

SIFAT MEKANIK BAHAN GESEK REM KOMPOSIT DIPERKUAT SERAT BAMBU

Sutikno^{1*}, S.E. Sukiswo², S.S Dany³

^{1,2}Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Semarang (UNNES), Semarang, Indonesia

³Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Semarang (UNNES), Semarang, Indonesia

Diterima: 14 November 2011. Disetujui: 4 Desember 2011. Dipublikasikan: Januari 2012

ABSTRAK

Bahan gesek komposit diperkuat serat bambu untuk kampas rem otomotif dibuat menggunakan mesin pres isostatik panas pada 190°C selama 3 jam. Jumlah serat bambu dan serbuk logam di dalam pencampuran dioptimasi, setiap komposisi komponen lain dibuat tetap, pengaruhnya pada sifat-sifat mekanik dan struktur mikro diselidiki. Serat bambu disini digunakan sebagai pengganti serat asbes yang jumlahnya divariasikan antara 2,86-17,14% dari volume total dan fraksi berat masing-masing unsur penyusun ditentukan menggunakan *energy dispersive X-ray spectroscopy*. Angka kekerasan Brinell, kekuatan tarik maksimum, dan ketahanan aus khas bahan gesek yang difabrikasi berada pada rentang 21,7-43,4 kg/mm², 0,021-0,036 ton, dan 1,5exp-11-5,2exp-11 m²/N.

ABSTRACT

Friction materials of bamboo fibers reinforced composites for automotive brakes were made using hot isostatic pressing machine at 190°C for 3 hours. The contents of bamboo fiber and metal powder in the mixing were optimized, each composition of other components was fixed, its effects on mechanical properties and microstructure were investigated. Bamboo fibers were used here as substitutes for asbestos fibers whose number varied between 2.86 to 17.14% of the total volume and weight fraction of each constituent element is determined using energy dispersive X-ray spectroscopy. Brinell hardness number, the maximum tensile strength and specific wear resistance of friction materials fabricated in the ranges of 21.7 to 43.4 kg/mm², 0.021 to 0.036 tons, and 1.5 exp-11-5, 2exp-11 m² / N, respectively.

© 2012 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: bambo fiber; brake material; friction material; composite

PENDAHULUAN

Secara garis besar serat yang digunakan untuk memfabrikasi bahan gesek kampas rem dapat diklasifikasikan menjadi serat asbes dan non asbes (Liu *et al.*, 2006). Serat non asbes meliputi serat gelas, serat mineral, serat logam, wolastonit, potasium titatanat, dan serat organik (Bijwe, 1997). Serat-serat organik yang telah digunakan oleh beberapa peneliti terdahulu meliputi serat karbon, serat akrilik, aramid pulp, rockwool dan selulose (Mohanthy & Chugh,

2007; Zhang & Wang, 2007). Beberapa serat seperti gelas, karbon, silika, aluminosilikat, dan silikon karbida merupakan hasil sintesis baik dari bahan organik maupun non organik.

Serat asbes mulai ditinggalkan karena dapat menyebabkan penyakit kanker bagi pekerja di Industri (Kurt & Boz, 2005). Selain itu, biaya produksi serat sintesis cukup tinggi, sehingga harga bahan gesek kampas rem yang difabrikasi menjadi mahal. Bahan lain yang dapat digunakan sebagai pengganti serat asbes adalah bahan-bahan dari serat alam. Keunggulan dari serat alam diantaranya adalah biaya produksinya rendah (Silva *et al.*, 2006), ramah lingkungan, suplai terjamin, dan dapat diper-

*Alamat Korespondensi:

Gdg. D7 Lt. 2 Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang, 50229
Email: smadnasri@yahoo.com

Tabel 1. Fraksi volume pencampuran sampel bahan gesek.

Zat penyusun	Fraksi volume sampel (%)					
	B2	B4	B6	B8	B10	B12
SBR-1712	12,85	12,85	12,85	12,85	12,85	12,85
Epoksi	8,57	12,85	12,85	12,85	12,85	12,85
Serat bambu	2,86	5,71	8,57	11,43	14,29	17,14
Serbuk kaca	11,43	11,43	11,43	11,43	11,43	11,43
Serbuk logam	25,71	22,86	20	17,14	14,29	11,43
Magnesium oksida	7,86	7,86	7,86	7,86	7,86	7,86
Kalsium karbonat	7,86	7,86	7,86	7,86	7,86	7,86
Seng oksida	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14
Asam stearat	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14
Serbuk tempurung kelapa	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14
Bakelite	9,29	9,29	9,29	9,29	9,29	9,29
Sulfur	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14

baharu. Keunggulan ini membuat serat alam dapat mengganti serat penguat sintetis untuk komposit matrik polimer (Yousif *et al.*, 2009; Kumar *et al.*, 2010). Selain itu, serat alam juga digunakan sebagai penguatan di dalam membuat komponen-komponen struktur (Jain *et al.*, 1992).

Diantara banyak tumbuhan serat alam, bambu merupakan salah satu tanaman rumput yang tumbuh paling cepat (Li *et al.*, 1998), cadangan itu tersedia melimpah di banyak negara dan merupakan sumber daya yang dapat diperbaharui (Thwe & Liao, 2003). Bambu memiliki kerapatan rendah dan kekuatan mekanik tinggi (Kumar *et al.*, 2010). Secara umum penyusun kimia bambu adalah holoselulosa 50-70%, pentosan 30%, dan 20-25% lignin (Dwivedi *et al.*, 2009). Sayangnya, walaupun kekuatan dampak dan tariknya bagus, serat bambu baru digunakan sebatas hanya untuk membuat bahan struktur derajat rendah, misalnya mebel dan bagian-bagian ringan mobil (Costa, 2010) yang masa pakainya pendek.

Sifat-sifat mekanik bambu sesuai digunakan sebagai bahan komposit berat-ringan (Kitazawa *et al.*, 2004). Ada dua cara menggunakan serat bambu sebagai bahan-bahan teknik. Pertama, serat bambu digunakan sebagai bahan dasar pembuatan kertas, dan pemakaian sebagai serat penguat dalam bahan komposit yang diperkuat serat. Cara kedua, yang meliputi pembentukan, bambu digunakan sebagai bahan bulk (Kitazawa *et al.*, 2004). Untuk menggunakan bambu sebagai bahan teknik bulk dalam medan arsitektur, pembuatan furniture dan mesin, pengembangan teknologi

pembentukan yang menentukan penyiapan dimensi dan bentuk adalah penting.

METODE

Serat bambu dibuat dengan cara sebagai berikut. Pertama, bambu dipotong dalam dimensi 5 cm x 3 cm dan dikupas kulitnya. Kemudian spesimen bambu tersebut diroll sampai rata. Bambu yang sudah diroll dimasukkan ke dalam larutan NaOH 5% sebanyak 200 ml dan dipanasi menggunakan autoklaf di bawah tekanan 0.1 MPa pada 120°C selama 30 min. Serat bambu diekstrak dari bambu kasar menjadi bentuk kawat pijar (Sui *et al.*, 2000; Tokoro *et al.*, 2008) dengan cara menyaring. Serat bambu yang telah disaring tersebut dikeringkan menggunakan oven pada 80°C selama 1 jam.

Tahap selanjutnya adalah membuat spesimen bahan gesek kampas rem dengan memanfaatkan serat bambu. Bahan mentah penyusun bahan gesek seperti ditunjukkan pada Tabel 1 dapat dikelompokkan menjadi kelompok polimer, *curing agents*, bahan pengisi dan serat bambu. Kelompok polimer yang meliputi *styrene butadiene rubber* (SBR-1712) buatan *King Rubber Co.* (Indonesia) digunakan sebagai matriks polimer dan bakelite dari *Vechem Organics (P) Ltd.*, India biasanya berperan sebagai pengikat. *Curing agents* disini digunakan untuk proses curing SBR yang terdiri-dari sulfur, asam stearat dan oksida seng. Beberapa bahan seperti karbon tempurung kelapa, serbuk logam (kuningan, perunggu, dan baja tahan karat), magnesium oksida (MgO), dan

kalsium karbonat (CaCO_3) digunakan sebagai bahan pengisi. Serat bambu berfungsi sebagai bahan penguat. Formulasi-formulasi yang didesain dari sampel-sampel gesek didaftar pada Tabel 1 dibuat berdasarkan variasi kadar serat bambu dari 2,86% sampai dengan 17,14% dan diberi kode sampel B2 sampai dengan B12 secara berurutan.

Bahan penyusun bahan gesek tersebut dalam berbagai wujud, seperti padatan, cairan, serbuk dan serat, sehingga pencampurannya lebih mudah dilakukan berdasarkan fraksi volume. Fraksi volume dari setiap bahan penyusun diukur menggunakan gelas *beaker* yang diperhitungkan berdasarkan volume total pencampuran atau volume cetakan (70 ml) (Sutikno *et al.*, 2010). Pertama, kadar serat bambu dan serbuk logam masing-masing divariasi antara 2,86-17,14% dan 25,71-11,43%, dan kemudian fraksi volume komponen-komponen lain ditentukan. Pencampuran bahan dilakukan menggunakan blender (Electrolux, EBR 2500) selama 10 min dan masing-masing komponen ditambahkan secara berurutan. Serat bambu dicampur secara acak terlebih dahulu, diikuti bahan-bahan berwujud *pulp* dan akhirnya bahan-bahan serbuk. Selanjutnya, itu dipres dalam kondisi panas menggunakan mesin pres isostatik panas pada suhu 190°C selama 3 jam dan tekanan yang diterapkan 490 kgf.cm^{-2} . Sesudah itu, spesimen dipanasi sesudah proses *curing* pada 200°C selama 4 jam.

Spesimen untuk karakterisasi struktur mikro disiapkan dengan cara dipotong bahan gesek hasil pengepresan dalam ukuran $5 \times 5 \text{ mm}^2$, dicetak menggunakan resin dalam mould dan kemudian dipoles sampai berkilat. Spesimen yang sudah halus dilapisi dengan emas untuk mengkaji struktur mikro dan sebaran bahan penyusun menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM, FEI S50). Komposisi kimia semua spesimen ditentukan menggunakan *energy dispersive X-ray (EDX) spectroscopy*, pada waktu fasa-fasa yang hadir dikarakterisasi menggunakan SEM pada tegangan percepatan 20 kV. *Scanning* dilakukan pada seluruh permukaan spesimen.

Selanjutnya menyelidiki pengaruh kadar serat bambu pada sifat-sifat mekanik bahan gesek kampas rem seperti kekuatan tarik, ketahanan aus spesifik dan kekerasan. Untuk menentukan ketahanan aus, spesimen ($3 \times 1,5 \text{ cm}^2$) diuji menggunakan mesin pengujian ketahanan aus (mesin uji aus universal laju tinggi Ogoshi, Type OAT-U) dengan beban uji 2,12 kg, lama pengujian 60 detik dan perbandingan

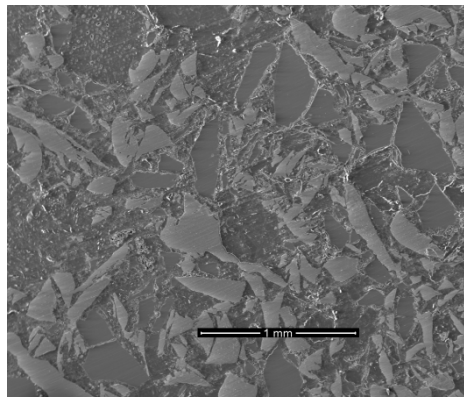
gear yang digunakan 108/36. Cakram yang digunakan dalam uji ini ketebalan dan jari-jarinya masing-masing 2 mm dan 15 mm, dan selama uji aus, itu diputar sampai menempuh jarak total 30 m. Selama berputar, cakram mengikis spesimen uji yang terpasang vertikal pada bagian pemegang spesimen. Untuk menentukan panjang grid, spesimen uji dilihat di bawah mikroskop optik (Olympus, model PM-WAD) dalam perbesaran 50x.

Uji tarik untuk spesimen dengan ukuran $16,5 \times 3,2 \times 0,6 \text{ cm}^3$ dan lebar area takikan 2,7 cm dilakukan menggunakan mesin pengujian universal (*UCT series*) dengan beban terpasang 2 ton. Sedangkan kekerasannya diukur menggunakan Penguji Kekerasan Brinell (Karl Frank GmbH, Weinhelm-Birkenan). Pengujian ini dikerjakan sesuai dengan ASTM E18-02. Nilai-nilai kekerasan diambil dalam skala Brinell di bawah beban 153,2 N, dan diameter bola indentasi 2,5 mm. Untuk masing-masing spesimen, pengukuran kekerasan diulang 5 kali.

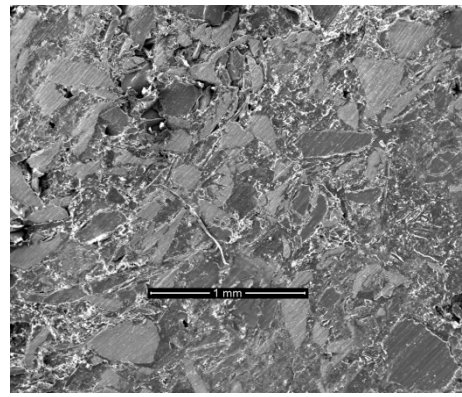
Dalam penelitian ini, kadar serat bambu ditetapkan sebagai variabel bebas, dan sebaliknya ketahanan aus, kekuatan tarik, dan kekerasan ditetapkan sebagai variabel gayut. Pada sisi lain, suhu, lama penekanan, dan tekanan diasumsikan konstan dan ditetapkan sebagai variabel terkendali. Kemudian hubungan antara kadar serat bambu dengan sifat-sifat mekanik bahan gesek kampas rem dianalisis dan disimpulkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

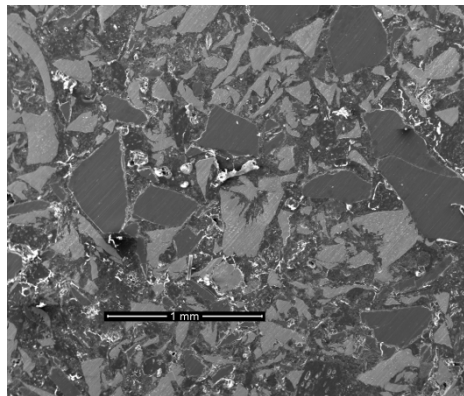
Citra SEM dari struktur mikro spesimen bahan gesek kampas rem diperkuat serat bambu seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Citra SEM digabung dengan pemetaan EDX atau analisis titik menunjukkan struktur permukaan dengan banyak fasa dan adanya sebaran beberapa penyusun bahan gesek. Bahan-bahan organik seperti bakelite, rubber, dan tempurung kelapa teroksidasi secara termal dan terkarbonisasi menghasilkan fasa-fasa karbon. Butiran-butiran gelas dan logam nampak berujung runcing dengan sisi persegi, sedangkan butiran-butiran fasa organik bersisi lengkung bola. Pada butiran gelas banyak dijumpai mikroporositas. Dengan meningkatnya kadar serat bambu dalam spesimen, kemunculan serat semakin banyak pada citra SEM. Serat bambu dengan panjang antara 800-1200 μm ini tersusun acak pada struktur mikro bahan gesek dan pada saat proses pemolesan banyak yang tercerabut dari spesimen. Adhesi antara bahan



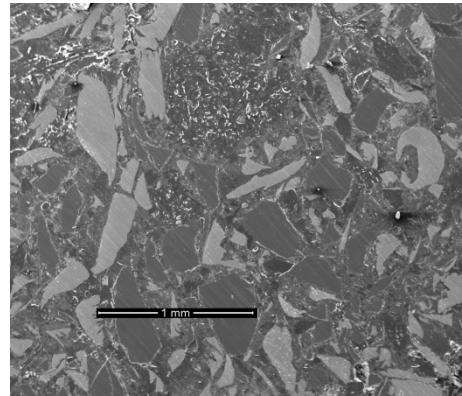
(a)



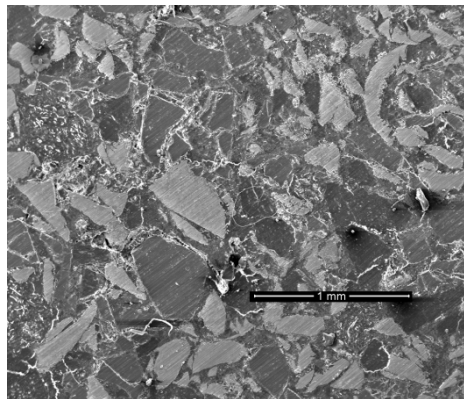
(d)



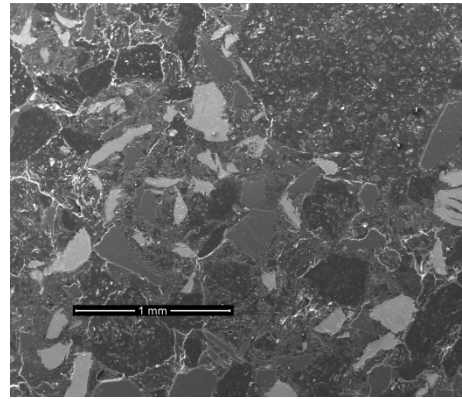
(b)



(e)



(c)



(f)

Gambar 1. Citra SEM dari permukaan-permukaan spesimen yang dipoles: (a) B2, (b) B4, (c) B6, (d) B8, (e) B10, dan (f) B12.

pengikat dengan butiran logam dijumpai lebih kuat dibanding adhesi dengan butiran kaca. Ini terbukti dengan ditemukannya celah antara butiran kaca dengan bahan pengikat pada citra SEM dengan perbesaran tinggi.

Gambar 2 menunjukkan hasil analisis EDX yang diambil dari area spesimen dan kandungan unsur-unsurnya didaftar dalam Tabel 2. Unsur C tampak paling dominan dalam spekt-

ra EDX, ini membuktikan bahwa unsur-unsur yang dominan adalah unsur-unsur organik. Penambahan serat bambu banyak memberikan kenaikan kadar C dan O pada spektra EDX. Sebaliknya penurunan kandungan serbuk logam menyebabkan kadar unsur-unsur logam semakin menurun seperti tampak pada data EDX. Unsur-unsur logam yang dominan adalah Cu dan Si.

Tabel 2. Hasil analisis EDX diambil dari area spesimen.

Unsur	Berat %					
	B2	B4	B6	B8	B10	B12
C	46,56	45,59	53,27	50,05	49,96	53,18
O	14,54	14,46	19,82	20,37	19,50	20,18
Na	2,76	2,70	2,34	1,91	2,76	1,45
Mg	2,17	2,90	1,77	2,08	2,55	2,50
Al	0,29	0,28	0,33	0,21	0,28	0,11
Si	6,8	5,20	5,63	4,07	6,26	3,46
S	2,28	2,08	1,55	1,97	2,26	2,45
Ca	3,82	3,42	3,17	2,59	3,92	4,02
Fe	0,5	0	0,39	1,94	0,21	0,62
Cu	16,15	17,61	8,46	11,32	8,71	8,48
Zn	4,13	5,36	3,30	3,50	3,58	3,32
Yang lain						0,22

Tabel 3. Sifat-sifat mekanik bahan gesek kampas rem.

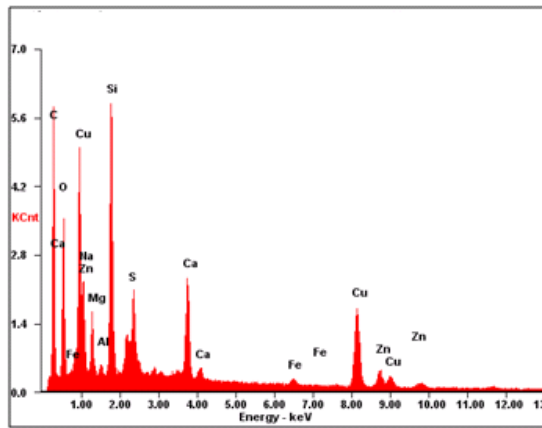
Kode sampel	Angka kekerasan Brinell (BHN, kg/mm ²)	Kekuatan tarik maksimum (ton)	Ketahanan aus spesifik (Ws, m ² /N)
B2	35,5	0,020	2,1exp-11
B4	21,7	0,021	1,8exp-11
B6	21,7	0,036	1,5exp-11
B8	43,4	0,023	5,2exp-11
B10	21,7	0,033	2,1exp-11
B12	30	0,033	2,1exp-11

Sifat-sifat mekanik bahan gesek yang difabrikasi ditunjukkan pada Tabel 3. Sampel B4, B6 dan B10 memiliki angka kekerasan Brinell sama yaitu 21,7 kg/mm², angka kekerasan ini merupakan nilai rata-rata dari lima kali pengulangan pada masing-masing sampel. Pengambilan angka kekerasan Brinell rata-rata karena struktur mikro permukaan spesimen memiliki banyak fasa dan sebarannya pun tidak seragam. Sampel B8 memiliki angka kekerasan Brinell paling tinggi yaitu 43,4 kg/mm². Ditemukannya angka kekerasan Brinell tertinggi pada sampel B8 diduga disebabkan oleh terbentuknya banyak oksida selama proses pemanasan. Hal ini terbukti dengan tingginya kandungan unsur oksigen pada sampel B8. Tingginya kandungan logam juga memberikan sumbangan kepada tingginya angka kekerasan Brinell spesimen bahan gesek. Penambahan kadar serat bambu pada spesimen menunjukkan tidak ada korelasi dengan berubahnya angka kekerasan Brinell.

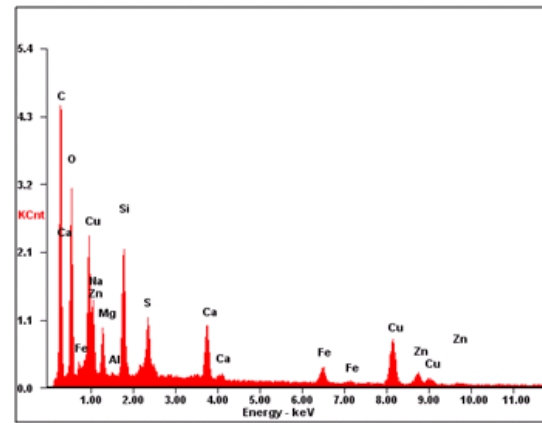
Ketahanan aus yang ditemukan berva-

riasi yaitu antara 1,5exp-11 sampai dengan 5,2exp-11 m²/N. Ketahanan aus paling kecil dijumpai untuk bahan gesek dengan kadar serat bambu 8,57%, sampel B6, sebaliknya ketahanan aus paling besar ditemukan pada sampel dengan kadar serat bambu 11,43%, sampel B8. Pada sampel B6, unsur karbon ditemukan dominan. Hasil ini menunjukkan ada korelasi antara munculnya sifat ekstrim ketahanan aus dengan kadar serat bambu. Pada sampel B8, kadar unsur Fe cukup memainkan peran penting di dalam menyumbang ketahanan aus yang baik. Ini sejalan dengan pendapat Jang *et al.* (2004) yang menyatakan bahwa logam dapat meningkatkan ketahanan aus bahan gesek.

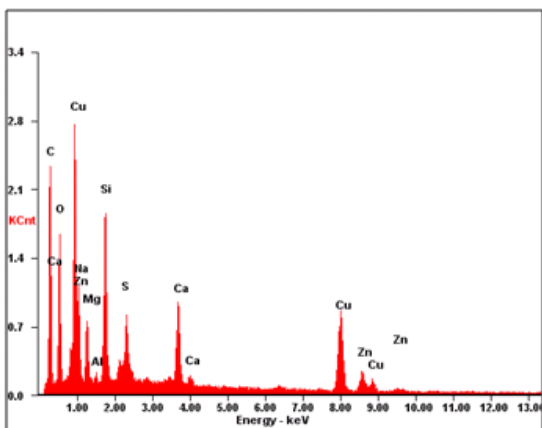
Kekuatan tarik bahan gesek yang dibuat ditunjukkan pada Tabel 3. Kekuatan tarik tertinggi, 0,036 ton, dijumpai pada sampel B6, sedangkan kekuatan tarik terendah, 0,020 ton, dijumpai pada sampel B2. Pada sampel B2, kadar unsur C paling rendah, sebaliknya pada sampel B6, kadar unsur C paling tinggi. Bany-



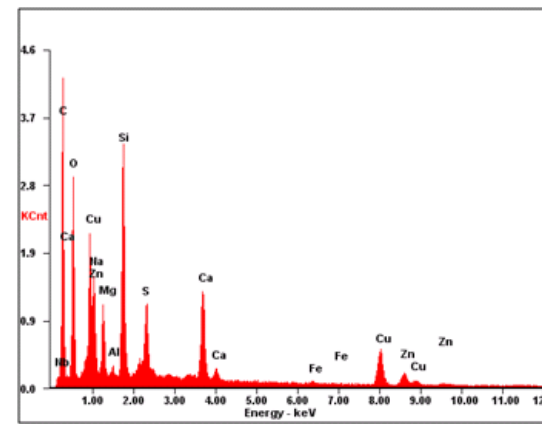
(a)



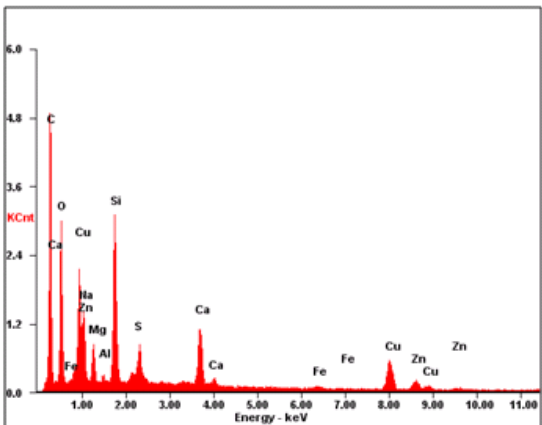
(d)



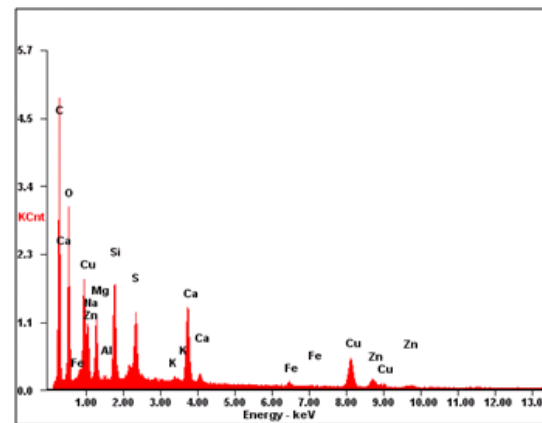
(b)



(e)



(c)



(f)

Gambar 2. Spektra EDX dari permukaan-permukaan spesimen dipoles: (a) B2, (b) B4, (c) B6, (d) B8, (e) B10 dan (f) B12

aknya unsur C salah satunya berasal dari serat bambu. Data ini juga konsisten dengan banyaknya serat bambu yang dijumpai pada citra SEM sampel B6. Pada citra SEM sampel B4

dan B6, serat-serat bambu membentuk serat bundel. Semakin banyak serat bambu yang dijumpai dalam struktur mikro citra SEM, semakin kuat spesimen bahan gesek tersebut.

PENUTUP

Kami dapat menyimpulkan bahwa bahan gesek rem komposit diperkuat serat bambu berhasil dibuat. Kekerasan Brinell, kekuatan tarik maksimum dan ketahanan aus ditemukan secara berurutan dalam jangkauan antara 21,7-43,4 kg/mm², 0,021-0,036 ton, dan 1,5exp-11-5,2exp-11 m²/N. Ini membuktikan bahwa serat bambu dapat digunakan untuk mengganti serat asbes di dalam pembuatan bahan gesek, sehingga dampak negatif yang ditimbulkan akibat penggunaan serat asbes dapat dihindari. Ini merupakan penemuan baru dan dapat digunakan sebagai dasar untuk mengembangkan pemanfaatan serat bambu sebagai penguat bahan gesek non asbes.

Kami mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional, Republik Indonesia, yang telah mendanai penelitian ini melalui program Hibah Bersaing tahun anggaran 2010/2011. Kami juga mengucapkan terimakasih kepada Bapak Sumaji, Laboratorium Bahan Teknik, Universitas Gadjah Mada dan Bapak Drs. Abdulah Fuad, M.Si., Laboratorium Sentral, Universitas Negeri Malang atas diijinkannya menggunakan fasilitas laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Bijwe, J. 1997. Composites as friction materials: recent developments in non-asbestos fiber reinforced friction materials—A review. *Polym Comp*, 18: 378–96
- Da Costa, L.L., Loiola, R.L., and Monteiro, S.N. 2010. Diameter dependence of tensile strength by Weibull analysis: Part I bamboo fiber. *Revista Matéria*, 15(2): 110-116
- Dwivedi, U.K., Ghost, A. and Chan, N. 2009. Role of PVA Modification in Improving the Sliding Wear Behaviour of Bamboo. *BioResources*, 4(2): 522-528
- Jang, H., Ko, K., Kim, S.J., Basch, R.H., and Fash, J.W. 2004. The effect of metal fibers on the friction performance of automotive brake friction materials. *Wear*, 256: 406–414
- Jain, S., Kumar, R. and Jindal, U.C. 1992. Mechanical behaviour of bamboo and bamboo composite. *Journal of Materials Science*, 27: 4598-4604
- Kitazawa, K., Takahama, M. and Ogawa, H. 2004. Possibility of nosing of common Japanese bamboo. *Journal of Materials Science*, 39: 1473 – 1476
- Kumar, S., Choudhary, V. and Kumar, R. 2010. Study on the compatibility of unbleached and bleached bamboo-fiber with LLDPE matrix. *J Therm Anal Calorim*, 102: 751–761
- Li, S.H., De Wijn, J.R., De Groot, K., Zeng, Q.Y., Zhou, B.L. 1998. Reformed bamboo/glass fabric/aluminium composite as an ecomaterial. *Journal of Materials Science*, 33: 2147-2152
- Liu, Y., Fan, Z., Ma, H., Tan, Y. and Qiao, J. 2006. Application of nano powdered rubber in friction materials. *Wear*, 261, 225–229
- Kurt, A. & Boz, M. 2005. Wear behaviour of organic asbestos based and bronze based powder metal brake linings. *Materials and Design*, 26: 717–721
- Mohanty, S. & Chugh, Y.P. 2007. Development of fly ash-based automotive brake lining. *Tribology International*, 40: 1217–1224
- Thwe, M.M. & Liao, K. 2003. Environmental effects on bamboo-glass/ polypropylene hybrid composites. *Journal of Materials Science*, 38: 363–376
- Silva, E.C.N., Walters, M.C., and Paulino, G.H. 2006. Modeling bamboo as a functionally graded material: lessons for the analysis of affordable materials. *J Mater Sci*, 41: 6991–7004
- Yousif, B.F., Leong, O.B., Ong, L.K. and Jye, W.K. 2009. The Effect of Treatment on Tribo-Performance of CFRP Composites. *Recent Patents on Materials Science*, 2: 67-74
- Zhang, S. & Wang, F. 2007. Comparison of friction and wear performances of brake material dry sliding against two aluminum matrix composites reinforced with different SiC particles. *Journal of Materials Processing Technology*, 182: 122–127