

Pemanfaatan Limbah Batang Kelapa Sawit dan Plastik Daur Ulang sebagai Bahan Baku Papan Plastik Komposit *(Utilization of Oil Palm Wastes and Recycled Plastic as Raw Materials for Wood-Plastic Composites)*

Lusita Wardani ¹⁾, Muhammad Y Massijaya²⁾, Muhammad F Machdie¹⁾

¹⁾Staf Pengajar Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru

²⁾Staf Pengajar Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor

Corresponding author: lusita41@yahoo.com (Lusita Wardani)

Abstract

This study examined the physical and mechanical properties of wood plastic composites made from recycled propypropylene (RPP) and oil palm biomass wastes under various particle sizes and pressing temperatures. Oil-palm biomass wastes (ie., oil palm trunk(OPT) was used as filler. The OPT was produced in 3groups (i.e., passed from 20, 40,and 60 meshes filtered). The RPP and OPT or EFB ratio were 7:3. Maleic anhydride (MAH) and benzoil peroxyde (BPO) were used as a modifier and an inisiator in amount of 5% based on RPP and MAH weight, respectively. The hand-mixtures of RPP and OPT or EFB with or without MAH and BPO were subjected to hot-press at 180 °C and 190 °C for 10 min at 15 kgf cm⁻² pressure. The results indicated particle sizes, MAH and BPO and pressure of temperature were influences of physical and mechanical properties of WPC from OPT. Samples WPC with MAH and BPO have a highest value than samples without MAH and BPO. Testing was done according to standard JIS A 5908-2003. Preliminary research results shown that particle from palm oil trunk with additive content shown the best physical and mechanical properties compared to the others.

Key words: benzoil peroxide, empty fruit bunches, maleic anhydride, oil palm trunk, particle size, recycle polypropylene

Pendahuluan

Pembuatan komposit kayu plastik menggunakan plastik daur ulang dengan bahan berlignoselulosa selain dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan kayu juga mengurangi beban lingkungan dari limbah plastik (Setyawati 2003). Keunggulan produk komposit kayu plastik antara lain adalah biaya produksi lebih murah, bahan bakunya melimpah, fleksibel dalam proses pembuatannya, kerapatannya rendah, lebih bersifat lebih mudah terurai (dibanding plastik), memiliki sifat-sifat yang lebih baik dibandingkan bahan baku asalnya, dapat

diaplikasikan untuk berbagai keperluan, serta produknya dapat didaur ulang (*recycleable*) (Febrianto 2005).

Bahan pengisi ditambahkan ke dalam matriks polimer dengan tujuan untuk meningkatkan sifat-sifat termal dan mekanis komposit kayu plastik (Han 1990). Bahan pengisi memainkan peranan penting dalam menunjang kekuatan komposit melalui penyebaran beban yang efektif diantara serat dan matriks. Selain itu dengan penambahan bahan pengisi akan mengurangi biaya dan pada saat yang bersamaan dapat meningkatkan beberapa sifat produknya. Berbagai bahan organik

dapat digunakan sebagai bahan pengisi, seperti kayu, bagase, kulit kacang, bambu, rotan, sisal, kenaf, jute dan sebagainya (Febrianto *et al.* 1999).

Potensi luas peremajaan kelapa sawit di Indonesia berkisar antara 20 hingga 50 ribu ha per tahun. Di dalam setiap hektar terdapat 140 batang sawit tua dan ditaksir menghasilkan biomassa dari batang sebanyak 167 m^3 per ha. Sepertiga bagian batang (bagian terluar) berpotensi sebagai kayu gergajian (Hartono *et al.* 2011, Susila 2004, dan Febrianto 2004). Selain batang, biomassa lainnya yang dihasilkan dari peremajaan kelapa sawit adalah pelepah, tandan kosong dan cangkang. Biomassa ini berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengisi untuk produk komposit kayu plastik.

Limbah plastik juga sangat melimpah di Indonesia. Pada tahun 2000 volume sampah dari kota-kota besar di Indonesia dilaporkan sebesar 100.000 ton per hari dan 2% diantaranya adalah sampah plastik. Volume limbah plastik tersebut akan terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan penduduk dan laju pertumbuhan ekonomi (Wibowo 2009). Limbah plastik ini potensial untuk digunakan sebagai matriks dalam pembuatan komposit kayu plastik. Plastik mempunyai sifat hidrofobik, sehingga komposit yang dihasilkan lebih tahan terhadap air dan kelembaban. Selain itu bahan plastik tidak disukai rayap, sehingga tanpa perlakuan pengawetan, papan komposit berbahan plastik tidak akan dimakan rayap, bebas emisi formaldehida dan ramah lingkungan (Hu *et al.* 2005, Massiyaya *et al.* 2009).

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kualitas komposit kayu plastik dari limbah padat dari perkebunan kelapa sawit berupa batang kelapa sawit (BKS) dengan matriks plastik polipropilena daur ulang

(RPP). Pengaruh perbedaan suhu Kempa dan ukuran partikel bahan pengisi terhadap sifat fisis dan sifat mekanis komposit kayu plastik dilaporkan dalam tulisan ini.

Bahan dan Metode

Bahan pengisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah BKS dan dikonversi menjadi partikel dengan menggunakan *hammer mill*. Partikel yang dihasilkan selanjutnya diayak dan dikelompokkan menjadi 3 kelompok, yaitu lolos saringan $p1 = 20$ mesh, $p2 = 40$ mesh dan $p3 = 60$ mesh. Setelah itu, partikel dikeringkan dengan oven sampai mencapai kadar air (KA) $<10\%$. RPP dengan ukuran 60 mesh digunakan sebagai matriks. Perbandingan matriks dan bahan pengisi adalah 7:3. *Maleic anhydride* (MAH) sebanyak 5% dari berat matriks digunakan sebagai *modifier* dan benzoil peroksida (BPO) sebanyak 5% dari berat MAH dan digunakan sebagai inisiator.

Partikel BKS, RPP, MAH dan BPO dicampur secara manual. Setelah itu dimasukkan ke dalam pencetak lembaran untuk membentuk lembaran contoh uji dengan ukuran $(20 \times 10 \times 0,33) \text{ cm}^3$. Kerapatan sasaran papan plastik komposit yang dibuat adalah $1,0 \text{ g cm}^{-3}$. Selanjutnya dilakukan pengempaan panas dengan suhu (S) dimana $s1 = 180^\circ\text{C}$ dan $s2 = 190^\circ\text{C}$ selama 10 menit dengan tekanan 15 kgf cm^{-2} . Setelah pengempaan panas, komposit kayu plastik yang dihasilkan dibiarkan didalam cetakan hingga dingin dan keras. Untuk menyeragamkan KA lembaran papan komposit dan melepaskan tegangan sisa di dalam lembaran sebagai akibat pengempaan panas, maka dilakukan pengkondisian selama 1 minggu.

Pengujian sifat fisis dan mekanis papan plastik komposit meliputi kerapatan, KA, daya serap air (DSA), pengembangan tebal

(PT), modulus lentur (MOE) dan modulus patah (MOR). Pengujian dilakukan berdasarkan standar JIS A 5908-2003. Untuk mengetahui pengaruh antar perlakuan dilakukan analisis data menggunakan rancangan percobaan faktorial, yakni faktor ukuran partikel ($P = 3$ taraf) dan faktor suhu kempa ($S = 2$ taraf). Setiap perlakuan diulang sebanyak 3 kali.

Berdasarkan uji FTIR dan DSC sampel RPP adalah polipropilena. Mengandung filler polisilikat dan kalsium sulfat dengan nilai MFR sebesar $10,688 \pm 0,30$ g dalam 10 menit. Berdasarkan uji TGA sampel mengandung polimer sebesar 98,877%, residu organik 0,579% dan residu inorganik (filler sebesar 0,544%).

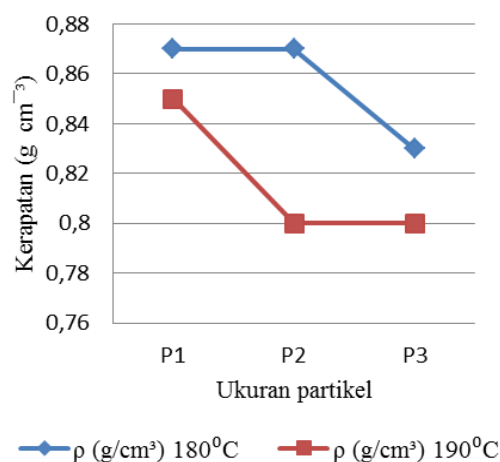
Hasil dan Pembahasan

Kerapatan

Kerapatan papan plastik komposit merupakan salah satu sifat fisis yang sangat berpengaruh terhadap sifat fisis mekanis lainnya. Nilai rata-rata kerapatan papan plastik komposit dengan bahan pengisi BKS antara $0,80$ - $0,87$ g cm^{-3} . Kerapatan papan plastik komposit pada suhu kempa 180°C secara umum lebih tinggi daripada 190°C . Suhu kempa yang tinggi menurut Febrianto (1999), tidak sesuai dengan bahan inisiator BPO yang biasa digunakan pada suhu kempa yang lebih rendah. Lebih lanjut Risnasari *et al.* (2009) menyatakan kerapatan papan plastik komposit dari berbagai bagian batang sawit dengan campuran RPP dan MAPP berkisar antara $0,85$ - $0,95$ g cm^{-3} dari sasaran kerapatan $1,0$ g cm^{-3} . Ada kemungkinan kerapatan papan plastik

komposit dipengaruhi oleh kadar air bahan baku fillernya (batang sawit) yang masih tinggi sebelum dikempa, kadar air ini kemudian menguap bersamaan dengan proses kempa panas, sehingga kerapatan sasaran tidak tercapai (Gambar 1).

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa interaksi faktor ukuran partikel, perbedaan suhu kempa memberikan pengaruh yang nyata terhadap kerapatan papan komposit dari batang), sehingga dilakuka uji lanjut dengan DMRT dan hasilnya disajikan pada Tabel 1. Dijelaskan disini bahwa pada ukuran partikel 20 mesh dan 40 mesh pada suhu kempa 180°C tidak memberikan pengaruh yang berbeda, tetapi berbeda pada ukuran partikel 60 mesh. Pada suhu kempa 190°C ukuran partikel 40 mesh dan 60 mesh tidak berbeda. Ukuran partikel 60 mesh pada suhu 180°C sama dengan ukuran partikel 20 mesh pada suhu kempa 190°C .



Gambar 1 Kerapatan papan komposit plastik batang sawit pada ukuran partikel P1, P2 dan P3 pada suhu kempa (180°C dan 190°C).

Tabel 1 Rata-rata nilai kerapatan papan plastik komposit batang sawit pengaruh interaksi suhu kempa terhadap ukuran partikel

Suhu kempa (S)	Ukuran Partikel (P)		
	p1	p2	p3
s1	0,87 ^c	0,87 ^c	0,83 ^b
s2	0,85 ^b	0,80 ^a	0,80 ^a

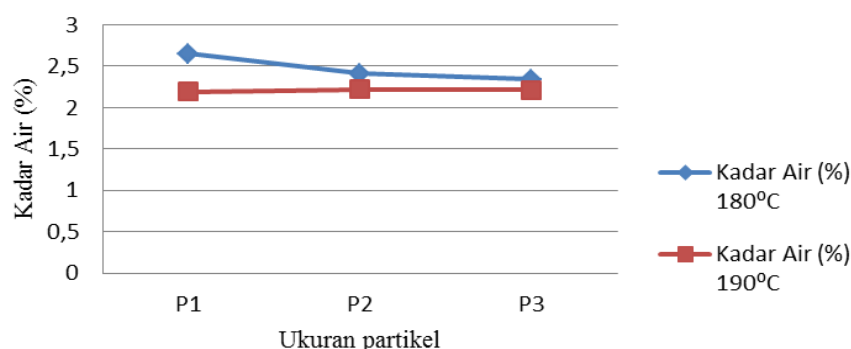
Keterangan: rata-rata yang mempunyai tanda superskrip sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT pada taraf $\alpha = 0,05$

Jika dibandingkan dengan standar JIS A 5908–2003, maka nilai kerapatan papan komposit yang dihasilkan dalam penelitian ini seluruhnya sudah memenuhi standar JIS A 5908–2003 yang mensyaratkan kerapatan papan partikel antara 0,40–0,9 gcm⁻³.

Kadar air

Kemampuan papan plastik komposit untuk berada dalam kondisi kelembaban yang setimbang dengan lingkungan sekitarnya adalah salah satu sifat fisis yang diuji, biasa disebut dengan KA. Nilai KA papan komposit dengan beberapa faktor perlakuan disajikan pada Gambar 2. Nilai rata-rata KA papan plastik komposit dengan bahan pengisi BKS sekitar 2,19–2,65%. Kadar air terendah dan relatif sama diperoleh pada suhu kempa 190 °C.

Analisa keragaman menyatakan pengaruh suhu kempa dan ukuran partikel tidak signifikan. RPP adalah thermoplastik resin yang bersifat hidrofobik yaitu sifat yang tidak mudah menyerap dan melepaskan air. Walaupun proses pencampuran bahan baku papan plastik komposit dilakukan secara manual, adanya bahan aditif MAH dan BPO tersebut mampu mendistribusikan bahan pengisi dengan matriks RPP secara homogen dan papan plastik komposit yang dihasilkan lebih kompak (Han 1989) dengan kadar air yang relatif kecil. Gambar 2 menjelaskan perbedaan kadar papan komposit plastik batang sawit yang dikempa dengan suhu kempa 180 °C dan 190 °C.



Gambar 2 Kadar air papan komposit plastik batang sawit pada ukuran partikel P1, P2 dan P3 pada suhu kempa (180 °C dan 190 °C).

Jika dibandingkan dengan standar JIS A 5908-2003, maka nilai KA air papan komposit yang dihasilkan telah memenuhi standar dengan nilai yang dipersyaratkan yaitu berkisar antara 5-13%.

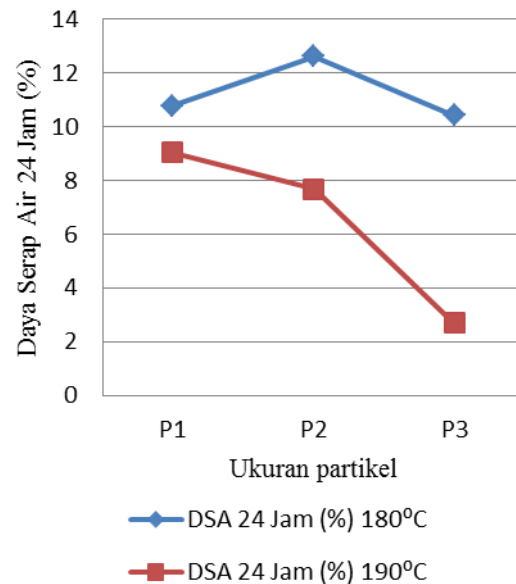
Daya serap air (DSA)

DSA merupakan sifat fisis papan komposit adalah kemampuan papan untuk menyerap air setelah direndam dalam air selama 24 jam. Nilai rata-rata daya serap air dalam rendaman 24 jam terdapat pada Gambar 3. DSA papan plastik komposit batang sawit setelah direndam selama 24 jam berkisar antara 2,7-12,63%. Suhu kempa yang tinggi mempengaruhi kemampuan papan komposit plastik untuk menyerap air, karena partikel batang sawit tertutup oleh matriks RPP lebih kuat. Analisis sidik ragam menyatakan bahwa, pada *filler* partikel batang sawit interaksi pengaruh ukuran partikel dan suhu kempa sangat nyata, sehingga dilakukan uji lanjut dengan uji DMRT (Tabel 4). Disini terlihat bahwa suhu kempa 180 °C memberikan interaksi yang berbeda di semua ukuran partikel, sedangkan di suhu kempa 190 °C pengaruhnya sama pada ukuran partikel 20 mesh sama dengan ukuran partikel 40 mesh.

Tabel 3 Rata-rata nilai daya serap air papan plastik komposit batang sawit pengaruh interaksi suhu kempa terhadap ukuran partikel

Suhu kempa (S)	Ukuran Partikel (P)		
	p1	p2	p3
s1	10,79 ^d	12,63 ^e	10,42 ^d
s2	9,05 ^b	7,69 ^b	2,7 ^a

Keterangan: Rata-rata yang mempunyai tanda superskrip sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT pada taraf $\alpha = 0,05$



Gambar 3 Daya serap air 24 Jam papan komposit plastik batang sawit pada ukuran partikel P1, P2 dan P3 pada suhu kempa (S1 dan S2).

Secara umum batang kelapa mempunyai sifat yang sangat higroskopis. Akan tetapi, berdasarkan hasil penelitian ada kecenderungan penurunan nilai daya serap air akibat penggunaan MAH dan BPO. Menurut Toke *et al.* (2003) bahwa bila MAH dicampur dengan PP, maka akan membuat campuran-campuran PP menjadi lebih kompak dengan komponen-komponen yang bersifat polar. Pada standar JIS A 5908-2003 daya serap air untuk WPC tidak dipersyaratkan.

Pengembangan tebal

Sifat pengembangan tebal papan partikel merupakan salah satu sifat fisis yang menentukan apakah suatu papan partikel dapat digunakan untuk keperluan interior atau eksterior (Massijaya *et al.* 1999).

Lamanya perendaman akan meningkatkan pengembangan tebal papan komposit plastik batang sawit. Suhu kempa yang lebih tinggi berperan terhadap sifat ini. Berkaitan dengan daya serap air papan

komposit plastik, sifat pengembangan tebal mengikuti pola kemampuan tersebut. Penggunaan RPP dengan bahan MAH dapat mengurangi sifat higroskopis *filler* partikel batang sawit. Jika dibandingkan dengan standar JIS A 5908-2003, pengembangan tebal papan komposit yang dihasilkan dalam penelitian ini masih dibawah batas maksimum yang ditetapkan untuk papan partikel sebesar 12%. Nilai pengembangan tebal selama perendaman 24 jam disajikan pada Gambar 4 .

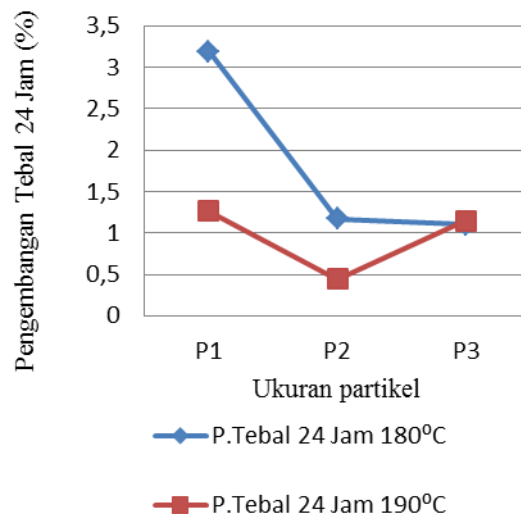
Tabel 4 Rata-rata nilai penegmbangan tebal papan plastik komposit batang sawit pengaruh interaksi suhu kempa terhadap ukuran partikel

Suhu kempa (S)	Ukuran Partikel (P)		
	p1	p2	p3
s1	3,9 ^b	1,17 ^a	1,1 ^a
s2	1,26 ^a	0,44 ^a	1,15 ^a

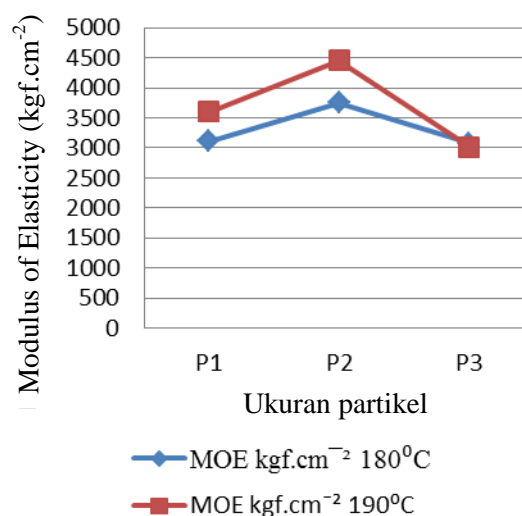
Keterangan: Rata-rata yang mempunyai tanda superskrip sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT pada taraf $\alpha = 0,05$

Modulus lentur (*modulus of elasticity/ MOE*)

Modulus Elastisitas (MOE) adalah ukuran ketahanan papan partikel menahan beban dalam batas proporsi (sebelum patah). Sifat ini sangat penting jika papan partikel digunakan sebagai bahan kontruksi. Nilai keteguhan lentur papan komposit batang sawit yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4 Pengembangan Tebal 24 Jam papan komposit plastik batang sawit pada ukuran partikel P1, P2 dan P3 pada suhu kempa (180 °C dan 190 °C).



Gambar 5 Sifat keteguhan lentur (MOE) papan komposit plastik partikel batang sawit pada ukuran partikel P1, P2 dan P3 pada suhu kempa (S1 dan S2).

Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai rata-rata keteguhan lentur papan komposit batang pada suhu kempa 180 °C antara 3008,27-3750,51 kgf cm⁻², pada suhu kempa 190 °C 3016,2-4453 kgfcm⁻² ada peningkatan kekuatan akibat perbedaan

suhu kempa. Maloney (1993) menyatakan bahwa nilai MOE dipengaruhi oleh kandungan dan jenis bahan perekat yang digunakan, daya ikat perekat dan panjang serat serta jenis partikel kayu. Jenis partikel (*filler*) dari batang sawit memerlukan perlakuan khusus sebelum dapat diproses menjadi papan komposit plastik, karena mengandung senyawa-senyawa ekstraktif. Kandungan ekstraktif ini menyebabkan ikatan yang terbentuk antara *filler* dengan matriks RPP tidak terlalu kuat sehingga WPC tidak mampu untuk menahan beban yang diberikan. Risnasari *et al.* (2009) menyatakan perlakuan perebusan dan perendaman dengan alkali dapat menurunkan kandungan ekstraktif batang sawit sehingga meningkatkan sifat MOE papan WPC.

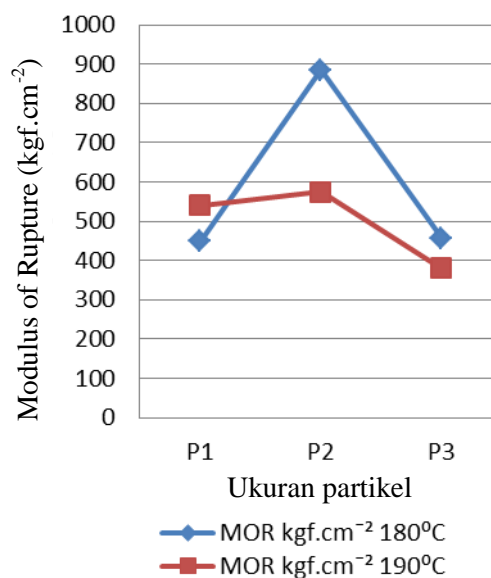
Bila dibandingkan dengan standar JIS A 5908-2003 yang mensyaratkan nilai MOE papan komposit sebesar min 20.000 kgf cm⁻², nilai MOE papan komposit tidak ada yang sesuai dengan standar JIS A 5908-2003.

Keteguhan patah (*modulus of rupture/MOR*)

Modulus patah (MOR) merupakan salah satu sifat mekanis kayu yang menunjukkan kekuatan papan komposit dalam menahan beban. Nilai keteguhan patah papan komposit yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai rata-rata keteguhan patah papan komposit plastik dari partikel batang sawit pada suhu 180 °C aditif 449,23-884,63 kgf cm⁻² dan pada suhu kempa 190 °C 540,35.-1034,38 kgf cm⁻². Disini terlihat suhu kempa yang tinggi meningkatkan sifat keteguhan patah. Bila dibandingkan dengan standar JIS A 5908-2003 yang

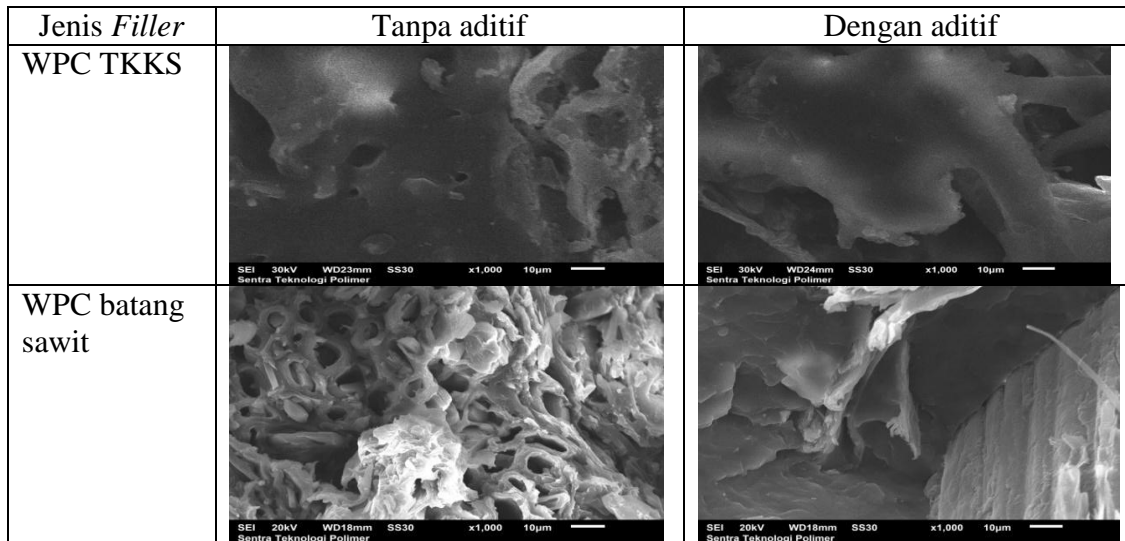
mensyaratkan nilai MOR papan komposit sebesar min 80 kgf cm⁻², maka nilai MOR papan komposit dengan partikel batang sawit yang dihasilkan semuanya telah memenuhi standar.



Gambar 6 Modulus patah (MOR) papan komposit plastik batang pada ukuran partikel P1, P2, dan P3 pada suhu kempa (S1 dan S2).

Observasi *scanning electron microscopy* (SEM)

Hasil Pengujian SEM menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan aditif *Maleated Polypropylene* (MAPP) pada papan komposit maka ikatan antara partikel sawit dengan plastik menjadi lebih kuat dibandingkan dengan papan komposit tanpa penambahan aditif. Hal ini akan sangat berpengaruh terhadap sifat fisis dan mekanis papan komposit yang dihasilkan.



Gambar 7 Hasil uji SEM perbesaran 1000x.

Menurut Febrianto *et al.* (1999) dari SEM memperlihatkan patahan-patahan tarikan pada komposit yang dibuat dari tepung kayu dan plastik tanpa *compatibilizer*, tepung kayu cenderung menggumpal seperti bundelan dan penyebarannya tidak merata keseluruh perekat. Contoh uji yang diambil dalam pengujian SEM ini adalah WPC partikel batang sawit dan TKKS dengan perbandingan plastik: partikel 7:3 dengan penambahan aditif. Hasil uji SEM pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 7.

Kesimpulan

Faktor ukuran partikel, penambahan *modifler* (*Maleic Anhydride*) dan *inisiator* (benzoyl peroksida) pada suhu kempa (180 °C dan 190 °C) berpengaruh terhadap sifat fisis dan mekanis papan komposit (WPC) dari RPP dan partikel batang sawit dan tandan kosong sawit yang dihasilkan. Papan komposit yang memenuhi standar JIS A 5908-2003 yaitu pada pengujian fisis sedangkan pengujian mekanis, hanya MOR papan komposit dari partikel batang sawit yang memenuhi standar.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini dapat terselenggara atas dukungan dana dari STRANAS DIKTI 2012.

Daftar Pustaka

- Wibowo A. 2009. Kondisi persampahan kota di Indonesia (<http://narasibumi.blog.uns.ac.id/2009/04/17/kondisi-persampahan-kota-di-indonesia/>) [17 April 2009].
- Febrianto F. 2005. Wood plastic composites: green composites materials for the future (technical review of raw materials, process, uses and marketing). *JTHH* 18(2):102-114.
- Febrianto F, Bakar ES. 2004. *Kajian Potensi, Sifat-sifat Dasar dan Kemungkinan Pemanfaatan Kayu Karet dan Biomassa Sawit di Kabupaten Musi Banyuasin*. Bogor: Lembaga Manajemen Agroindustri IPB.
- Febrianto F, Yoshioka M, Nagai Y, Mihara M, Shiraishi N. 1999. Composites of wood and trans-1,4-isoprene rubber: mechanical, physical and flow behavior. *J Wood Sci.* 45: 38-45.

- Han 1990. Preparation and physical properties of moldable wood-plastic composites.[Disertasi].Kyoto: Graduate School of Agriculture, Kyoto University.
- Han GS, Ichinose H, Takase S, Shiraishi N. 1989. Composite of wood and polypropilene II. *Mokuzai Gakkaishi* 35 (12):1100-1104.
- Hartono R, Wahyudi I, Febrianto F, Dwianto W. 2011. Pengukuran tingkat pemadatan maksimum batang kelapa sawit. *J. Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* 9(1):73-83
- Hu Y, Tetsuya N, Takahisa N, Jiyong G, Fenghu. 2005. Vibrational properties of wood plastic plywood. *J Wood Sci.* (2005)51:13-17.
- Risnasari I, Hartono R, Febrianto F, Haryanto P. 2009. Karakteristik papan komposit dari limbah batang sawit dengan matriks polipropilen daur ulang. SS.Kusumah, M. Yusram Massijaya, Anita F, Subyakto, Deded S Nawawi, I Nyoman Wistara, Suhasman, Istie S rahayu, Arinana, Lucky R, Editor. *Prosiding SEMNAS MAPEKI XII Bandung* Indonesia, 23-25 Juli 2009. Bogor: Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia. Pp: 250-262.
- Maloney, TM. 1993. *Modern Particleboard and Dry Process Fiberboard Manufacturing*. Miller Freeman Inc. San Fransisco.
- Massijaya MY, Tambunan B, Hadi YS, Bakar ES, Sunarni I. 1999. Studi pembuatan papan partikel dari limbah kayu dan plastik *polystyrene*. *JTHH* (6) (2) :12-22
- Setyawati D. 2003. Komposit serbuk kayu plastik daur ulang: teknologi alternatif pemanfaatan limbah kayu dan plastik. Makalah Falsafah Sains (PPS 702) Program Pasca Sarjana / S3 Institut PertanianBogor. (http://tumoutou.net/702_07134/dina_setyawati.htm.) Medan. [29 April 2008].
- Susila WR. 2004. Peluang investasi bisnis kelapa sawit di Indonesia (http://www.ipard.com/art_perkebunan/0030504wrs.asp. [5 April 2010]
- Toke J, Marcus T, Ciceroni, Muzzy J. 2003. Using LSM to Investigate Maleated Polypropylene in Polypropylene/Glass Bead Composites. Georgia Institute of Technology. <http://polymers.nist.gov/uploads/cicero ne0103.pdf>. Medan [22 Juli 2008].
- Riwayat naskah (*article history*):
Naskah masuk (*received*): 30 Mei 2011
Diterima (*accepted*): 1 September 2011