

Sifat dan Morfologi *Wood Plastic Composite* Berbasis Pelepah Sawit/Polietilen dengan Kompatibiliser *Maleic Anhydride* dan Inisiator Benzoil Peroksida

Wahyu Suci Rahmani¹⁾, Irdoni²⁾, Bahruddin²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia S1, ²⁾Dosen Teknik Kimia
Laboratorium Teknologi Bahan Alam dan Mineral
Program Studi Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Simpang Baru, Panam,
Pekanbaru 28293
Email : wahyusucirahmanii@gmail.com

ABSTRACT

The low compatibility between thermoplastic and wood components is a major problem in the manufacture of wood plastic composite. Compatibilities used such as maleic anhydride is useful to increase the value of the mechanical and physical properties of the WPC. The purpose of this study is to determine the effect of the composition palm frond/polyethylene and maleic anhydride on the properties and morphology of wood plastic composite. The composition of palm frond/polyethylene used is 50/50, 60/40, 70/30 with a mixture of 2% paraffin additive, maleic anhydride (MAH) 3%, 4%, 5%, and benzoyl peroxide 1% of the weight of MAH. The process of mixing fillers, matrices, and additives uses an Internal Mixer Labo Plastomill at temperature of 145°C and rotor speed of 80 rpm. The sample was then pressed using a hot press at a temperature of 145°C and a pressure of 100 kgf/cm². Composites produced were tested including characterization of functional groups, morphological conditions, physical properties and mechanical properties. The results showed that the addition of filler and maleic anhydride composition had a relatively significant effect. The best WPC material is found in the variation palm frond/polyethylene 60/40 and MAH 5% with a density value of 1.19 gr/cm³, water content of 0.16%, water absorption capacity of 0.41%, swelling thickness of 0.11%, tensile strength of 18.664 MPa, elastic modulus of 2175.9 MPa, and flexural strength of 35.05 MPa.

Keywords: benzoyl peroxide, maleic anhydride, palm stem, wood plastic composite

1. Pendahuluan

Pada tahun 2016 produksi kayu bulat di Indonesia sebesar 5.65 juta m³ (Badan Pusat Statistik, 2018). Salah satu upaya untuk mengurangi penggunaan kayu secara langsung adalah mengembangkan pembuatan material komposit kayu-plastik atau lebih dikenal dengan nama *Wood Plastic Composite* (WPC) (Bahruddin dkk., 2011). Keunggulan dari komposit ini antara lain biaya produksi relatif murah, bahan baku melimpah, fleksibel dalam proses pembuatan dan memiliki sifat-sifat yang lebih baik seperti stabilitas dimensi yang baik (Setyawati dkk., 2005).

Perkembangan kelapa sawit di Indonesia berkembang pesat. Menurut Badan Pusat Statistik (2018), luas tanaman perkebunan kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2017 mencapai 14 juta Ha. Sedangkan untuk provinsi Riau, luas tanaman perkebunan kelapa sawit mencapai 2.7 juta Ha. Pelepah sawit merupakan limbah padat perkebunan sawit. Kandungan selulosa yang cukup tinggi pada pelepah sawit berpotensi sebagai *filler* dalam pembuatan WPC. Selain itu, penggunaan pelepah sawit sebagai *filler* dinilai lebih ekonomis dan dapat mengurangi limbah perkebunan sawit.

Bahrudin dkk. (2011) melakukan penelitian dengan memvariasikan ukuran partikel batang sawit. Kompatibiliser yang digunakan adalah MAPP. Hasil yang diperoleh adalah komposit dengan batang sawit berbentuk serat memiliki sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan batang sawit berbentuk serbuk. Wardani dkk. (2013) melakukan penelitian menggunakan pelepah sawit dan RPP dengan penambahan dan tanpa penambahan MAH. Hasil yang diperoleh adalah sifat mekanik komposit dengan penambahan MAH jauh lebih baik dibandingkan tanpa penambahan MAH.

Hasil penelitian lain juga menunjukkan bahwa kadar komponen kayu yang terlalu besar dapat menyebabkan penurunan sifat dari produk WPC (Sombatsompp dkk., 2004). Adhikary dkk. (2008) menyatakan bahwa penambahan komposisi kayu akan menimbulkan banyak tempat tinggal air sehingga komposit yang dihasilkan memiliki sifat daya serap dan pengembangan tebal yang besar. Sifat pengembangan tebal papan partikel merupakan salah satu sifat fisik yang menentukan kelayakan komposit yang digunakan sebagai bahan interior.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh nisbah pelepah sawit/polietilen dan pengaruh variasi kompatibiliser MAH terhadap sifat dan morfologi WPC yang dihasilkan.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Bahan yang digunakan

Bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah pelepah sawit sebagai *filler* yang diperoleh dari perkebunan sekitar Universitas Riau; *Titanvene™ High Density Polyethylene* diperoleh dari PT Titan Petrokimia Nusantara sebagai matriks; *Maleic Anhydride* (MAH) *for synthesis* produksi Merck, Germany sebagai kompatibiliser; Benzoil Peroksida (BPO) *for synthesis* produksi Merck, Germany sebagai

inisiator, aquades dan asam oksalat 0.05 M.

2.2 Persiapan Serat Pelepah Sawit

Pertama, pelepah sawit dibersihkan dari kotoran dan kemudian dipotong. Potongan pelepah digerus sehingga diperoleh partikel-partikel atau serat, serat pelepah sawit dimaserasi dengan pelarut asam oksalat 0.05 M. setelah itu dicuci dengan aquades untuk menghilangkan asam oksalat yang masih tersisa. Serat pelepah sawit dikeringkan dan dipanaskan di dalam oven untuk menghilangkan kadar air. Kemudian serat pelepah sawit dilakukan pengecilan ukuran menggunakan blender dan diayak dengan ayakan ~80 mesh.

2.3 Pembuatan Sampel WPC

Pembuatan sampel WPC menggunakan proses pencampuran leleh (*melt blending*), dimana material PE dan serbuk pelepah sawit ditimbang sesuai dengan nisbah pencampurannya, lalu diaduk secara merata. Kemudian bersama dengan MAH, BPO, dan plastisizer, campuran tersebut dimasukkan ke dalam *internal mixer* yang sebelumnya sudah dipanaskan pada suhu 145°C dengan kecepatan rotor dari *mixer* diatur pada 80 rpm selama 15 menit. Hasil keluaran dari *mixer* tersebut merupakan sampel WPC yang selanjutnya akan digunakan untuk pengujian morfologi dan sifatnya.

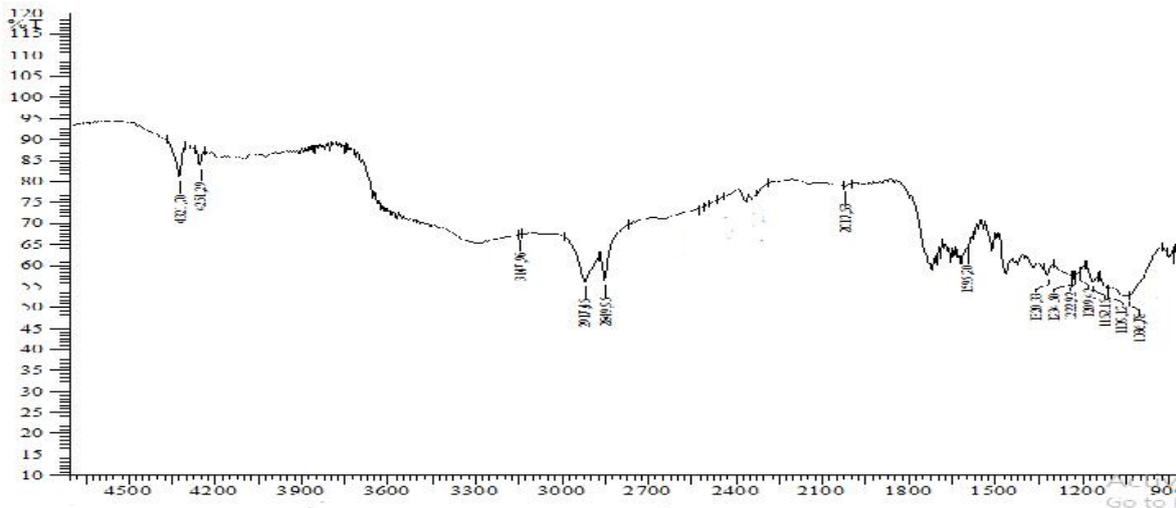
2.4 Pengujian Produk

Pengujian material WPC meliputi pengujian sifat fisik, sifat mekanik, karakterisasi FTIR, dan uji morfologi. Pengujian sifat fisik berupa uji kerapatan, uji kadar air, uji daya serap air, serta uji pengembangan tebal sedangkan pengujian sifat mekanik berupa uji kuat tarik, modulus elastisitas, kuat lentur.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Karakterisasi FTIR

Uji kualitatif menggunakan FT-IR bertujuan untuk melihat struktur ikatan yang terjadi pada material WPC.



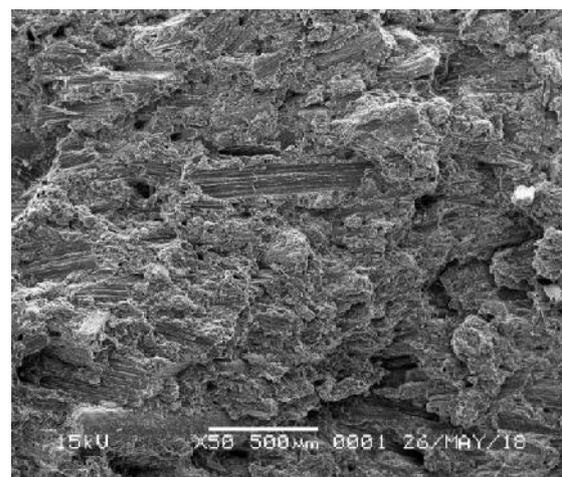
Gambar 1 Karakteristik FTIR Komposit

Gambar 1 menunjukkan bahwa spektrum FT-IR pada analisa PS-PE-MAH-BPO menghasilkan serapan baru yakni pada 1720 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus C=O. Gugus ini berasal dari asam maleat anhidrida (MAH) yang ditambahkan pada campuran sebagai kompatibiliser yakni pada gugus karboksilatnya. Gugus ini berasal dari ikatan yang terbentuk melalui reaksi antara gugus karboksilat dari MAH dengan gugus -OH dari selulosa (Zhang dkk., 2005). Hal ini menunjukkan bahwa MAH yang digunakan dalam komposit bekerja dengan baik sebagai kompatibiliser.

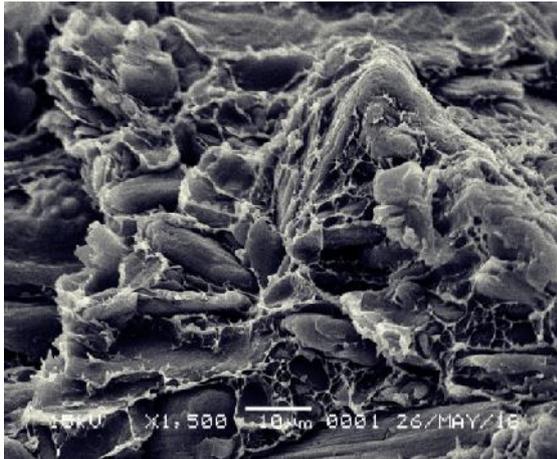
Karakteristik FTIR pada penelitian ini sejalan dengan Abubakar (2013) yang melakukan penelitian dengan penambahan dan tanpa penambahan kompatibiliser MAH pada pembuatan komposit. Pada spektrum hasil analisa FTIR tanpa penambahan MAH, tidak ditemukan gugus fungsi C=O. Hal ini menunjukkan bahwa pada perlakuan tersebut hanya terjadi reaksi ikatan hydrogen antara rantai polimer matriks dan *filler*. Sedangkan pada spectrum hasil analisa FTIR menggunakan MAH terdapat gugus C=O yang berasal dari ikatan antara gugus karboksilat dari MAH dengan gugus -OH dari selulosa. Dengan penambahan BPO sebagai inisiator maka membantu pemutusan ikatan -OH pada rantai selulosa pelepah sawit.

3.2 Morfologi

Pengaruh nisbah pelepah sawit/PE maupun pengaruh dari penggunaan kompatibiliser MAH terhadap morfologi komposit dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3. Pengujian SEM dilakukan pada sampel terbaik yaitu nisbah pelepah sawit/polietilen 60/40 dengan variasi MAH 5%. Pengamatan SEM dilakukan pada permukaan dari patahan sampel komposit. Terlihat bahwa pada mikrogaf SEM tersebut, sebaran partikel pelepah sawit dalam matrik merata. Hal ini menunjukkan adanya interaksi antara matrik polietilen dengan *filler* serat pelepah sawit yang terdispersi di dalamnya.



Gambar 2 Hasil Pengamatan Morfologi WPC Rasio PS/PE (60/40), MAH (5%) dengan 50x Perbesaran



Gambar 3 Hasil Pengamatan Morfologi WPC Rasio PS/PE (60/40), MAH (5%) dengan 1500x Perbesaran

Apabila ditinjau dari Gambar 2 masih terlihat ruang yang kosong diantaranya yang kemungkinan partikel pelepah sawit terlepas setelah dilakukan pematahan sampel. Faktor lain yang dapat memicu ruang kosong adalah proses pencampuran menggunakan *internal mixer* yang kurang merata. Selain itu, keberhasilan modifikasi kimia terhadap kayu (*filler*) pada WPC bergantung pada beberapa faktor diantaranya jenis bahan kimia yang digunakan, pelarut atau katalis, metode yang digunakan, reaksi dan suhu, dan komposisi kimia dan serat (Rowell, 1994).

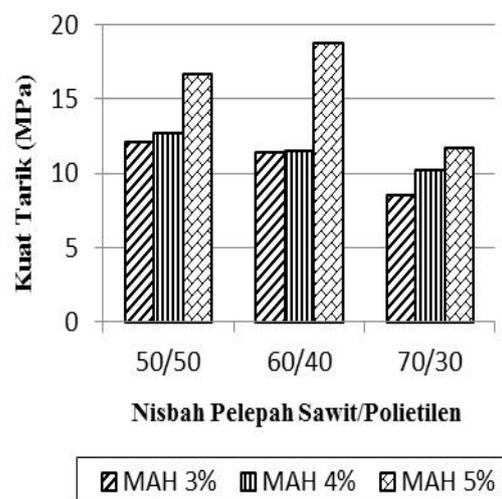
Penambahan komponen MAH sebagai kompatibiliser dalam komposit dapat meningkatkan interaksi pelepah sawit kedalam matrik PE. Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa tampilan permukaan memperlihatkan rongga-rongga yang tersebar secara merata. Sejalan dengan penelitian Febrianto (1999) bahwa penambahan bahan aditif MAH sebagai kompatibiliser mencegah terbentuknya ikatan hidrogen diantara partikel/serat dan menyebabkan sifat permukaan serat dan matrik menjadi lebih homogen.

3.2 Sifat Mekanik

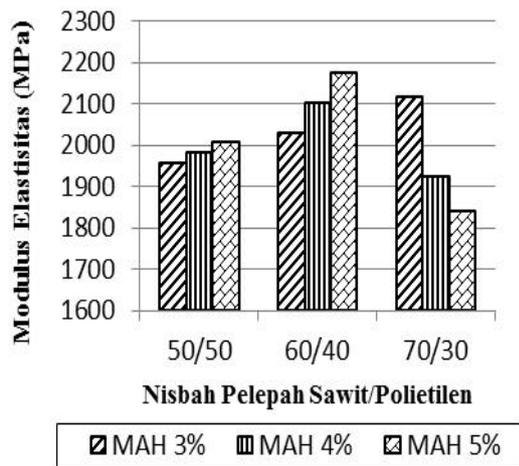
Pengaruh penambahan nisbah pelepah sawit/polietilen terhadap kuat tarik dan modulus elastisitas komposit masing-

masing dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5. Terlihat bahwa semakin banyak komposisi pelepah sawit yang ditambahkan maka kuat tarik yang dihasilkan semakin menurun. Kadar pelepah sawit yang terlalu besar dalam matrik PE menyebabkan interaksi antar molekul PE menjadi lebih lemah sehingga sifat kuat tariknya juga melemah. Penambahan komponen MAH sebagai kompatibiliser dalam komposit mampu meningkatkan interaksi antara *filler* dan matrik (Bahruddin dkk., 2011).

Abubakar (2013) melakukan penelitian dengan penambahan dan tanpa penambahan kompatibiliser pada pembuatan komposit. Hasil yang didapat bahwa nilai kuat tarik meningkat dengan penambahan kompatibiliser MAH yaitu 24 Mpa. Fauzi (2016) menggunakan kompatibiliser MAPP dan menghasilkan nilai kuat tarik yaitu 19.214 MPa sedangkan pada penelitian ini digunakan kompatibiliser MAH dengan bantuan inisiator BPO dan didapatkan kuat tarik yaitu 18.66 MPa. Nilai kuat tarik yang dihasilkan tidak terlalu jauh berbeda. Penggunaan kompatibiliser maleat anhidrida dinilai lebih efisien dikarenakan harga MAPP lebih mahal dibandingkan MAH sehingga penggunaan MAH dinilai lebih ekonomis dibandingkan MAPP.



Gambar 4 Pengaruh Nisbah Pelepah Sawit/Polietilen Terhadap Kuat Tarik WPC



Gambar 5 Pengaruh Nisbah Pelepah Sawit/Polietilen Terhadap Modulus Elastisitas WPC

Suatu bahan yang memiliki kekakuan tinggi bila mendapat beban akan mengalami deformasi elastis. Kekakuan bahan biasanya ditunjukkan oleh modulus elastisitasnya. Gambar 5 memperlihatkan bahwa nilai modulus elastisitas komposit meningkat seiring dengan penambahan komposisi pelepah sawit. Semakin banyak komposisi pelepah sawit yang ditambahkan maka kekakuan komposit semakin meningkat akan tetapi sifat kelenturannya berkurang.

Pengaruh kompatibiliser MAH terhadap sifat kuat tarik dan modulus elastisitas komposit masing-masing dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5. Gambar 5 menunjukkan bahwa variasi kompatibiliser MAH pada nisbah pelepah sawit/PE (50/50) dan (60/40) mampu meningkatkan sifat kekakuan komposit. Akan tetapi, penambahan variasi MAH pada komposisi pelepah sawit/PE (70/30) menurunkan sifat kekakuan komposit. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kompatibiliser MAH tidak bekerja dengan baik pada komposisi pelepah sawit/PE (70/30). Selain itu, pencampuran yang kurang sempurna dalam pembuatan komposit diduga berpengaruh terhadap sifat kekakuannya sehingga komposit yang dihasilkan retak dan mudah rapuh.

Kuat lentur adalah ukuran ketahanan material WPC untuk menahan beban dalam batas proporsi (sebelum patah). Uji kuat lentur dilakukan pada sampel terbaik yaitu komposisi pelepah sawit/PE (60/40) dan MAH (5%) dengan nilai 35.05 MPa. Cavdar dkk. (2014) melakukan penelitian menggunakan serbuk kayu aspen (27%), pelarut xylen, dan MAH (5%) didapatkan kuat lentur yaitu 34.18 MPa. Nilai kuat lentur yang dihasilkan pada penelitian ini tidak jauh berbeda dengan penelitian Cavdar dkk. (2014).

Nilai kuat lentur yang tinggi disebabkan oleh perlakuan awal (pretreatment) bahan baku, yaitu preparasi pelepah sawit. Preparasi dilakukan menggunakan larutan asam oksalat untuk memecah hemiselulosa dan lignin karena dapat menurunkan kualitas WPC yang dihasilkan. Selain itu, hemiselulosa memiliki rantai cabang sehingga dapat mengurangi kompatibilitas dan menyebabkan komposit mudah rapuh. Menurut Li dkk. (2007) ikatan antar muka yang rendah antar *filler* dan matrik dapat dimodifikasi secara kimia untuk meningkatkan kekuatan antar muka. Maloney (2003) menyatakan bahwa nilai kuat lentur dipengaruhi oleh rasio campuran *filler*/matrik, jenis dan daya ikat perekat yang digunakan.

3.4 Kerapatan

Kerapatan didefinisikan sebagai massa atau berat persatuan volume. Bowyer dkk. (2003) yang menyatakan bahwa perbedaan nilai kerapatan sangat dipengaruhi jenis kayu, kadar air dan proses perekatan. Pengaruh nisbah pelepah sawit/PE dapat dilihat pada Gambar 6.

Nilai kerapatan tertinggi terdapat pada nisbah pelepah sawit/PE (60/40), MAH (5%) dengan nilai 1.18 g/cm³. Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin banyak nisbah pelepah sawit maka nilai kerapatan komposit semakin menurun. Hal ini disebabkan karena pendistribusian serat pelepah sawit ke dalam polietilen

tercampur merata, sehingga celah yang dihasilkan sedikit. Kerapatan komposit juga dipengaruhi oleh kerapatan bahan baku aslinya (Wardani dkk., 2013). Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai kerapatan menurun seiring dengan penambahan komposisi pelepah sawit. Hal ini disebabkan karena kerapatan pelepah sawit yang lebih rendah ($\rho = 0.362 - 0.5 \text{ gr/cm}^3$) dibandingkan kerapatan polietilen ($\rho = 0.94 - 0.965 \text{ gr/cm}^3$) sehingga kerapatan komposit yang dihasilkan menurun seiring dengan penambahan komposisi pelepah sawit.

3.5 Kadar Air

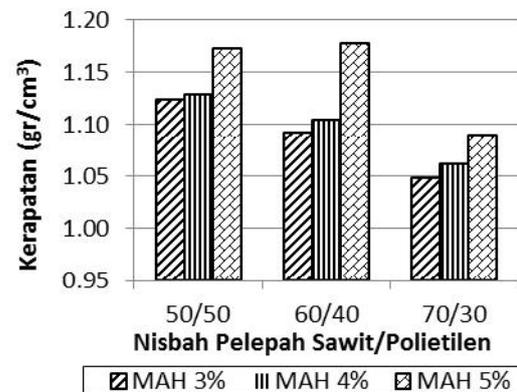
Tujuan dari pengujian kadar air ini adalah untuk melihat sisa air yang terkandung dalam sampel WPC yang dapat mempengaruhi sifat mekanik WPC. Pengaruh nisbah pelepah sawit/polietilen terhadap kadar air material WPC dapat dilihat pada Gambar 7.

Nilai tertinggi kadar air terdapat pada nisbah pelepah sawit/PE (70/30), MAH (3%) dengan nilai yaitu 2.05%. Kadar air yang terlalu tinggi menyebabkan ikatan rekat menjadi lemah. Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai kadar air meningkat seiring dengan penambahan komposisi pelepah sawit. Sifat pelepah sawit yang muda menyerap air merupakan salah satu penyebab terjadinya peningkatan kadar air. Adhikary (2008) menyatakan penambahan komposisi kayu akan menimbulkan banyak tempat tinggal air sehingga lebih banyak air yang terdapat pada komposit.

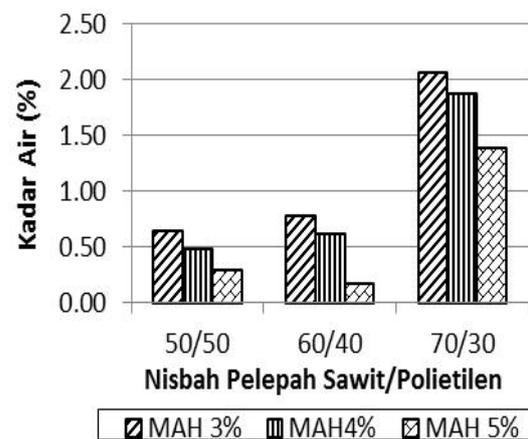
3.6 Daya Serap Air

Daya serap air adalah sifat fisik material WPC yang menunjukkan kemampuan material WPC untuk menyerap air setelah direndam selama 24 jam (Bahruddin dkk., 2011). Untuk setiap material WPC yang dihasilkan daya serap air semakin bertambah dengan meningkatnya waktu perendaman dan komposisi campuran pelepah sawit/PE.

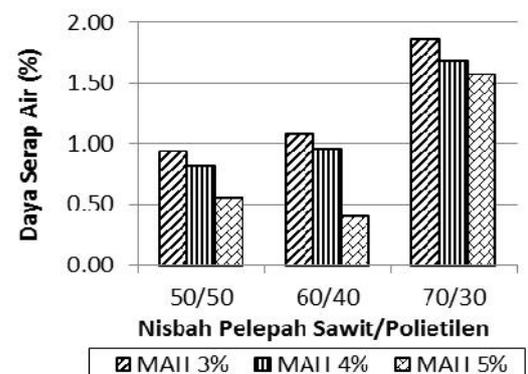
Pengaruh nisbah pelepah sawit/polietilen terhadap daya serap air material WPC dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 6 Pengaruh Nisbah Pelepah Sawit/Polietilen Terhadap Kerapatan WPC



Gambar 7 Pengaruh Nisbah Pelepah Sawit/Polietilen Terhadap Kadar Air WPC



Gambar 8 Pengaruh Nisbah Pelepah Sawit/Polietilen Terhadap Daya Serap Air WPC

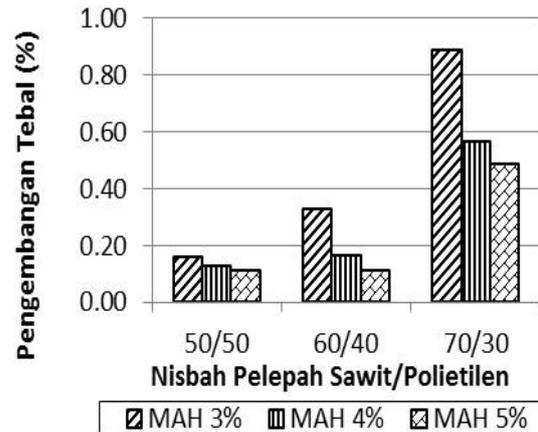
Nilai daya serap air terendah terdapat pada rasio pelepah sawit/PE (60/40) dengan penambahan MAH (5%) dimana nilai yang dihasilkan 0.41%. Gambar 5 menunjukkan bahwa daya serap air pada komposit meningkat seiring dengan penambahan komposisi pelepah sawit. Sifat daya serap air pada komposit ditentukan oleh komponen kayu atau bahan berlignoselulosa yang terdapat pada komposit. Sifat pelepah sawit yang mudah menyerap air merupakan salah satu penyebab terjadinya peningkatan daya serap air.

Penambahan kompatibiliser juga membantu meningkatkan sifat fisik material komposit. Berdasarkan Gambar 8, daya serap air menurun seiring dengan peningkatan komposisi MAH. Wardani dkk. (2013) menyatakan bahwa penggunaan kompatibiliser MAH dan inisiator BPO membantu meningkatkan kemampuan papan komposit plastik terhadap sifat higroskopis pelepah sawit.

3.7 Pengembangan Tebal

Pengujian pengembangan tebal dilakukan untuk mengukur kemampuan material WPC menjaga dimensinya selama direndam dalam air. Pengaruh nisbah pelepah sawit/polietilen terhadap pengembangan tebal material WPC dapat dilihat pada Gambar 9. Nilai pengembangan tebal terendah terdapat pada rasio pelepah sawit/PE (60/40) dengan penambahan MAH (5%) dimana nilai yang dihasilkan 0.11%. variasi nisbah

pelepah sawit/PE memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat pengembangan tebal komposit. Pengembangan tebal meningkat seiring bertambahnya komposisi pelepah sawit.



Gambar 9 Pengaruh Nisbah Pelepah Sawit/Polietilen Terhadap Pengembangan Tebal WPC

Meningkatnya nilai pengembangan tebal pada pengujian ini disebabkan oleh komposisi pelepah sawit yang lebih dominan dibandingkan matrik. Menurut Iswanto (2005), Sifat pengembangan tebal papan partikel merupakan salah satu sifat fisik yang akan menentukan kelayakan komposit sebagai bahan interior. Apabila pengembangan tebal suatu papan komposit tinggi berarti stabilitas dimensi tersebut rendah, sehingga produk tersebut tidak dapat digunakan untuk keperluan eksterior dan sifat mekanisnya akan menurun dalam jangka waktu yang tidak lama.

Tabel 1 Hasil Uji Sifat Fisik dan Sifat Mekanik

		Parameter Standar	Penelitian ini
Sifat Fisik	Kerapatan (g/cm^3)	0.6	1.19
	Uji Kadar Air (%)	≤ 12	0.16
	Daya Serap Air (%)	≤ 2	0.41
	Pengembangan Tebal (%)	≤ 4	0.11
Sifat Mekanik	Kuat Tarik (Mpa)	≥ 15	18.66
	Modulus Elastisitas (Mpa)	≥ 1960	2175.9
	Kuat Lentur (Mpa)	≥ 30	35.05

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat mekanik, sifat fisik, karakterisasi FTIR, dan morfologi sampel WPC berbasis campuran pelepah sawit dan termoplastik PE dipengaruhi oleh nisbah pelepah sawit/PE dan kadar MAH. Hasil terbaik diperoleh untuk nisbah pelepah sawit/PE 60/40 dan kadar MAH 5%, yaitu dengan kuat tarik 18.66 MPa, modulus elastisitas 2175.9 MPa, kuat lentur 35.05 MPa, kerapatan 1.19 gr/cm³, kadar air 0.16%, daya serap air 0.41%, dan pengembangan tebal 0.11%.

Daftar Pustaka

- Adhikary, K.B., S. Pang, dan M.P. Staiger. 2008. Dimensional Stability and Mechanical Behaviour of Wood-Plastic Composites based on Recycled and Virgin High-Density Polyethylene (HDPE). *Composites : Part B* 39: 807-815.
- Fauzi, I. 2016. Pengaruh Komposisi Pelepah Sawit terhadap Sifat dan Morfologi WPC. *JOM FTEKNIK* 3(2).
- Badan Pusat Statistik. 2018. Luas Tanaman Perkebunan Menurut Propinsi dan Jenis Tanaman, Indonesia. <https://www.bps.go.id/dyn/amictable/2015/09/04/838/luas-tanaman-perkebunan-menurut-propinsi-dan-jenis-tanaman-indonesia-000-ha-2011-2017-.html> Diakses 11 Desember 2018.
- Badan Pusat Statistik. 2018. Produksi Kayu Bulat oleh Perusahaan Hak Pengusahaan Hutan Menurut Jenis Kayu. <https://www.bps.go.id/dynamic/table/2016/01/08/1115/produksi-kayu-bulat-oleh-perusahaan-hak-pengusahaan-hutan-menurut-jenis-kayu-2004-2016.html>. Diakses 11 Desember 2018.
- Bahrudin, Irdoni, I. Zahrina, dan Zulfansyah. 2011. Studi Pembuatan Material Wood Plastic Composite Berbasis Limbah Pelepah sawit. *Jurnal Teknobiologi* Vol. 2, No.1:77-84.
- Bowyer, J.L., R. Shmulsky, dan J.G. Haygreen. 2003. *Forest Products and Wood Science an Introduction*. Ed. Ke-4. Ames, Iowa: Iowa State Press.
- Febrianto, F. 1999. Preparation and Properties Enhancement of Moldable Wood – Biodegradable Polymer Composites. Doctoral Dissertation Graduate School of Agriculture, Kyoto University. Tidak Dipublikasikan.
- Iswanto, A. H. 2005. Upaya Pemanfaatan Serbuk Gergaji Kayu Sengon dan Limbah Pelepah Plastik Polipropylene Sebagai Langkah Alternatif untuk Mengatasi Kekurangan Kayu Sebagai Bahan Bangunan. *Journal Komunikasi Penelitian* 17 (3): 24-27.
- Maloney, T.M. 1993. *Modern particle board and dry process fiberboard manufacturing*. Miller Freeman Publication. USA.
- Rowell, R.M. 1994. Chemical of Solid Wood. Subtitled by Suhaimi Muhammed and Halimathon Hj. Manshor. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.
- Setyawati, D., dan Y.M. Massijaya. 2005. Pengembangan papan komposit berkualitas tinggi dari sabut kelapa dan polipropilena daur ulang (I): Suhu dan waktu kempa panas. *Jurnal Teknologi Hasil Hutan* 18 (2): 91-101.
- Wardani, L., M.Y. Massijaya, dan M.F. Machdie. 2013. Pemanfaatan Limbah Pelepah Sawit dan Plastik Daur Ulang (RPP) sebagai Papan Komposit Plastik. *Jurnal Hutan Tropis* 1(1):46-53.
- Zhang, F., T. Endo, dan T. Hirotsu. 2005. Effect of Maleated Polypropylene on the Performance of Polypropylene/Celulose Composites. *Polymer Composites* 448-453.