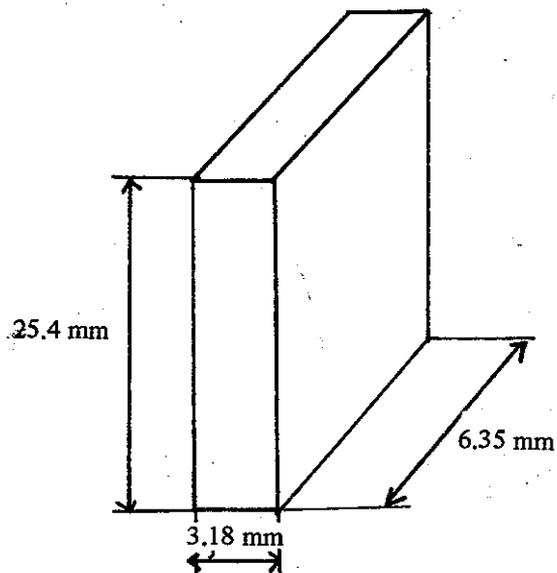
Pemakaian bahan komposit sedang menanjak pada saat ini. Hampir setiap bidang sudah memulai memakai bahan komposit, hal ini karena sifat-sifat bahan tersebut yang menguntungkan yaitu ringan dan kuat. Disamping sifatnya yang ringan dan kuat, maka komposit juga mempunyai kelemahan seperti halnya anisotropi, sensitif terhadap air, dapat mengalami kerusakan jika dikenakan bahan-bahan kimia yang melarutkan dan mahalnya biaya manufacturing. Hal ini menyebabkan peneliti-peneliti mempelajari sifat komposit secara intensif untuk kemudian mencoba memperbaikinya.

Pengaruh kandungan air terhadap sifat-sifat bahan komposit telah diteliti oleh beberapa orang [1-8]. Hampir semua hasil penelitian menunjukkan bahwa air akan melemahkan sifat-sifat mekanis bahan komposit. Akan tetapi pengaruh kandungan air terhadap keausan abrasi pada komposit belum diteliti. Keausan abrasi didefinisikan sebagai pengikisan bahan akibat adanya gesekan dengan suatu permukaan yang kasar atau partikel-partikel yang abrasif. Keausan abrasi menjadi suatu masalah yang cukup besar pada industri-industri pertambangan dan industri-industri lain yang aplikasinya menggunakan bahan yang berbentuk partikel atau granular. Oleh karena bahan komposit juga akan dipakai pada industri-industri tersebut dan karena komposit tersebut akan selalu berkontak dengan udara, air dan sebagainya, maka perlu diteliti pengaruh air terhadap keausan abrasinya.

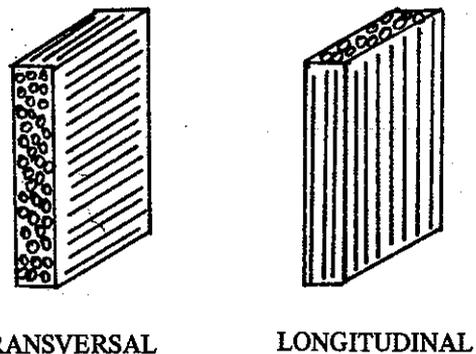
Dalam penelitian ini, penyerapan air diukur sebagai fungsi dari waktu lamanya sebuah spesimen dicelupkan ke dalam air. Laju penyerapan air dinyatakan sebagai koefisien difusi. Koefisien difusi dihitung berdasarkan model teoritis dan data eksperimen. Koefisien difusi dapat dipakai sebagai ukuran relatif untuk laju penyerapan air dan lemahnya sifat mekanis.

## 2. METODA PENELITIAN

Bahan yang dipakai untuk penelitian adalah unidirectional graphite-epoxy yang dimensinya tertera pada gambar 1. Orientasi fiber terhadap dimensi



Gambar 1. Dimensi spesimen.

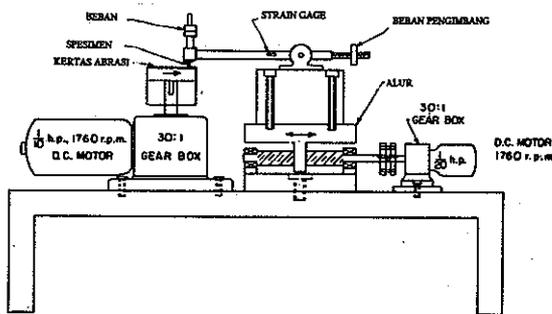


Gambar 2. Konfigurasi spesimen.

\*) Jurusan Mesin ITB.

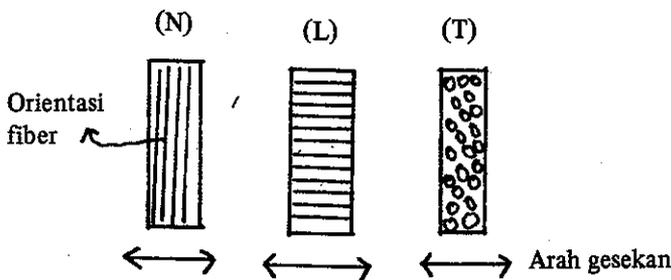
spesimen dibuat dalam 2 arah seperti terlihat pada gambar 2 yaitu transversal dan longitudinal. Spesimen-spesimen dicelupkan ke dalam air murni selama 22 hari pada temperatur kamar. Waktu tersebut dianggap cukup untuk mencapai titik jenuh dari penyerapan air. Untuk menentukan koefisien difusi, kandungan air maksimum dan lamanya penyerapan air, maka berat spesimen dimonitor sebagai fungsi dari waktu.

Spesimen-spesimen tersebut kemudian diuji untuk mengetahui laju keausan abrasinya. Alat pengujian yang digunakan adalah tipe pin-on-disc, yaitu spesimen yang berbentuk pin dibebani dan digesekkan terhadap bahan yang abrasif dalam hal ini adalah kertas abrasi (seperti yang digunakan untuk mempolis spesimen metalografis). Konfigurasi skematis dari alat pengujian tersebut dapat



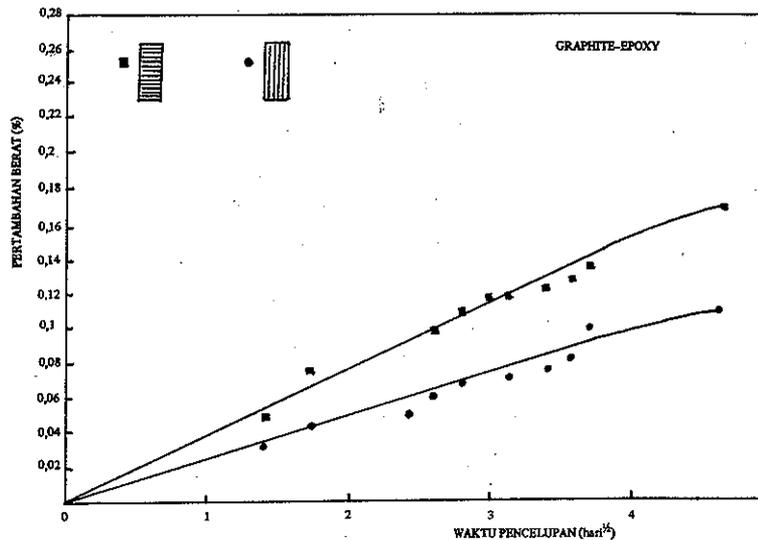
Gambar 3. Konfigurasi skematis dari alat pengujian keausan abrasi.

dilihat pada gambar 3. Besarnya partikel-partikel pada kertas abrasi yang digunakan adalah 115 micron dan bahannya adalah Silicon Carbide. Dalam pengujian ini terdapat 3 kondisi yang berbeda ditinjau dari segi orientasi fiber terhadap dimensi spesimen. Pertama, orientasi fiber adalah normal terhadap permukaan kertas abrasi (orientasi-N). Kedua, orientasi fiber adalah sejajar terhadap permukaan kertas abrasi dan arah gesekan (orientasi-L). Ketiga, orientasi fiber adalah sejajar terhadap permukaan kertas abrasi dan tegak lurus terhadap arah gesekan (orientasi-T). Orientasi tersebut dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Orientasi fiber terhadap arah gesekan pada proses abrasi.

Dalam pengujian, spesimen dibebani dengan beban yang tertentu dan digesekkan dalam arah spiral, agar supaya spesimen selalu bergesekan dengan partikel-partikel yang masih baru. Spesimen tersebut ditimbang dengan timbangan analitis setelah satu test, yaitu setelah spesimen tersebut bergesekan sepanjang  $\pm 1$  meter.



Gambar 5. Kandungan air sebagai fungsi dari waktu pencelupan.

### 3. DIFUSI

Pada gambar 5 terlihat prosentase pertambahan berat spesimen sebagai fungsi dari waktu pencelupan. Prosentase pertambahan berat didefinisikan sebagai berikut :

$$\text{pertambahan berat (\%)} = \frac{\text{berat spesimen basah} - \text{berat spesimen kering}}{\text{berat spesimen kering}} \times 100\%$$

Berat spesimen bertambah secara linier sampai tercapainya titik maksimum setelah 22 hari. Spesimen yang orientasi fibernya transversal lebih banyak menyerap air daripada yang orientasinya longitudinal. Kandungan air maksimum pada spesimen yang orientasi fibernya transversal adalah  $\pm 0,17\%$  sedangkan yang longitudinal  $0,11\%$ . Untuk menghitung koefisien difusi, maka digunakan hubungan yang diambilkan dari Shen [9] :

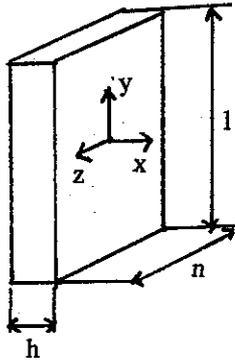
$$D = \frac{\pi M^2 h^2}{16 M_m^2 t} \quad (1)$$

D = difusivitas massa ( $\text{mm}^2/\text{detik}$ )

M = prosentase kandungan air

$h$  = tebal spesimen (mm)  
 $M_m$  = prosentase kandungan air maksimum  
 $t$  = waktu (detik)

Pada gambar 5 terlihat bahwa fungsi  $M$  terhadap  $t^{1/2}$  hampir mendekati linier, maka persamaan (1) dapat diterapkan untuk data penelitian ini. Dari hasil perhitungan maka diperoleh harga koefisien difusi untuk spesimen yang orientasi fibernya transversal sebesar  $1,25 \times 10^{-6}$  mm<sup>2</sup>/detik sedangkan untuk yang longitudinal sebesar  $1,09 \times 10^{-6}$  mm<sup>2</sup>/detik. Difusivitas bahan komposit tergantung pada orientasi fiber terhadap dimensi spesimen. Hal ini disebabkan karena air juga memasuki spesimen melalui sisi tepi dari spesimen (permukaan  $hn$  dan  $hl$  pada gambar 6,  $l$  = panjang spesimen dan  $n$  = lebar spesimen). Untuk komposit yang unidirectional (fibernya dalam satu arah), persamaan untuk  $D$  adalah sebagai berikut [9] :



Gambar 6. Geometri spesimen.

$$\begin{aligned}
 D = & D_T \left[ (1-\nu_f) \cos^2 \alpha + \left(1 - 2\sqrt{\frac{\nu_f}{\pi}}\right) \sin^2 \alpha \right] \\
 & \left[ 1 + \frac{h}{l} \sqrt{\frac{(1-\nu_f) \cos^2 \beta + \left(1 - 2\sqrt{\frac{\nu_f}{\pi}}\right) \sin^2 \beta}{(1-\nu_f) \cos^2 \alpha + \left(1 - 2\sqrt{\frac{\nu_f}{\pi}}\right) \sin^2 \alpha}} \right. \\
 & \left. + \frac{h}{n} \sqrt{\frac{(1-\nu_f) \cos^2 \gamma + \left(1 - 2\sqrt{\frac{\nu_f}{\pi}}\right) \sin^2 \gamma}{(1-\nu_f) \cos^2 \alpha + \left(1 - 2\sqrt{\frac{\nu_f}{\pi}}\right) \sin^2 \alpha}} \right]^2
 \end{aligned} \quad (2)$$

$D_T$  = difusivitas bahan matriks

$\nu_f$  = fraksi volume dari fiber

$\alpha, \beta, \gamma$  = orientasi fiber terhadap sumbu-sumbu  $x, y$  dan  $z$  (lihat gambar 6).

Untuk menghitung difusivitas dengan persamaan (2), harus diketahui besarnya harga  $\nu_f$ . Graphite-epoxy

yang digunakan di sini mempunyai fraksi volume fiber sebesar  $\nu_f = 0,6$ . Dengan memasukkan harga-harga  $\alpha = 90^\circ, \beta = 0^\circ, \gamma = 90^\circ$  untuk spesimen longitudinal dan  $\alpha = 90^\circ, \beta = 90^\circ, \gamma = 0^\circ$  untuk spesimen transversal ke dalam persamaan (2), maka,

$$D = 0,52 D_T \text{ (untuk yang orientasi fibernya transversal)}$$

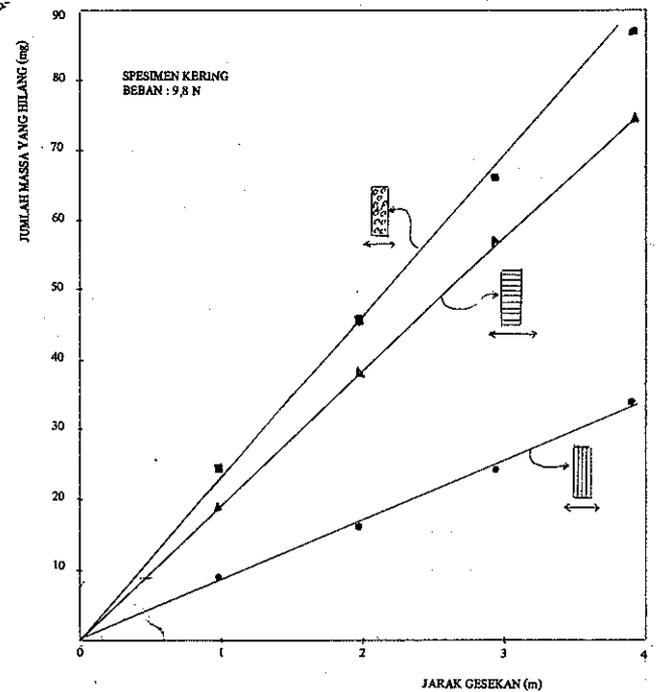
$$D = 0,38 D_T \text{ (untuk yang orientasi fibernya longitudinal)}$$

Terlihat bahwa untuk bahan matriks yang sama, difusivitas spesimen transversal lebih tinggi daripada spesimen longitudinal dan hal ini sesuai dengan hasil pengamatan.

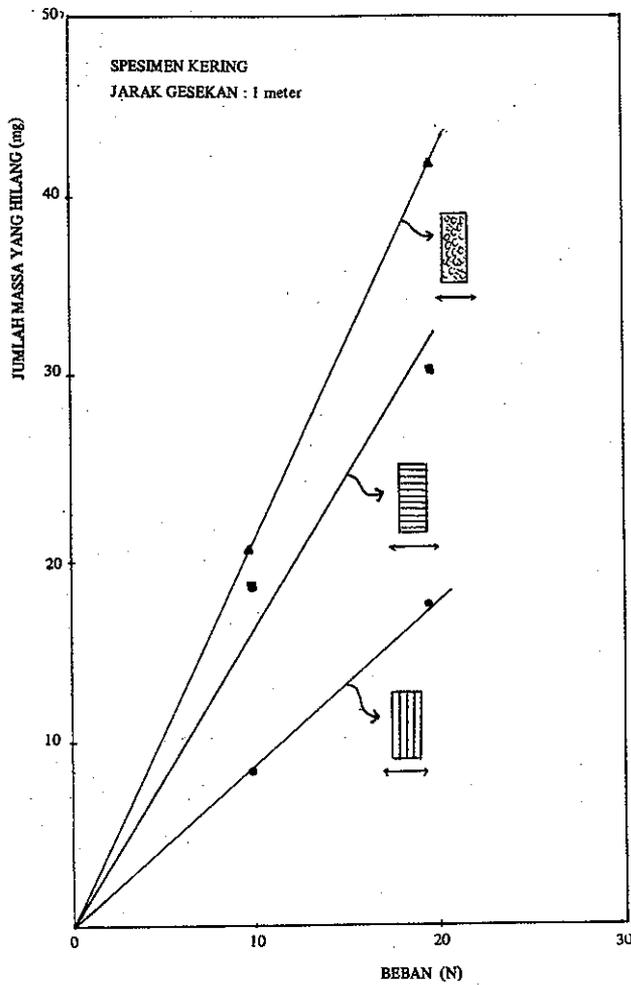
Hasil pengamatan menunjukkan bahwa untuk spesimen tertentu, kandungan air tidak mencapai maksimum meskipun telah dicelupkan selama 22 hari. Untuk itu dibutuhkan waktu yang lebih lama atau perlu adanya percepatan proses difusi supaya harga kandungan air maksimum dapat diamati.

#### 4. KEAUSAN ABRASI

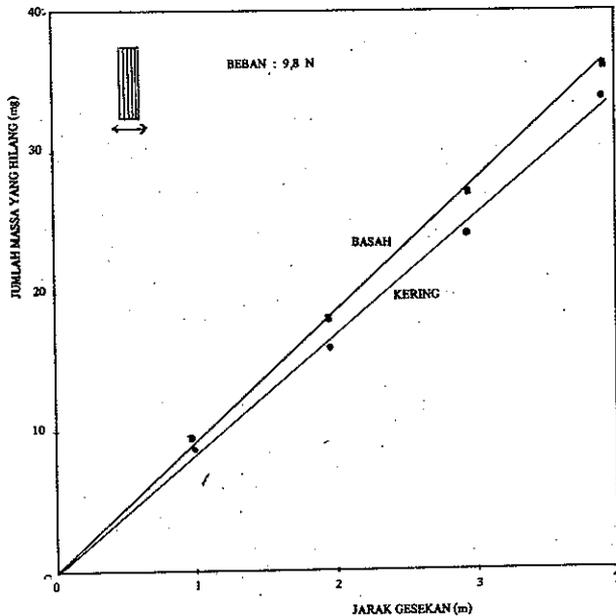
Hasil pengamatan menunjukkan bahwa jumlah massa yang hilang selama proses abrasi merupakan fungsi linier dari jarak gesekan seperti terlihat pada gambar 7, dan merupakan fungsi linier dari beban



Gambar 7. Jumlah massa yang hilang sebagai fungsi dari jarak gesekan untuk spesimen kering selama proses abrasi.

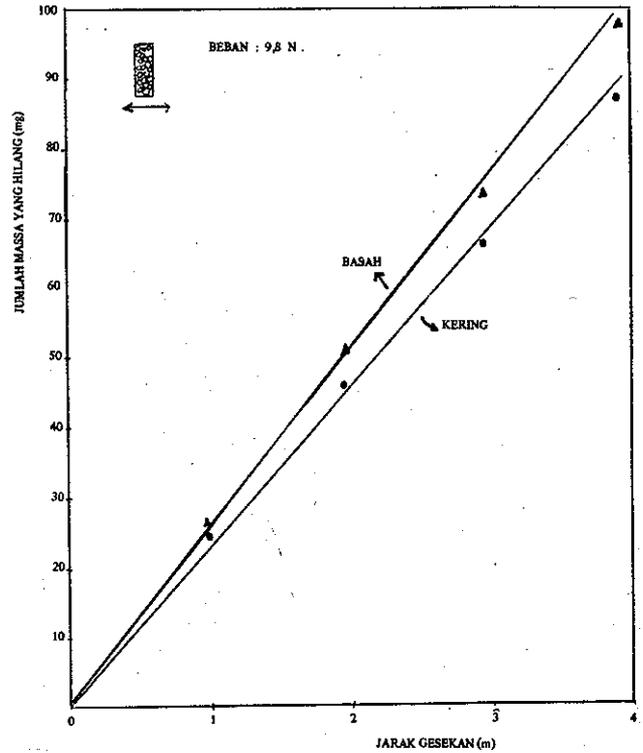


Gambar 8. Jumlah massa yang hilang sebagai fungsi dari beban untuk spesimen kering selama proses abrasi.

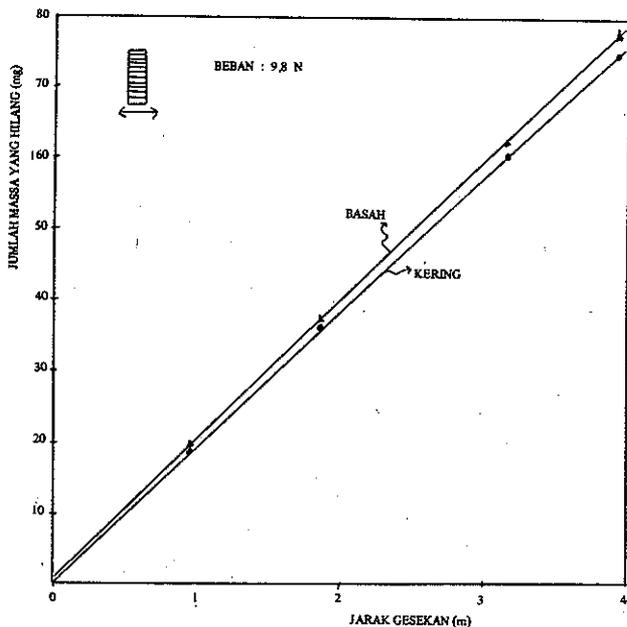


Gambar 9. Jumlah massa yang hilang sebagai fungsi dari jarak gesekan untuk spesimen berorientasi-N selama proses abrasi.

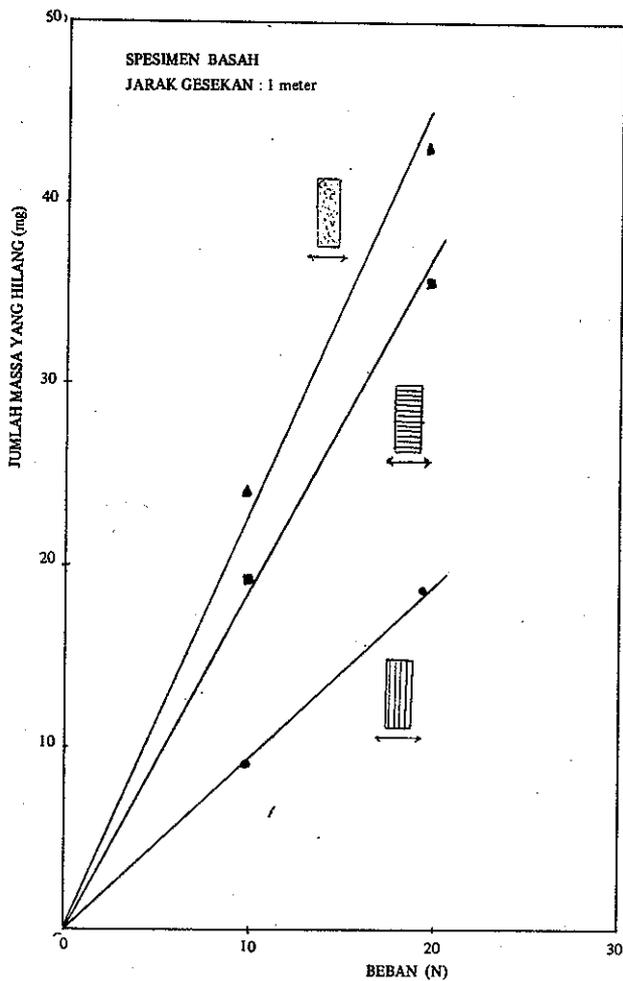
seperti terlihat pada gambar 8. Hasil pengamatan tersebut sesuai dengan prediksi keausan abrasi dari logam [10]. Pengaruh kandungan air terhadap jumlah massa yang hilang selama proses abrasi dapat dilihat pada gambar-gambar 9 – 11. Jumlah massa yang hilang untuk spesimen basah lebih besar daripada spesimen kering, dan ini diamati untuk ketiga kondisi pengujian. Untuk spesimen yang berorientasi-L, jumlah massa yang hilang bertambah besar dengan adanya kandungan air seperti terlihat pada gambar 11 meskipun pertambahannya relatif kecil.



Gambar 10. Jumlah massa yang hilang sebagai fungsi dari jarak gesekan untuk spesimen berorientasi-T selama proses abrasi.



Gambar 11. Jumlah massa yang hilang sebagai fungsi dari jarak gesekan untuk spesimen yang berorientasi-L selama proses abrasi.



Gambar 12. Jumlah massa yang hilang sebagai fungsi dari beban untuk spesimen basah selama proses abrasi.

Orientasi fiber terhadap arah gesekan juga berpengaruh pada jumlah massa yang hilang, dapat dilihat pada gambar 8 dan 12. Spesimen yang berorientasi-N menunjukkan jumlah massa yang hilang yang paling kecil sedangkan spesimen berorientasi-T menunjukkan jumlah massa yang hilang yang paling besar. Oleh karena jumlah massa yang hilang merupakan fungsi linier dari jarak gesekan dan beban, maka dapat didefinisikan suatu besaran yaitu laju keausan abrasi,

$$\text{laju keausan abrasi} = \frac{\text{jumlah massa yang hilang}}{(\text{beban}) (\text{jarak gesekan})}$$

Besaran ini umumnya dipergunakan untuk menentukan cepat lambatnya suatu bahan mengalami

Tabel 1. Laju keausan abrasi untuk beberapa kondisi spesimen.

	Kondisi spesimen	
	Kering	Basah
	0.57 mm <sup>3</sup> /N-m	0.62 mm <sup>3</sup> /N-m
	1.26 mm <sup>3</sup> /N-m	1.31 mm <sup>3</sup> /N-m
	1.48 mm <sup>3</sup> /N-m	1.66 mm <sup>3</sup> /N-m

keausan. Pada tabel 1 dapat dilihat laju keausan abrasi untuk beberapa kondisi pengujian. Terlihat bahwa spesimen basah menunjukkan laju keausan yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen kering. Kecenderungan yang sama diamati pula oleh O'Rourke [11] untuk keausan gesek (sliding wear), adanya kandungan air menyebabkan besarnya laju keausan untuk komposit Carbon-TFE yang digesekan terhadap baja stainless.

Difusivitas fiber (graphite) jauh lebih kecil daripada difusivitas matriks (epoxy), maka kandungan air dalam bahan komposit lebih banyak disebabkan oleh proses difusi air ke dalam matriks. Air yang berdifusi ke dalam matriks menyebabkan adanya pembengkakan dan selanjutnya menimbulkan tegangan-dalam atau dapat juga menetralkan tegangan-sisa yang terjadi karena kontraksi matriks. Hal ini akan berakibat timbulnya microvoid atau retakan-retakan yang akan melemahkan ikatan

antara matriks dengan fiber dan mempercepat proses difusi air ke dalam komposit. Kerusakan ikatan antara matriks dan fiber akan menyebabkan meningkatnya laju keausan abrasi komposit tersebut. Untuk spesimen yang berorientasi-N, kegagalan fiber akibat buckling diperbesar kemungkinannya oleh adanya kandungan air, hal ini karena berkurangnya fundasi bagi fiber tersebut. Sedangkan spesimen yang berorientasi-L dan T, kegagalan fiber-nya adalah akibat terjadinya geseran dan lenturan dari fiber. Spesimen yang berorientasi-N menunjukkan laju keausan yang paling kecil karena tegangan yang terjadi pada fiber adalah tegangan tekan (kompresi) sedangkan fiber umumnya memiliki kekuatan tekan yang cukup tinggi. Spesimen yang berorientasi-T menunjukkan laju keausan yang paling tinggi karena yang terjadi adalah lenturan terhadap fiber sedangkan fiber umumnya getas sehingga tidak memiliki daya tahan terhadap lenturan.

## 5. KESIMPULAN

Difusivitas komposit graphite-epoxy tergantung pada orientasi fiber terhadap dimensi spesimen. Spesimen yang orientasi fibernya transversal menunjukkan difusivitas yang lebih besar daripada yang longitudinal. Hal ini sesuai dengan prediksi teoritis yang dilakukan oleh peneliti lain.

Laju keausan abrasi meningkat karena adanya kandungan air. Hal ini terjadi karena kandungan air dalam komposit akan merusak sifat mekanis komposit tersebut antara lain karena rusaknya ikatan antara matriks dengan fiber.

Laju keausan yang paling kecil akan diperoleh jika fiber berorientasi normal terhadap permukaan kertas abrasi. Laju keausan yang paling besar akan diperoleh jika fiber berorientasi sejajar dengan permukaan kertas abrasi dan tegak lurus terhadap arah gesekan. Hal ini menunjukkan sifat anisotropi bahan komposit.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

1. K.S. Han and J. Koutsky, "Effect of Water on the Interlaminar Fracture Behavior of Glass Fiber-Reinforced Polyester Composite", *Composites*, Vol. 14, No. 1, January 1983, p. 67-70.
2. Om K. Joshi, "The Effect of Moisture on the Shear Properties of Carbon Fiber Composites", *Composites*, Vol. 14, No. 3, July 1983, p. 196-200.
3. R.T. Potter and D. Purslow, "The Environmental Degradation of Notched CFRP in Compression", *Composites*, Vol. 14, No. 3, July 1983, p. 206-225.
4. B. Ellis and M.S. Found, "The Effect of Water Absorption on a Polyester/Chopped Strand Mat Laminate", *Composites*, Vol. 14, No. 3, July 1983, p. 237-243.
5. K.A. Kasturiarachchi and G. Pritchard, "Water Absorption of Glass/Epoxy Laminates Under Bending Stresses", *Composites*, Vol. 14, No. 3, July 1983, p. 244-250.
6. F.R. Jones and M. Mulheron, "The Effect of Moisture on the Expansion Behavior and Thermal Strains in GRP", *Composites*, Vol. 14, No. 3, July 1983, p. 281-287.
7. F.N. Cogswell and M. Hopprich, "Environmental Resistance of Carbon Fiber-Reinforced Polyether Etherketone", *Composites*, Vol. 14, No. 3, July 1983, p. 251-253.
8. S.M. Bishop, "Effect of Moisture on the Notch Sensitivity of Carbon Fiber Composites", *Composites*, Vol. 14, No. 3, July 1983, p. 201-205.
9. C.H. Shen and G.S. Springer, "Moisture Absorption and Desorption of Composite Materials", *J. Composite Materials*, Vol. 10, January 1976, p. 2-20.
10. E. Rabinowicz, L.A. Dunn and P.G. Russell, "A Study of Abrasive Wear Under Three Body Condition", *Wear*, 4 (1961), p. 345-355.
11. J.T.O'Rourke, "Fundamentals of Friction, PV and Wear of Fluorocarbon Resins", *Modern Plastics*, Vol. 43, No. 1, September 1965, p. 161-169.