

Pengaruh perendaman bambu dengan air laut terhadap kekerasan dan laju keausan komposit kampas rem

Sunardi^{1*}, Hermawan Susanto², Rina Lusiani³, Iman Saefuloh⁴, Hamdan Akbar Notonegoro⁵, Moh. Fawaid⁶

¹Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jendral Sudirman KM 03 Cilegon, Banten, Indonesia 42435

²⁻⁶Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Ciwaru Raya No.25, Cipare, Kec. Serang, Kota Serang, Banten 42117

*Corresponding author: sunardi@untirta.ac.id

Abstract

Bamboo is a natural material that is widely found in South Banten. Using bamboo as an alternative material for manufacturing brake pads is interesting to research. Bamboo resistance to attacks of organisms is so low that it is necessary to give initial treatment. Preservation of bamboo sticks is done by soaking them in seawater. This immersion is determined for 15 and 30 days. The comparison of the composite constituent composition is 30% bamboo fiber, 28% bamboo particles, 2% zinc, and 40% epoxy resin. Compaction pressure is carried out by 400 kg/cm² for 10 minutes. The sintering process is carried out at a temperature of 150 °C for 60 minutes. From this research, it is known that the immersion of bamboo stems in seawater tends to decrease the hardness and the wear rate of composites.

Keywords: bamboo; seawater; hardness; wear rate.

Abstrak

Bambu merupakan material alam yang banyak dijumpai di Banten Selatan. Pemanfaatan bambu sebagai material alternatif untuk pembuatan kampas rem menarik untuk diteliti. Ketahanan bambu terhadap serangan organisme sangat rendah sehingga perlu diberikan perlakuan awal. Pengawetan batang bambu dilakukan dengan perendaman di dalam air laut. Perendaman ini ditentukan selama 15 dan 30 hari. Perbandingan komposisi penyusun komposit adalah 30% serat bambu, 28% partikel bambu, 2% seng, dan 40% resin epoxy. Tekanan kompaksi dilakukan sebesar 400 kg/cm² selama 10 menit. Proses sintering dilakukan pada suhu 150 °C selama 60 menit. Dari penelitian ini diketahui bahwa perendaman batang bambu dengan air laut cenderung menurunkan kekerasan dan laju keausan komposit.

Kata kunci: bambu; air laut; kekerasan; laju keausan.

Pendahuluan

Jumlah kendaraan bermotor terus mengalami peningkatan setiap tahun. Hingga akhir tahun 2018, jumlah kendaraan bermotor mencapai 154.376.369 unit yang terdiri dari: 17.238.361 unit mobil penumpang, 2.541.957 unit bus, 8.007.542 unit truk dan 126.588.509 unit sepeda motor [1].

Jika diperhatikan dari data tersebut, industri otomotif, spare part dan perawatan

memiliki peluang yang cukup besar untuk tetap tumbuh. Salah satu komponen vital sebuah kendaraan adalah rem. Rem berfungsi untuk mengendalikan kendaraan bermotor. Dengan demikian kondisi rem yang selalu prima sangat dibutuhkan dalam rangka menjaga keselamatan manusia maupun kendaraan itu sendiri.

Menurut rekomendasi pabrikan, umur pakai kampas rem dinyatakan untuk segera diganti ketika sudah menempuh jarak 35.000-40.000 kilometer, sedangkan untuk

mobil manual usia pemakaian bisa mencapai 70.000 kilometer. Hal ini menunjukkan bahwa kampas rem bukan komponen mesin yang memiliki umur panjang.

Jenis material untuk kampas rem ada bermacam-macam, antara lain: kampas rem organik, semi logam, dan keramik. Kampas rem organik memiliki karakter gigitan yang lembut sehingga tidak menimbulkan suara berisik pada kendaraan, dan lebih ekonomis, akan tetapi umur pakainya pendek. Kampas rem semi metalik berupa campuran antara logam dan material non logam seperti serat karet, kaca dan aramid. Kampas rem ini memiliki ketahanan aus dan gesekan yang cukup tinggi serta cocok dengan semua cuaca. Kelemahan material ini adalah bising dan berdebu dibandingkan dengan material lain.

Kampas rem keramik menggunakan teknologi baru dengan harga yang cukup mahal dengan masa pakai paling lama, sehingga penggantian kampas rem jarang dilakukan. Stabilitas panasnya juga baik dan tidak terlalu cepat panas serta cepat mendingin setelah digunakan. Kelemahan material ini adalah tidak cocok untuk daerah dingin karena membutuhkan pemanasan yang cukup sehingga pengeremannya dapat optimal.

Dikutip dari Warta Ekonomi, tanggal 8 November 2019 diketahui bahwa sebuah perusahaan yang memproduksi kampas rem per 31 Mei 2019 mampu mencatatkan aset sebesar Rp 33,47 miliar, total liabilitas Rp 12,49 miliar dan total ekuitas Rp 20,98 miliar [2]. Hal ini menjadi indikator baik bahwa kebutuhan kampas rem akan mengalami peningkatan dari waktu ke waktu.

Kualitas kampas rem dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain fraksi volum dan perlakuan awal serat. Serat bambu sangat berpotensi digunakan sebagai penguat dalam komposit. Metode perlakuan awal serat sudah dilakukan oleh para peneliti seperti yang akan diuraikan kemudian. Berangkat dari masalah tersebut, maka pada paper ini akan dibahas karakteristik kampas rem yang dibuat dari serat bambu yang

memperoleh perlakuan awal serat berupa perendaman di dalam air laut. Pemanfaatan serat bambu menarik diteliti mengingat Provinsi Banten memiliki kapasitas produksi bambu yang cukup besar.

Tinjauan Teoritis

Densitas dan struktur lapisan papan berpengaruh terhadap pengembangan tebal dan penyerapan air. Papan dengan densitas rendah akan mudah mengembang. Pengembangan dapat mencapai nilai maksimum jika menggunakan perendaman dalam air suhu tinggi [3].

Fraksi volum. Fraksi volum adalah salah satu cara untuk menyatakan unsur penyusun komposit. Perbandingan antara unsur-unsur tersebut berpengaruh terhadap sifat mekanis, fisik maupun sifat kimia komposit. Banyak peneliti yang sudah mempelajari hal ini. Raliannoor dan Rahmalina [4] menggunakan fraksi volum serat bambu dan fiberglass 2%, 2.5%, dan 3%. Semakin tinggi fraksi volume serat maka kekuatan tarik dan modulus elastisitas semakin tinggi. Dari riset ini diketahui bahwa serat bambu dan fiberglass 3% menghasilkan sampel komposit dengan kekuatan tarik 53,58 MPa dan modulus elastisitas 87.45 MPa.

Budiman dan Sugiman [5] juga mengamati perilaku fraksi volume 10, 20, dan 30% partikel sekam padi mesh 40 yang dicampur dengan serat bambu 40% terhadap kekuatan tarik, kekuatan bending dan impaknya. Dari riset ini disimpulkan bahwa penambahan fraksi volume partikel sekam relatif tetap dan menurun setelah fraksi volume 20%. Kekuatan bending meningkat seiring dengan naiknya fraksi volume sekam padi dan menurun setelah fraksi volum 20%. Secara umum, modulus lentur dan kekuatan impak tidak dipengaruhi fraksi volume sekam padi.

Kosjoko [6] menggunakan serat bambu dengan fraksi volum serat bambu 20, 30 dan 40%. Serat bambu diberikan perlakuan awal berupa perendaman NaOH. Pada fraksi volum serat bamboo tanpa perlakuan 20% menghasilkan kekuatan tarik

dan kekuatan bending paling tinggi. Sedangkan serat dengan perlakuan alkali mencapai nilai optimum pada fraksi volum 40%. Serat yang mendapatkan perendaman NaOH menghasilkan kekuatan tarik dan kekuatan lentur yang lebih tinggi daripada serat tanpa perlakuan awal.

Perlakuan awal serat. Serat merupakan komponen utama dalam komposit. Karakteristik komposit sangat dipengaruhi oleh fraksi volum serat, jenis serat dan perlakuan awal serat. Berdasarkan riset yang dilakukan diketahui bahwa serat bambu sangat berpotensi sebagai penguat komposit. Febrianto dkk [7] menunjukkan bahwa konsentrasi asam asetat 1, 2, dan 3% memiliki pengaruh yang berbeda terhadap kualitas papan partikel serat bambu. Semakin tinggi konsentrasi asam asetat maka semakin turun sifat mekanis papannya, meskipun sifat fisis seperti pengembangan tebal dan daya serap air cenderung meningkat. Penambahan hardener juga dapat memperbaiki sifat-sifat yang diperlukan oleh papan partikel.

Chen dkk [8] memberikan perlakuan alkali NaOH pada serat bambu dengan konsentrasi 6, 8, 10, 15 dan 20% yang diikuti dengan pembilasan dan pengeringan. Banyak terbentuk keriput dan porositas pada permukaan serat bambu karena perlakuan alkali ini. Agregat mikrofibril yang diberikan perlakuan larutan NaOH 15 dan 25% mengalami perubahan struktur dari acak menjadi granular. Perawatan alkali mengurangi diameter, lumen dan luas penampang serat, yang menginisiasi retakan di dinding sel. Kekuatan tarik dan modulus elastisitas (MOE) serat tunggal bambu menurun seiring dengan perlakuan alkali. Konsentrasi NaOH hampir tidak berpengaruh terhadap kekuatannya, tetapi berpengaruh terhadap MOE secara signifikan.

Kekasaran permukaan serat tunggal bambu sangat dipengaruhi oleh perlakuan alkali. Konsentrasi larutan NaOH 6, 8, 10, 15, dan 25% menyebabkan kebasahan dan stabilitas termal serat bambu yang berbeda. Perlakuan alkali dengan konsentrasi NaOH

yang rendah meningkatkan kebasahan serat tunggal bambu, tetapi kebasahan pada konsentrasi 25% akan berkurang. Dekomposisi pada suhu tinggi setelah perlakuan alkali pada konsentrasi NaOH rendah (6, 8, dan 10%) menunjukkan peningkatan stabilitas termal serat tunggal bambu [9].

Wang dkk [10] melakukan studi tentang pengaruh pengaruh konsentrasi alkali 1, 4, dan 7% pada serat bambu. Perlakuan alkali dapat memperbaiki suhu dekomposisi dan massa residualnya sehingga stabilitas termalnya meningkat. Larutan alkali dengan konsentrasi 4% memberikan nilai kekuatan tarik maksimum, dan interlocking antara serat dan resin.

Sifat modifikasi dopamine komposit serat bambu/poliaktik asam dipengaruhi oleh perlakuan alkali NaOH. Lin dkk [11] menggunakan larutan NaOH dengan konsentrasi 4, 6, dan 8. Dopamin yang terbentuk berfungsi sebagai agen konektor secara kimia antara serat bambu dan matriks PLA. Peningkatan sifat adhesi antarmuka BF/PLA menyebabkan stabilitas termal dan sifat mekanis komposit dapat diperbaiki.

Zhang dkk [12] mengamati karakteristik komposit jika serat bambu diberikan perlakuan alkali dengan konsentrasi NaOH 2, 6, dan 10% selama 12 jam. Perlakuan alkali pada serat bambu dengan konsentrasi 6% memberikan nilai optimal pada komposit. Ketangguhan patah dan modulus lentur komposit meningkat secara linier terhadap panjang dan kandungan serat. Dari pengamatan permukaan patahan diketahui kegagalan utama komposit berupa kerusakan serat, retak matriks, debonding, dan pull out serat.

Perlakuan awal serat bambu dalam larutan NaOH 4% selama 1 jam meningkatkan kekuatan tarik komposit. Perlakuan alkali juga menyebabkan suhu transisi kaca yang lebih tinggi dan suhu kristalisasi komposit. Kondisi ini dapat menghasilkan stabilitas termal yang tinggi. Kerusakan hemicellulose dan lignin selama perlakuan alkali serat dapat meningkatkan

kekuatan adhesi antarmuka. Perlakuan serat bambu yang dimodifikasi secara kimia memiliki modulus tarik yang lebih rendah disebabkan oleh konversi sebagian selulosa I menjadi II. Serat bambu dapat menjadi kandidat yang layak sebagai pengembangan komposit *biodegradable* [13].

Selain konsentrasi larutan, lamanya waktu perlakuan juga sangat berpengaruh terhadap karakteristik serat tunggal atau kompositnya. Semakin lama waktu perlakuan alkali pada serat bambu maka kekuatan tariknya semakin turun. Hal ini dinyatakan oleh Widodo dkk. [14].

Perlakuan serat bambu dengan ultrasonic frekuensi tinggi selama 30 menit dan dilanjutkan dengan pengeringan dengan udara selama 24 jam. Perlakuan ini dapat meningkatkan kekasaran dan kebasahan serat bambu dan wettability serat bambu [15].

Kekuatan adhesi antara permukaan serat bambu dan matriksnya dapat ditingkatkan dengan memberikan perlakuan alkali pada serat. Perlakuan pra-impragnasi mampu meningkatkan sifat mekanis dan ketahanan komposit terhadap air pada biokomposit berbasis bambu [16].

Perlakuan panas pada serat bambu hingga suhu 200°C dan densifikasi dapat memperbaiki sifat fisika-mekanis yang lebih baik jika dibandingkan dengan yang tanpa perlakuan. Perlakuan termo-mekanis menghasilkan karakteristik bambu yang mendekati kayu oak sehingga dapat digunakan sebagai lantai [17].

Metode Penelitian

Bahan Penelitian. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bambu, serbuk seng, dan resin epoxy. Jenis bambu yang digunakan adalah bambu betung pada bagian pangkal. Bambu digunakan sebagai filler dan sekaligus penguatnya.

Perlakuan Awal Bambu. Bambu yang akan digunakan sebagai serat dan filler direndam dalam air laut selama 15 dan 30 hari. Air laut diambil dari Pantai Anyer, Banten.

Setelah mencapai jumlah hari yang ditentukan, bambu dibersihkan dan dijemur selama beberapa hari untuk mengurangi kandungan air sehingga mudah saat dibuat menjadi partikel. Pembuatan partikel bambu dilakukan dengan mengikir bagian daging. Ukuran serbuk bambu yang digunakan dalam penelitian adalah mesh 60.



Gambar 1. Bahan-bahan penelitian

Serat bambu yang digunakan adalah sisa partikel bambu yang tidak lolos dalam ayakan mesh 60. Panjang serat juga tidak ditentukan secara khusus. Penggunaan serat bambu dalam komposit menggunakan metode chop.

Preparasi sampel. Komposisi sampel komposit ditentukan berdasarkan fraksi volum dengan persentase masing-masing 28% serbuk bambu, 30% serat bambu, 2% seng, dan 40% resin epoxy sebagai matriksnya. Pencampuran serbuk bambu, seng dan resin dilakukan dengan menggunakan mixer selama 15 menit kemudian dидiamkan.

Campuran komposit yang sudah terbentuk kemudian di-press dengan tekanan kompaksi 400 kg/cm² selama 10 menit. Proses selanjutnya adalah sintering dimana sampel dipanaskan di dalam furnace hingga suhu 150°C dan ditahan selama 60 menit.

Pengujian kekerasan dan laju keausan. Pengujian kekerasan sampel

dilakukan dengan menggunakan kekerasan Brinnel. Diameter indenter yang digunakan 2.5 mm dengan pembebanan 15.625 kg. Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Micro Cold Rolling Mill, PT. Krakatau Steel.



Gambar 2. Alat uji kekerasan Brinnel

Pengujian laju keausan dilakukan di Laboratorium Metalurgi LIPI di Kawasan Pupiptek Serpong, Tangerang Selatan. Dalam penelitian ini digunakan kecepatan putaran 100 rpm dengan jumlah putaran 100, ukuran kertas abrasif 220 dan beban 200 gram. Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optis dan dilakukan di Laboratorium Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.



Gambar 3. Alat uji laju keausan

Hasil dan Pembahasan

Bambu yang direndam di dalam air laut mendapat perlindungan dari serangan jamur yang dapat merusak bambu. Semakin lama waktu perendaman akan diperoleh perlindungan performa bambu yang lebih baik lagi.

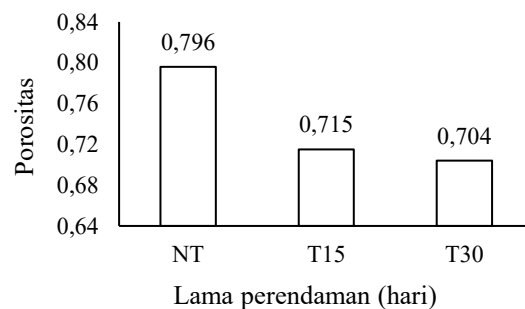
Sedangkan batang bambu yang tidak memperoleh perlakuan awal terbentuk lubang-lubang pada batangnya, diserang organisme. Kondisi ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fawaid dkk yang menggunakan lumpur sebagai media perendaman. Perendaman dalam lumpur memberikan kekerasan dan laju keausan yang lebih baik daripada serat bambu yang

tidak memperoleh perlakuan awal [18]. Perbandingan antara keduanya dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Pengamatan sampel (a) tanpa perlakuan dan (b) perendaman air laut.

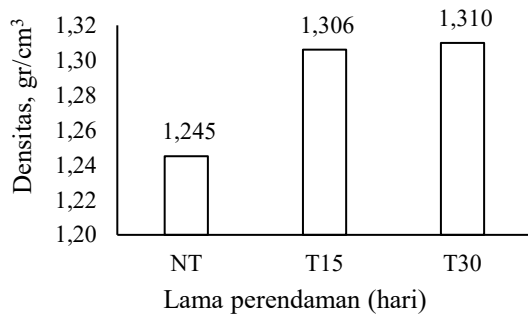
Porositas. Perendaman bambu di dalam air berpengaruh terhadap densitas sampel komposit yang dihasilkan. Dari Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin lama waktu perendaman bambu di dalam air laut maka porositas komposit semakin kecil. Hasil penelitian ini sejalan dengan yang dilakukan oleh Fawaid dkk (2013) yang menggunakan lumpur sebagai perlakuan awal batang bambu [18].



Gambar 5. Porositas komposit

Densitas. Nilai densitas biasanya berbanding terbalik dengan porositasnya. Artinya semakin kecil porositas maka densitas komposit akan semakin tinggi. Dari Gambar 6 diketahui bahwa perlakuan awal pada bambu akan berpengaruh terhadap densitas komposit. Semakin lama waktu perendaman material sampel maka densitas komposit yang dihasilkan akan semakin tinggi. Persentase peningkatan densitas sebesar 5.22% jika dibandingkan dengan

bambu yang tidak mendapatkan perlakuan awal.

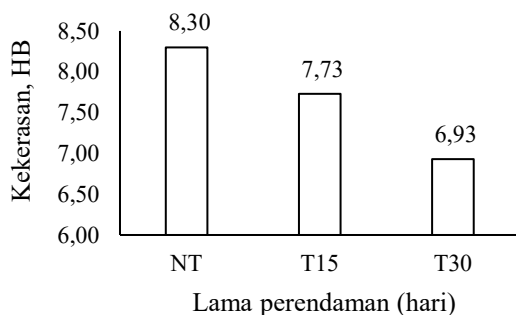


Gambar 6. Densitas komposit

Peningkatan densitas ini terpaut cukup jauh dengan yang dilakukan oleh Fawaid dkk yang menggunakan lumpur sebagai media perendaman bambu. Peningkatan densitas dengan media lumpur dapat mencapai 13.49% [18].

Peningkatan densitas komposit disebabkan oleh kerusakan selulosa yang terdapat pada batang bambu. Kerusakan selulosa disebabkan oleh kontak antara air laut dan batang bambu. Kondisi ini menyebabkan pemadatan filler dan serat karena tekanan kompaksi saat pembuatan sampel. Semakin lama perendaman maka kerusakan selulosa semakin besar.

Kekerasan. Kekerasan material adalah kemampuan material menerima indentasi. Kedalaman indentasi berkaitan dengan deformasi yang disebabkan oleh tekanan indenter baja.



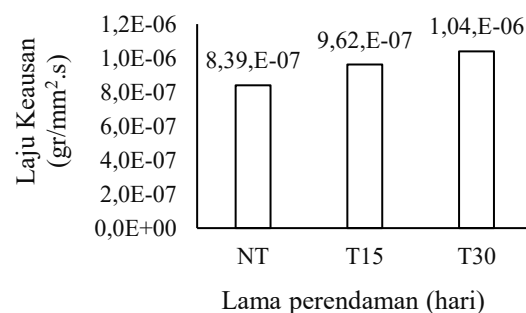
Gambar 7. Pengaruh lama perendaman bambu terhadap kekerasan komposit.

Semakin lama perendaman batang bambu maka kekerasan sampel komposit semakin turun. Penurunan kekerasan ini

disebabkan oleh kerusakan selulosa batang bambu selama proses perendaman. Perendaman dengan air laut memiliki pengaruh yang kurang baik terhadap kekerasan dan laju keausan komposit. Hal ini ditunjukkan oleh rendahnya kekerasan sampel jika dibandingkan dengan bambu yang tanpa mengalami perlakuan sama sekali.

Perendaman bambu yang direndam di dalam air laut mengalami penurunan kekerasan sebesar 16.61% dibandingkan dengan bambu yang tanpa perlakuan awal. Kondisi ini berbanding terbalik dengan penggunaan lumpur sebagai media perendaman. Dalam penelitiannya, Fawaid dkk menyatakan bahwa perendaman dalam lumpur dapat meningkatkan kekerasan sampel mencapai 11.3 BHN atau setara dengan 36.14%. Nilai ini sudah mendekati kekerasan kanvas rem yang ada di pasaran, 11.9 BHN [18].

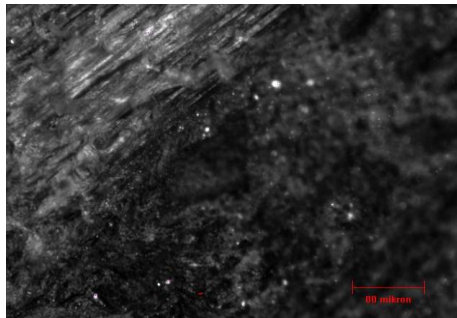
Laju Keausan. Laju keausan memiliki nilai yang berbanding balok dengan kekerasan. Hal ini ditunjukkan dengan semakin lama perendaman batang bambu maka terjadi peningkatan laju keausan. Besarnya peningkatan laju keausan ini disebabkan oleh ikatan antar penyusun sampel komposit semakin lemah.



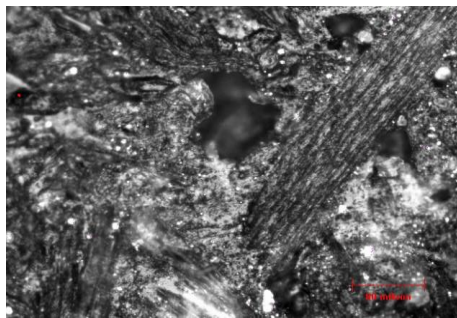
Gambar 8. Korelasi lama perendaman dan laju keausan komposit

Laju keausan berkaitan erat dengan kekuatan ikatan antara serat dan matriksnya. Semakin kuat ikatan antar unsur penyusun komposit maka akan semakin kecil laju keausannya. Lemahnya ikatan antara serat bambu dan matriks disebabkan oleh kerusakan lignin.

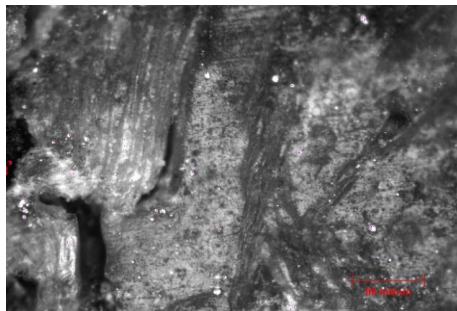
Struktur Mikro. Gambar 9 menunjukkan struktur mikro komposit pada serat tanpa perlakuan dengan serat yang direndam di dalam air laut. Sebaran serbuk seng dan filler bambu relatif merata pada komposit tanpa perlakuan. Densitas bambu yang tidak memperoleh perlakuan cenderung lebih ringan. Kondisi ini biasanya menyebabkan terjadinya dominasi matriks dalam menahan beban.



(a)



(b)



(c)

Gambar 9. Struktur mikro (a) tanpa perlakuan, (b) perendaman air laut 15 hari dan (c) 30 hari.

Pada bambu yang mengalami perendaman air laut, maka banyak dijumpai terbentuknya void atau retakan. Retakan dihasilkan dari kerusakan lignin pada serat sehingga ikatan antara serat dan matriks tidak terbentuk dengan baik. Kondisi inilah yang menyebabkan mengapa kekerasan pada bambu yang memperoleh perlakuan justru menurun.

Kesimpulan

Perlakuan awal pada serat dengan berbagai media dan durasi perlakuan memiliki pengaruh yang berbeda-beda. Dari uraian di atas, dapat diperoleh kesimpulan bahwa perendaman batang bambu dalam air laut secara umum menurunkan sifat-sifat mekanis komposit yang dihasilkan. Kekuatan ikatan antar partikel penyusun sampel komposit cenderung rendah. Kondisi ini ditunjukkan oleh rendahnya kekerasan atau tingginya laju keausan sampel material.

Ucapan Terimakasih

Kelancaran penelitian ini tidak lepas dari kontribusi dari berbagai pihak, khususnya kepada Laboratorium Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa dan Laboratorium Metalurgi LIPI di Kawasan Puspipetek, Serpong.

Referensi

- [1] BPS, 2019. Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Provinsi dan Jenis Kendaraan.
- [2] Warta Ekonomi, 2019. Cari Dana Segar, Perusahaan Kampas Rem Jual 25% Saham ke Publik.
- [3] Sumardi, I. and Suzuki, S., 2014. Dimensional stability and mechanical properties of strandboard made from bamboo. *BioResources* 9, 1159–1167.
- [4] Raliannoor and Rahmalina, D., 2019. Pengaruh fraksi volume penguat 2, 2.5 dan 3% serat bambu haur dan fiberglass terhadap kekuatan tarik matriks poliester. *Info Teknik* 20, 141–154.
- [5] Budiman, A. and Sugiman, S., 2016. Karakteristik sifat mekanik komposit serat bambu resin polyester tak jenuh dengan filler partikel sekam. *Dinamika Teknik Mesin* 6, 76-82.
- [6] Kosjoko, 2014. Pengaruh perendaman (NaOH) terhadap kekuatan tarik dan bending bahan komposit serat bambu tali (*gigantochloa apus*) bermatriks

- polyester. *Info Teknik* 15, 139–148.
- [7] Febrianto, F. et al., 2016. Sifat fisis dan mekanis papan partikel bambu betung dengan perlakuan perendaman asam asetat (physical and mechanical properties of particle board of betung bamboo with acetic acid soaking treatment). *Jurnal Ilmu Teknologi Kayu Tropis* 14, 23–38.
- [8] Chen, H. et al., 2017. Effect of alkali treatment on microstructure and mechanical properties of individual bamboo fibers. *Cellulose* 24, 333–347.
- [9] Chen, H. et al., 2018. Effect of alkali treatment on wettability and thermal stability of individual bamboo fibers. *Journal of Wood Science* 64, 398–405.
- [10] Wang, F. et al., 2019. Effect of fiber surface modification on the interfacial adhesion and thermo-mechanical performance of unidirectional epoxy-based composites reinforced with bamboo fibers. *Molecules* 24, 1-14.
- [11] Lin, J. et al., 2018. The Effect of alkali treatment on properties of dopamine modification of bamboo fiber/polylactic acid composites. *Polymers* 10, 1-12.
- [12] Zhang, K. et al., 2018. Thermal and mechanical properties of bamboo fiber reinforced epoxy composites. *Polymers* 8, 1-18.
- [13] Wang, F. et al., 2018. Thermo-mechanical performance of polylactide composites reinforced with alkali-treated bamboo fibers. *Polymers* 10, 1-14.
- [14] Widodo, T.D. et al., 2019. Effect of alkalization treatment on the tensile strength and interface character matrix-fibber of bamboo petung (*dendrocalamus asper*) reinforced polyester resin composite. *IOP Conference Series: Materials and Engineering* 494, 1-10.
- [15] Chen, H. et al., 2016. Microfibril aggregates in pretreated bamboo fiber analyzed with atomic force microscopy. *Wood and Fiber Science* 48, 104–116.
- [16] Kushwaha, P.K. and Kumar. R., 2012. Influence of pre-impregnation treatment on bamboo reinforced epoxy/ure resin composites. *Open Journal of Composite Material* 02, 139–141.
- [17] Mania, P. et al., 2019. The effect of thermo-mechanical treatment of moso bamboo (*phyllostachys pubescens*) on its sorption and physicomechanical properties. *Drvna Industrija* 70, 265–272, 2019.
- [18] Fawaid, M. dkk., 2013. Pengaruh proses perendaman bambu pada media lumpur sebagai bahan komposit dengan matriks resin epoksi sebagai bahan baku alternatif kanvas rem. *Prosiding Seminar Nasional Industrial Services (SNIS) III*, 455–460.

