

PEMANFAATAN LIMBAH GERGAJIAN KAYU SEBAGAI BAHAN PENGISI MATERIAL GESEK REM CAKRAM

UTILIZATION OF SAWDUST WASTE AS FILLER FOR DISK BRAKE FRICTION MATERIAL

¹Sударisman, ²Susena Jati, ¹Berli P. Kamiel

¹Program Studi S1 Teknik Mesin

²Alumni, Program Studi S1 Teknik Mesin

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jl. Brawijaya, Tamantirto, Kasihan, Yogyakarta 55183,
INDONESIA

*Email: sudarisman@umy.ac.id

ABSTRAK

Serbuk gergajian kayu merupakan limbah industri penggergajian kayu yang banyak dijumpai sebagai industri rakyat berskala kecil. Selama ini limbah tersebut belum dimanfaatkan secara optimal, hanya sebatas sebagai bahan bakar substitusi bahan bakar fosil. Penelitian ini bertujuan menguji kelayakan limbah serbuk gergajian kayu lokal untuk bahan pengisi yang dikombinasikan dengan epoksi sebagai bahan pengikat sebagai material gesek untuk rem cakram. Material gesek dicetak langsung pada sepatu rem yang juga digunakan bekas yang sudah mengalami keausan total, dengan teknik cetak tekan. Selain 60 vol% serbuk gergajian dan 20 vol% epoksi, juga ditambahkan 10 vol% serat pendek gelas-E dan 10 vol% serbuk karet sintetis. Sifat-sifat yang diuji meliputi kekerasan Brinnell, laju keausan dengan metoda Ogoshi, dan koefisien gesek. Selain material gesek alternatif serbuk gergajian kayu/serat gelas/serbuk karet/epoksi, juga diuji dua produk komersial bahan gesek rem cakram yang tersedia di pasaran sebagai pembandingan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa material alternatif yang diusulkan memiliki koefisien gesek yang lebih tinggi dan laju keausan yang lebih rendah dibandingkan dengan yang ada di pasaran, namun dengan angka kekerasan Brinnel yang lebih rendah. Dengan demikian, material yang diusulkan layak untuk material gesek rem cakram karena akan menghasilkan jarak pengereman yang lebih pendek, lebih awet, dan dengan tekanan yang lebih kecil.

Kata Kunci : kampas rem, matrik epoksi, serbuk gergajian kayu, serbuk karet sintetis, serat gelas pendek.

ABSTRACT

Sawdust waste is an organic waste mostly produced from timber processing which can locally be found in surrounding region of Yogyakarta. The waste has not been optimally utilized; it has only been used for fossil fuel substitution. The objective of this work is to determine the possibility of sawdust waste as filler for epoxy matrix composite intended for brake lining. The linings were directly casted on to used brake pad by means of press mold technique. In addition to 60 vol% of sawdust and 20 vol% of epoxy system, 10 vol% of chopped E-glass fiber and 10 vol% of synthetic rubber particle were added in order to improve the properties. The properties being evaluated are its Brinnell hardness, ware rate using Ogoshi method, and coefficient of friction. In addition to the proposed material, two types of brake lining available in local market were also evaluated as reference. The result showed that the proposed material exhibited higher coefficient of friction, as well as lower ware rate and Brinnell hardness. It can be concluded that the proposed material is suitable for brake lining considering that it will result in shorter braking distance, longer service life, and lower braking pressure.

Keywords: brake lining, chopped glass fiber, epoxy matrix, synthetic rubber particle, wood sawdust.

PENDAHULUAN

Kesadaran akan arti penting menjaga kelestarian alam telah membuka peluang yang makin besar untuk memanfaatkan potensi sumber daya alam sebagai substitusi untuk material sintetis (Fowler dkk, 2006). Diantara kelebihan material alami dibandingkan dengan material sintetis adalah potensial terbarukan, dan lebih mudah terdegradasi secara alamiah setelah masa pakainya habis. Dengan demikian akan lebih mudah diperoleh dan lebih ramah lingkungan. Pemanfaatan material alami untuk pengisi material komposit yang akan digunakan untuk berbagai struktur telah banyak diteliti (Dong dkk, 2017; Sudarisman dkk, 2015; Shah dkk, 2013).

Dong dkk (2017) melaporkan bahwa penambahan 40 wt% partikel *Macadamia* pada PLA meningkatkan modulusnya 9,8%, sedangkan kuat bending dan tariknya justru turun berturut-turut sebesar 42 dan 63%. Sementara itu, kekerasan Shore D tidak tergantung pada kadar partikel *Macadamia*. Sudarisman dkk (2015) dalam penelitiannya menemukan bahwa pada $V_f = 10\%$ ketangguhan impact material komposit serat bambu/epoksi, baik dengan serat pendek acak maupun serat kontinu searah, turun, dan selanjutnya naik pada V_f yang lebih tinggi sampai dengan 40% dibandingkan dengan spesimen dari epoksi murni tanpa serat penguat. Pada $V_f = 30\%$ dan 40%, komposit dengan susunan serat kontinu menunjukkan ketangguhan impact yang lebih tinggi searah ($0,162 \text{ [J/mm}^2\text{]}$) dibandingkan dengan komposit dengan dengan serat pendek acak ($0,144 \text{ [J/mm}^2\text{]}$). Shah dkk (2013) meneliti karakteristik bengkok sudu kincir angin yang terbuat dari komposit flax/poliester dibandingkan dengan yang terbuat dari serat kaca-E/poliester. Mereka menemukan bahwa walaupun serat flax maupun kompositnya yang bermatrik polimer dikenal memiliki kekakuan yang tinggi, namun tidak dapat bersaing dengan komposit serat kaca-E/poliester yang memiliki kekakuan jauh lebih tinggi.

Produksi kayu di Indonesia mampu menghasilkan $15.941.866 \text{ [m}^3\text{]}$ dari jenis lembaran, partikel papan dan sejenisnya serta $5.851.376 \text{ [ton]}$ dari jenis bubur kayu dan sejenisnya (Badan Pusat Statistik, 2015). Sebagian besar dari produk tersebut, $10.259.269,55 \text{ [m}^3\text{]}$, berupa serpih, partikel dan gergajian yang dalam prosesnya menghasilkan serbuk gergajian kayu. Menurut Sudrajat dan Pari (2011) dari industri penggergajian kayu akan diperoleh limbah serbuk gergaji sekitar 15-20% dari total limbah yang besarnya 40-50% dari kayu gelondongan yang diolah yang menghasilkan 50-60% kayu gergajian. Sehingga produk serbuk gergajian kayu per tahun secara nasional bisa mencapai antara $1.231.112,346$ sampai dengan $1.709.878,258 \text{ [m}^3\text{]}$.

Beberapa penelitian terdahulu mengkaji pemanfaatan limbah serbuk gergajian kayu untuk pembuatan briket arang (Bahri, 2007), untuk pembuatan kompos (Komarayati, 1996), untuk media tanam jamur kuping (Nurilla dkk, 2013), media penyerap logam timbal (Intan dkk, 2016), sebagai media peredam suara (Sujarwata & Sarwi, 2006).

Walaupun beberapa penelitian tentang pemanfaatan limbah serbuk gergajian kayu sebagai *filler* bahan gesek atau kampas rem, namun belum ada yang menggunakan serbuk karet sintetis sebagai tambahan *filler* dan kebanyakan penelitian terdahulu melakukan pengurangan terlebih dahulu sebelum serbuk gergajian kayu digunakan sebagai *filler*. Puja (2011) menggunakan arang serbuk gergajian kayu/epoksi dan menemukan bahwa koefisien gesek, μ , naik seiring dengan meningkatnya kadar arang melalui proses pengurangan pada $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Christianto (2011) menggunakan arang serbuk gergajian kayu mahoni yang ditambah dengan serpih aluminium. Dilaporkan bahwa laju keausan menurun seiring dengan naiknya kadar serpih aluminium. Sedangkan Dwiwati dkk (2017) memanfaatkan serbuk gergajian kayu tanpa proses pengurangan dengan menambahkan partikel karbon dan menggunakan matrik poliester. Dilaporkan bahwa angka kekerasan Vickers turun seiring dengan naiknya kadar partikel karbon sampai dengan 10 vol%.

Dalam penelitian, digunakan epoksi sebagai matrik, serta selain serbuk gergajian kayu sebagai filler, juga ditambahkan serat gelas pendek yang tersusun secara acak dan serbuk karet sintetis. Penambahan serat gelas dimaksudkan untuk meningkatkan kekerasan dan menurunkan laju keausannya, dan serbuk karet sintetis untuk meningkatkan koefisien geseknya. Mengingat material ini

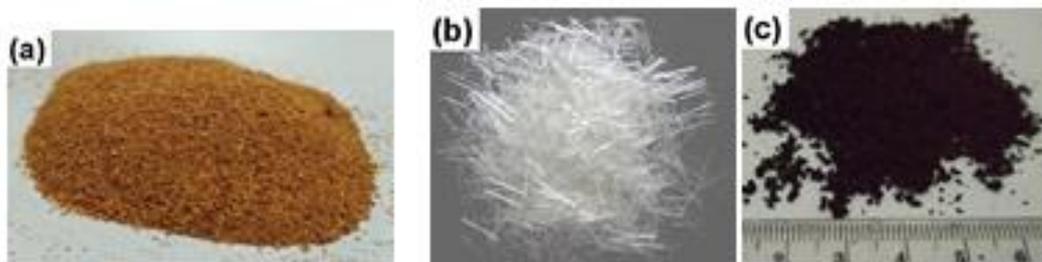
akan digunakan sebagai material gesek rem, maka karakteristik yang akan dievaluasi adalah kekerasan, laju keausan dan koefisien gesek.

METODE

(a) Material dan Persiapannya

Sebagai matrik digunakan epoksi yang tersedia di pasaran. Perbandingan antara resin dengan *hardener*nya mengikuti yang direkomendasikan oleh pembuatnya, yakni 1:1 dalam massa. Kadar matrik yang digunakan adalah 20 vol%. Sebagai material pengisi utama digunakan serbuk gergajian kayu lokal yang telah dikeringkan dengan kadar 60 vol%, ditambahkan 10 vol% serat pendek gelas-E yang tersusun secara acak dan 10 vol% partikel karet sintesis berbahan dasar elastomer buatan.

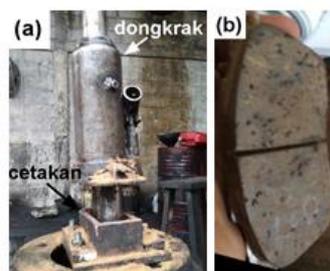
Serbuk gergajian kayu dicuci untuk menghilangkan debu, lalu dijemur pada sinar matahari selama 3×8 jam, kemudian diayak dengan mesh 11 dengan hasil seperti pada Gambar 1(a). Serat kaca kontinu dipotong dengan panjang sekitar 5-10 mm (Gambar 1(b)). Sedangkan karet sintesis diperoleh dari Akademi Teknologi Kulit Yogyakarta dalam bentuk batangan. Partikel karet diperoleh dengan cara memarut dan mengayak dengan ayakan dengan mesh 11. Hasil pengayakan ditunjukkan pada Gambar 1(c).



Gambar 1. Material pengisi: (a) Serbuk gergajian kayu, (b) Serat gelas pendek, (c) Serbuk karet

Material pengisi terdiri atas 324 [cm³] serbuk gergajian kayu, 54 [cm³] serat gelas pendek dan 54 [cm³] serbuk karet sintesis. Mengingat massa jenis kayu mindi kering = 0,53 [g/cm³] (ISWA, 2008), massa jenis serat gelas-E = 2,54 [g/cm³] (Vaughan, 1998), dan massa jenis karet sintesis elastomer = 0,85-0,90 [g/cm³] (Renner & Pek, 2011), maka massa material serbuk gergaji, serat gelas-E dan serbuk karet sintesis tersebut berturut-turut adalah 171,72 [g], 137,16 [g] dan 45,9-48,6 [g]. Sedangkan massa epoksi yang volumenya 108 [cm³] adalah 132,00 [g], mengingat massa jenis epoxy adalah 1,22 [g/cm³].

(b) Pencetakan



Gambar 2. (a) Pengepresan, (b) Hasil pencetakan

Permukaan dalam cetakan diolesi dengan *release agent*, yang dalam hal ini digunakan veselin. Pelapisan ini dilakukan agar hasil cetakan dapat dilepaskan dengan mudah. Sepatu rem bekas yang telah dibersihkan kemudian diletakkan pada cetakan.

Sementara itu, material pengisi ditimbang sebanyak seperti di atas dicampur sampai merata dan homogen. Resin epoksi dan *hardener* dicampur sampai merata dan homogen dengan perbandingan 1:1 [w/w] seperti yang direkomendasikan oleh produsennya, sehingga massa resin dan *hardener* masing-masing adalah 66 [g]. Setelah resin dan *hardener* tercampur merata, maka material pengisi ditaburkan ke dalam campuran epoksi sambil diaduk sehingga merata.

Campuran tersebut kemudian dituangkan ke dalam cetakan, dipadatkan dengan ditusuk-tusuk agar kemungkinan udara yang terjebak bisa keluar, dan kemudian dirol. Setelah epoksi mulai membentuk gel, maka dilakukan pengepresan, Gambar 2(a), sampai selama sekitar 16-24 jam sampai dengan terjadinya konsolidasi yang sempurna. Setelah keras, hasil cetakan dikeluarkan dari cetakan, dibersihkan dan dibentuk, Gambar 2(b).

(c) Karakterisasi

Sifat-sifat yang dievaluasi adalah yang esensial sebagai material gesek yang meliputi kekerasan, laju keausan dan koefisien gesek. Masing-masing material uji berupa komposit yang relatif lunak, maka uji kekerasan yang dilakukan adalah kekerasan Brinell menurut standar ASTM E10 (ASTM International, 2015). Uji laju keausan dilakukan sesuai dengan standar ASTM G99 (ASTM International, 2000) dengan metode Ogoshi menggunakan *Ogoshi Wear Testing Machine* tipe OAT-U. Evaluasi koefisien gesek dilakukan dengan bidang miring sesuai dengan standar ASTM G115 (ASTM International, 2010).

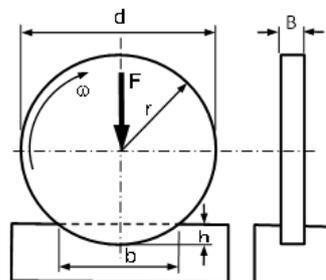
Aspesimen uji yang digunakan adalah kampas rem hasil pencetakan seperti ditunjukkan pada Gambar 2(b). Pengujian Brinell dilakukan dengan beban sebesar 250 [N], diameter bola indentor 10 [mm], dan lama tahan beban 30 [s]. Tapak hasil penekanan kemudian diamati di bawah mikroskop dan diambil foto makronya untuk pengukuran. Nilai kekerasan Brinell dihitung dengan persamaan (1) (ASTM International, 2015). Hasil yang disajikan di sini adalah rata-rata dari lima titik pengujian.

$$BHN = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

Dengan BHN = angka kekerasan Brinell, F = beban tekan [kgf], D = diameter indentor [mm], dan d = diameter tapak tekan [mm].

Besar gaya tekan yang diberikan pada uji laju keausan metode Ogoshi, Gambar 3, adalah 2,12 [kgf] sesuai dengan panduan operasi mesin tersebut. Uji laju keausan menggunakan cakram pengaus dengan tebal 3 [mm] serta dilakukan pada kecepatan 0,208 [m/s] dengan jarak luncur 66,6 [m]. Tapak hasil pengausan kemudian diambil foto makronya dengan mikroskop untuk pengukuran.

Nilai laju keausan spesifik, volume terabrasi per satuan jarak luncuran per satuan gaya tekan, dihitung dengan persamaan (2) (Ogoshi, NA). Hasil yang disajikan di sini adalah rata-rata dari tiga kali pengulangan pengujian.



Gambar 3. Uji keausan metode Ogoshi

Tabel 3. Hasil pengukuran panjang pengausan

Produk	b (mm)		
	Sampel	Rerata	SD
(1)	(2)	(3)	(4)
Serbuk gergaji/epoksi	1,02	1,09	0,066
	1,18		
Imitasi	0,93	1,02	0,273
	1,39		
Orisinal	0,74	0,95	0,156
	1,07		
	1,05		
	0,73		

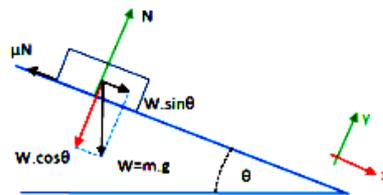
Tabel 3. Hasil pengukuran panjang pengausan

Produk	Pengukuran [mm]		$\mu = \tan \theta$	
	Tinggi	Alas	Sampel	Rerata
Imitasi	83,8	184,9	0,453	0,439
	83,2	186,0	0,447	
Orisinal	78,8	189,0	0,417	0,481
	88,1	183,2	0,481	
Serbuk gergaji/epoksi	88,3	183,7	0,481	0,481
	88,2	183,4	0,481	
	115,5	165,3	0,699	
	116,5	164,4	0,709	0,694
	112,2	166,1	0,675	

$$W_s = \frac{B b^3}{8 r P_o l_o} \text{ [mm}^3\text{/mm/kgf]} \quad (2)$$

Dengan W_s = laju keausan spesifik [mm³/mm/kgf], B = tebal cakram abrasi [mm], r = jari-jari cakram abrasi [mm], b = panjang jejak terabrasi [mm], P_o = besar gaya tekan [kgf], dan l_o = panjang luncuran [mm].

Evaluasi koefisien gesek dilakukan dengan bidang miring, Gambar 4. Nilai koefisien gesek dihitung dengan persamaan (3) (ASTM International, 2010). Hasil yang disajikan di sini adalah rata-rata dari empat titik pengujian.



Gambar 4. Evaluasi koefisien gesek
 $\mu = \tan \theta$ (3)

Dengan μ = koefisien gesek, dan θ = sudut lereng ketika sampel mulai meluncur [°].

HASIL DAN PEMBAHASAN

(a) Kekerasan Brinell

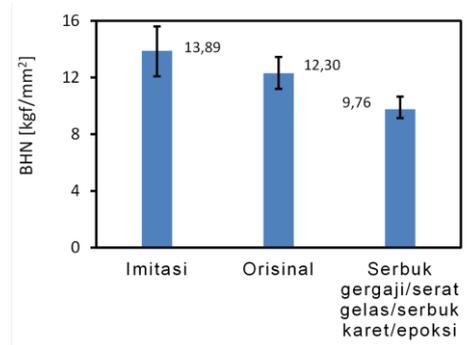
Contoh tapak bola indenter kampak rem ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil pengukuran, baik untuk kampak yang serbuk gergaji/serat gelas/serbuk karet/epoksi maupun pembanding yang diberi kode imitasi dan orisinal, ditunjukkan pada Tabel 1. Selanjutnya, nilai kekerasan Brinell dihitung menggunakan persamaan (1) dan diperoleh seperti pada grafik Gambar 6.

Pada Gambar 6 terlihat bahwa kekerasan Brinell paling rendah diperoleh dari kampak rem komposit hibrid serbuk gergaji/serat gelas/serbuk karet/epoksi. Dibandingkan dengan kampak rem yang ada di pasaran, produk ini akan menghasilkan tromol atau cakram yang lebih awet karena kekerasannya yang relatif lebih rendah. Nilai kekerasan ini juga masih lebih rendah dibandingkan dengan kekerasan kampak rem komposit serbuk tongkol jagung/serbuk kiningan, serbuk

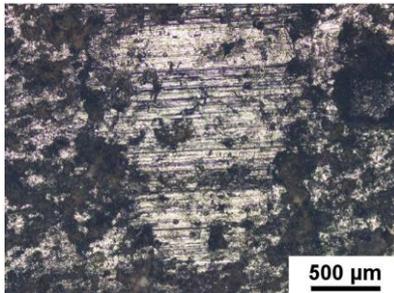
MgO/poliester dengan BHN 14,4-24,6 [kgf/mm²] (Ranto dkk., 2013), tergantung pada perbandingan serbuk tongkol jagung-serbuk kuningannya.



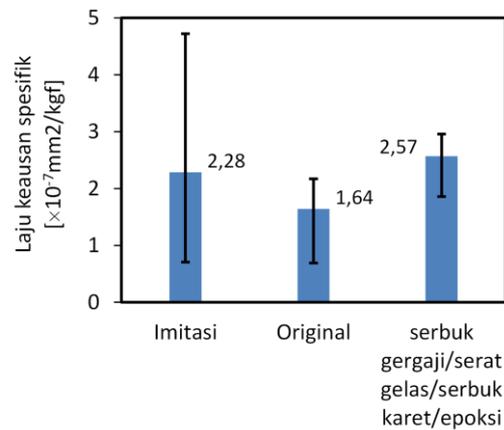
Gambar 5. Tapak indentor uji kekerasan Brinell



Gambar 6. Kekerasan Brinell



Gambar 7. Bekas uji keausan



Gambar 8. Laju keausan

Tabel 1. Hasil pengukuran tapak indentor

Produk	d (mm)		
	Sampel	Rerata	SD
Serbuk gergaji/epoksi	4,72	4,66	0,214
	4,70		
	4,52		
	4,96		
	4,40		
Imitasi	5,10	4,93	0,183
	4,72		
	4,84		
	4,84		
	5,14		
Orisinal	5,50	5,48	0,137
	5,26		
	5,64		
	5,50		
	5,48		

(b) Laju Keausan

Contoh bekas abrasi pada uji keausan ditunjukkan pada Gambar 7, sedangkan hasil pengukuran panjang pengausan disajikan pada Tabel 2. Bekas pengausan seperti pada Gambar 7 diukur di tiga tempat di tiga tempat dan dihitung nilai rata-ratanya seperti yang disajikan pada kolom (2) Tabel 2. Masing-masing spesimen diauskan di tiga tempat yang berbeda. Nilai keausan spesifik dihitung dengan persamaan (2), dan hasilnya disajikan pada Gambar 8. Dapat dilihat pada Gambar 8 bahwa material komposit serbuk gergaji/serat gelas/serbut karet/epoksi yang sedang diteliti memiliki laju keausan, 2,57 [mm²/kgf] yang masih lebih tinggi dibandingkan dengan yang ada di pasaran. Namun demikian harga ini masih lebih rendah dibandingkan dengan alternatif kanvas rem serbuk tempurung kelapa/poliester, 4,4x10⁻⁷ [mm²/kgf] (Ibhadode dan Dagwa, 2008).

(c) Kefisien gesek

Setiap sampel dilakukan pengulangan pengujian sebanyak tiga kali, dan hasilnya disajikan pada Tabel 3. Harga koefisien gesek dihitung dengan persamaan (3). Dari tabel 3 terlihat bahwa material gesek alternatif yang sedang diteliti ini, 0,694, memiliki koefisien gesek yang secara signifikan lebih tinggi dari yang ada di pasaran, 0,439 untuk yang imitasi dan 0,481 untuk yang orisinal. Bahkan nilai ini masih lebih tinggi dari koefisien gesek komposit serbuk bambu/Zn/epoksi (0,40-0,54) (Lusiani dkk., 2017). Dengan koefisien gesek yang tinggi maka akan diperoleh jarak pengereman yang lebih pendek yang berarti bahwa kerja pengereman menjadi lebih efektif.

KESIMPULAN

Limabah serbuk gergajian kayu potensial untuk dapat digunakan sebagai bahan pengisi atau *filler* pembuatan kanvas rem. Kekerasan Brinell kanvas rem komposit serbuk gergajian kayu/serat gelas/ serbuk karet/epoksi diperoleh 9,76 [kgf/mm²] yang lebih kecil dari kekerasan Brinell kanvas rem yang ada di pasaran. Namun demikian, laju keausannya (2,57·10⁻⁷ [mm²/kgf]) lebih tinggi dari pada yang ada di pasaran yang secara teknis akan lebih boros. Kelebihan material alternatif ini adalah koefisien geseknya (0,694) lebih tinggi dari yang ada di pasaran, yang selanjutnya dapat menghasilkan pengereman yang lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International. (2000). ASTM G99, Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus.
- ASTM International. (2010). ASTM G115, Standard Guide for Measuring and Reporting Friction Coefficients.
- ASTM International. (2015). ASTM E10, Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials.
- Bahri, S. (2007). Pemanfaatan limbah industri pengolahan kayu untuk pembuatan briket arang dalam mengurangi pencemaran lingkungan di Nangroe Aceh darussalam. Tesis S2. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- BPS. (2015). Statistik produk kehutanan. Jakarta: Badan Pusat Statistik, p. 35.
- Christianto, S.W. (2011). Sifat fisis dan mekanis komposit partikel arang serbuk kayu mahoni dengan variasi sekrap aluminium. Tugas Akhir S1. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.

- Dong, C., Davies, I.J., Fornari Jr., C.C.M., & Scaffaro, R. (2017). Mechanical properties of Macadamia nutshell powder and PLA bio-composites. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 15(3), 150-156.
- Dwiyati, S.T., Kholil, A., & Widyarma, F. (2017). Pengaruh penambahan karbon pada karakteristik kampas rem komposit serbuk kayu. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, 3, 108-114.
- Fowler, P.A., Hughes, J.M., & Elias, R.M. (2006). Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces. *Journal of the Science of Food Agriculture*, 86(12), 1781-1789.
- Ibhadode, A.O.A., & Dagwa, I.M. (2008). Development of asbestos-free friction lining material from palm kernel shell. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Science and Engineering*, 30(2), 166-173.
- Intan, D., Said, I., & Abram, P.H. (2016). Pemanfaatan biomassa serbuk gergaji sebagai penyerap logam timbal. *Jurnal Akademika Kimia*, 5(4), 166-171.
- ISWA. (2008). Petunjuk praktis sifat-sifat dasar kayu Indonesia, 62.
- Komarayati, S. (1996). Pemanfaatan serbuk gergaji limbah industri sebagai kompos. *Buletin Penelitian Hasil Hutan*, 14(9), 337-343.
- Lusiani, R., Sunardi, & Purnama, N. (2016). Studi eksperimental pengaruh ukuran partikel serbuk bambu terhadap sifat mekanis komposit untuk aplikasi kampas rem sepeda motor. *Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 2(2), 54-63.
- Nurilla, N., Setyobudi, L., & Nurhayati, E. (2013). Studi pertumbuhan dan produksi jamur kuping (*Auricularia auricula*) pada substrat serbuk gergaji kayu dan serbuk sabut kelapa. *Jurnal Produksi Tanaman*, 1(3), 40-47.
- Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine (Type OAT-U). Instruction Manual. Tokyo Testing Machine MFG. Co., Ltd., Japan.
- Pro-Power. (2012). Technical Data Sheet: Epoxy Resin EGPE500GF.
- Puja, I.G.K. (2011). Sudi kekuatan tarik dan koefisien gesek bahan komposit arang limbah serbuk gergaji kayu jati dengan matrik epoxy. *Mekanika*, 9(2), 320-323.
- Ranto, Harjanto, B., & Estiyanto, Y. (2013). Pemanfaatan serbuk tongkol jagung sebagai alternatif bahan friksi kampas rem non-asbestos sepeda motor. *Prosiding: Seminar Nasional ke-8*. Yogyakarta, 14 Desember 2013, M127-M130.
- Renner T., & Pek, L. (2011). Comparing strength properties of natural and synthetic rubber mixtures. *Sustainable Construction and Design*, 134-141.
- Shah, D.U., Schubel, P.J., & Clifford, M.J. (2013). Can flax replace E-glass in structural composites? A small wind turbine blade case study. *Composites Part B*, 52, 172-81.
- Sudarisman, Rahman, M.B.N., & Prabowo, A.B. (2015). Impact behavior of apus bamboo (*Gigantochloa apus*) fiber/epoxy green composites. *Applied Mechanics and Materials*, 758, 83-87.
- Sudrajat, R., & Pari, G. (2011). Arang aktif, teknologi pengolahan dan masa depannya. *Laporan Penelitian*. Jakarta: Balai Penelitian dan Pengembangan Kehutanan.
- Sujarwata, & Sarwi. (2006). Pemanfaatan limbah serbuk gergaji sebagai bahan peredam bunyi. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 4(2), 114-118.
- Vaughan, D.J. (1998). Fiber glass reinforcement. In Peter, S.T., *Handbook of Composites*. London: Chapman & Hall, 131-155