

Sifat dan Morfologi *Wood Plastic Composite* Berbasis Pelepah Sawit dan *Polyethylene* dengan Kompatibilizer *Maleic Anhydride* dan Inisiator *Dicumyl Peroxide*

Nurul Afrilla¹⁾, Irdoni. HS²⁾, Bahruddin²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, ²⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia,
Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, 28293
E-mail: nurulafrilla2004@gmail.com

ABSTRACT

The availability of wood in Indonesia is increasingly limited due to forest degradation and increased demand for wood. One of the efforts to reduce the use of wood directly is to develop the manufacture of Wood Plastic Composite (WPC). WPC consists of matrix, filler, and additives such as compatibilizer and initiator which is useful to increase the value of the mechanical properties and physical properties of the WPC. This study aims to determine the effect of maleic anhydride (MAH) compatibilizer with Dicumyl peroxide (DCP) initiator on the properties and morphology of WPC produced, and determine the effect of palm frond (SPS) / HDPE powder ratios on the properties and morphology of WPC. SPS composition is 80mesh and polyethylene is 50:50, 60:40, 70:30 with 3%, 4%, 5% MAH additive mixture, 1% DCP and 2% paraffin. The palm fronds were prepared using oxalic acid at 120°C with 15 minutes soaking. The process of mixing filler, matrix, and additives using Labo Plastomill internal mixer at 150°C and 80 rpm rotor speed. Composites produced were tested including physical properties, mechanical properties and morphological tests. The results showed that the mixing ratio of SPS / HDPE and the addition of compatibilizer affected the value of physical properties and mechanical properties of the WPC. The best WPC material was obtained in the mixing ratio of SPS/PE (50/50) with the addition of 5% MAH with 26.631 MPa tensile strength, 2106.4 MPa MOE, 51.23 MPa flexural strength, 1.16 gr / cm³ density, 0.92% water absorption, and 0.17% absorption thickness.

Keywords: *maleic anhydride, palm frond, polyethylene, wood plastic composite*

1. PENDAHULUAN

Wilayah hutan di Indonesia yang luas memberikan manfaat bagi dunia konstruksi Indonesia. Salah satu hasil hutan yang bisa digunakan sebagai bahan konstruksi adalah kayu. Seiring dengan berjalannya waktu, ketersediaan kayu semakin terbatas akibat dari degradasi hutan dan kenaikan kebutuhan kayu itu sendiri. Degradasi hutan menyebabkan alih fungsi lahan secara besar-besaran yang dinikmati oleh kalangan tertentu tanpa memperhatikan dampak yang ditimbulkan. 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]. WPC merupakan material komposit yang mengandung termoplastik dan kayu dalam berbagai bentuk. Keunggulan WPC antara lain biaya produksi relatif murah, bahan bakunya melimpah, fleksibel dalam proses pembuatannya, kerapatannya rendah, mudah terurai (dibanding plastik), memiliki sifat-sifat yang lebih baik dibandingkan bahan baku asalnya, dapat diaplikasikan untuk berbagai keperluan seperti perabotan, rangka pintu, rangka jendela, pelindung kabel dan pada semua tempat dimana bahan kayu-plastik biasa digunakan, serta produknya dapat didaur ulang (recycleable).

Namun sifat WPC juga dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pemilihan bahan baku, formulasi, teknik pembuatan,

dan parameter proses. WPC dapat mengurangi penggunaan kayu secara langsung dengan cara mencampurkan *fiber/filler* (serat kenaf, sisal, jerami, pelepah sawit dll) dengan termoplastik seperti *polyethylene* (PE), *polypropylene* (PP), dan *poly vinyl chloride* (PVC) [Najafi dkk, 2007]. Penelitian yang dilakukan oleh Nurhajati dkk (2011) dengan berbagai coupling agent yaitu maleic anhydride (MAH), asam stearat, dan asam akrilat dengan inisiator dikumul peroksida (DCP). Hasil yang diperoleh bahwa penggunaan MAH sebagai kompatibilizer lebih baik dibandingkan asam stearat dan asam akrilat. Akan tetapi nilai kuat tarik pada komposit maleat anhidrat masih sangat rendah yaitu 92,27 kg/cm².

Pelepah sawit adalah salah satu serat alam berlignoselulosa yang berasal dari sumber daya alam terbarui. Serat pelepah sawit dimanfaatkan sebagai komponen penguat di dalam material komposit, serat alam ini mempunyai keunggulan antara lain sifatnya yang dapat diperbarui, dapat didaur ulang serta dapat terbiodegradasi di lingkungan. Pelepah yang merupakan hasil samping pemanenan dibiarkan menjadi limbah padat padahal pelepah sawit memiliki kandungan selulosa 33%, hemiselulosa 35,9% dan lignin 17,4% yang cukup tinggi dan berpotensi sebagai kayu *filler* dalam pembuatan *wood plastic composites* (Darmayanti, 2016) Selain itu, penggunaan pelepah sawit sebagai kayu *filler* dinilai lebih ekonomis dan dapat mengurangi limbah perkebunan sawit.

Selain itu potensi pelepah sawit dapat dijadikannya bahan baku pembuatan WPC karna banyaknya pelepah sawit yang belum dimanfaatkan secara optimal. Seperti yang dinyatakan oleh Aini Aini, (2008) dalam Halawa (2016) tanaman kelapa sawit mempunyai umur produktif yaitu 25 - 30 tahun. Hal ini berarti bahwa setelah umur tersebut produksi buah kelapa sawit yang merupakan hasil utama kelapa sawit menurun, dan pohonnya sudah terlalu tinggi sehingga menyulitkan dalam pemanenan buah kelapa sawit. Setiap

pemanenan buah kelapa sawit harus dilakukan pemotongan pelepah sebanyak 2-3 buah per tandan kelapa sawit. Pemotongan ini dilakukan untuk mempermudah pengambilan buah kelapa sawit. Ditjen Pertanian (2015) dalam Halawa (2016) satu hektar terdapat 130 pohon sawit, diperkirakan dalam satu pohon sawit bisa menghasilkan 22 pelepah sawit. Berarti satu hektar akan dihasilkan sekitar 2860 pelepah sawit per hektarnya. Oleh karena itu, pelepah sawit merupakan salah satu pilihan yang cocok untuk penelitian ini, karena pelepah sawit memiliki kandungan selulosa lebih dari 30%. Hal ini, memenuhi standar karakteristik dari bahan dasar pembuatan WPC (Meyer, 2011).

Menurut Henkle (1982) dalam Delviawan (2015), polietilena (PE) merupakan bahan yang bersifat termoplastik yang diproses melalui proses polimerisasi gas etilen. Polietilena bervariasi dalam setiap tipe, dan setiap tipe berbeda berdasarkan struktur molekul penyusunnya. Perubahan molekul tergantung dari temperatur, tipe katalis, tekanan, aditif, dan reaksi yang digunakan dalam proses produksinya. Polietilena bervariasi dalam bentuk, ditemukan dalam berbagai produk seperti pelapis pembungkus pada susu dan makanan, perekat, pipa air dan gas, kantong, botol air dan susu, pelapis pada kabel komunikasi dan listrik serta masih banyak kegunaan lainnya (Benham 1985) dalam Delviawan (2015).

Dalam penelitian ini pelepah sawit diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku *filler* WPC dari serat alami karena mengingat banyaknya limbah pelepah sawit yang belum dimanfaatkan. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat mengembangkan inovasi baru dalam teknologi material *Wood Plastic Composite*. Pemanfaatan serbuk pelepah sawit sebagai *filler* komposit nantinya dapat dijadikan sebagai bahan alternatif untuk industri-industri yang ada di Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan

Bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah serat pelepah sawit (SPS) sebagai *filler* yang diperoleh dari perkebunan sekitar Universitas Riau, *High Density Polyethylene* (HDPE) sebagai matrik diperoleh dari PT Titan Petrokimia Nusantara, parafin sebagai *plasticizer*, *Maleic Anhydride* (MAH) for synthesis produksi Merck Germany sebagai kompatibilizer, dan dikumul peroksida diperoleh dari CV Kirana Tiga Bintang sebagai inisiator, aquades dan asam oksalat 0.05 M.

2.2 Preparasi Pelepah Sawit

Pertama, kulit pelepah sawit dikupas kemudian digerus menggunakan *sawmill* sehingga menghasilkan serat dan ditampung ke dalam wadah atau ember. Hasil gerusan direndam dengan pelarut asam oksalat 0.05 M didalam bejana bertekanan (*autoclave*) pada suhu 120°C selama 15 menit.

Hasil perendaman disaring dan ditimbang kemudian dikeringkan di udara selama ± 24 jam. Setelah pengeringan, serbuk pelepah sawit ditimbang dan dikeringkan ke dalam oven pada suhu 105°C sampai kadar air serat pelepah sawit mencapai maksimal 10%. Kemudian serat pelepah sawit diblender menjadi serbuk. Serbuk pelepah sawit yang diperoleh selanjutnya diayak dengan gabungan ayakan 80 mesh.

2.3 Pembuatan Sampel *Wood Plastic Composites*

Pembuatan material *Wood Plastic Composite* (WPC) terbagi atas dua tahap yaitu tahap pengadonan dan pembuatan lembaran/slab. Tahap pengadonan dimulai dengan menimbang serbuk pelepah sawit (SPS) 80 mesh dan HDPE berdasarkan rasio pencampurannya yaitu 50/50, 60/40, 70/30. Kemudian bersama dengan MAH, DCP dan plastisizer, campuran tersebut dimasukkan ke dalam *internal mixer* yang sebelumnya sudah dipanaskan pada suhu

150°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.

Tahap pembuatan lembaran (*slab*) bertujuan untuk membentuk sampel WPC menjadi lembaran menggunakan alat hot press, dengan ketebalan lembaran dibuat sesuai standar pengujian yang akan dilakukan yaitu 12 cm x 12 cm x 0,2 cm. Suhu *hot press* diatur pada 150°C dengan tekanan 100 kgf/cm² selama ± 10 menit. Lembaran yang dihasilkan, dibiarkan pada suhu kamar selama 24 jam untuk mencapai distribusi kadar air yang seragam dan melepaskan tegangan sisa dalam lembaran akibat pengempaan. Kemudian sampel disimpan ke dalam plastik sebelum dilakukan pengujian. Tahap berikutnya adalah pembuatan pola pemotongan/spesimen lembaran untuk membentuk spesimen pengujian menggunakan alat dumbel.

2.4 Pengujian Produk *Wood Plastic Composites*

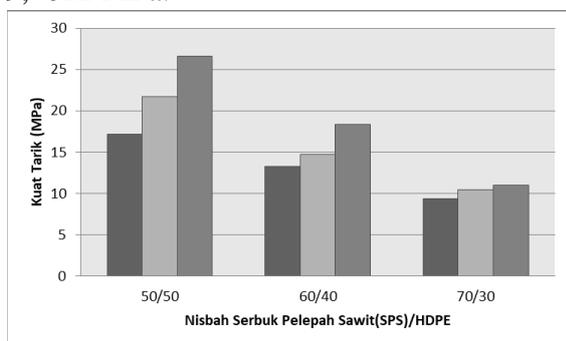
Pengujian material WPC meliputi pengujian sifat fisik, sifat mekanik, dan sifat morfologi. Pengujian sifat fisik pada penelitian ini meliputi standar pengujian material WPC, yaitu: uji kerapatan (SNI 8154:2015), uji daya serap air (SNI 8154:2015), dan uji pengembangan tebal (SNI 8154:2015). Pengujian sifat mekanik yang akan ditentukan pada penelitian ini adalah *bending strength* (ASTM D790) dan *tensile strength* (ASTM D638) modulus elastisitas (ASTM D638). Sedangkan untuk melihat pencampuran *interface* bahan *filler* kedalam matrik dilakukan pengujian morfologi menggunakan SEM.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Kuat Tarik dilakukan untuk melihat kemampuan WPC mempertahankan dimensinya ketika ditarik hingga mencapai batasnya menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Pada Gambar 1 dapat

dilihat bahwa terjadi peningkatan nilai kuat tarik WPC sebanding dengan peningkatan kadar MAH pada setiap variasi rasio serbuk pelepaha sawit (SPS)/HDPE, dan mendapatkan hasil pengujian kuat tarik yang bervariasi berkisar antara 9,4012 MPa - 26,631 MPa. Nilai kuat tarik tertinggi terdapat pada sampel WPC yang rasio SPS/PE 50/50 dengan penambahan MAH sebesar 5% dimana nilai yang dihasilkan 26,631 MPa, untuk nilai kuat tarik terendah terdapat pada sampel WPC yang rasio SPS/HDPE 70/30 dengan penambahan MAH 3% dimana nilai yang dihasilkan 9,4012 MPa.



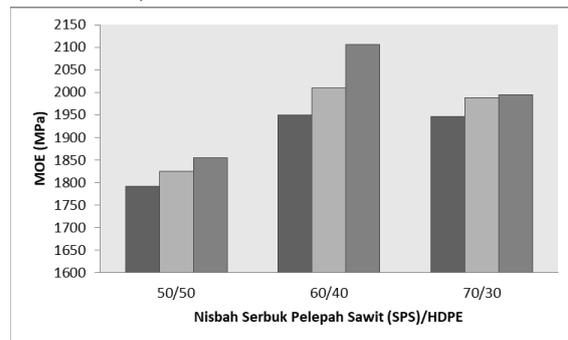
Gambar 1. Nilai Kuat Tarik Material WPC

Nilai kuat tarik WPC menurun dengan berkurangnya jumlah matrik. Komposisi matrik yang rendah menyebabkan rendahnya kekompakan dan interaksi antarmuka campuran. Hal ini berakibat berkurangnya kemampuan bahan untuk menahan beban. Hasil analisa menunjukkan bahwa rasio campuran SPS/HDPE dan MAH yang berbeda pada pembuatan material WPC sangat mempengaruhi nilai kuat tarik komposit. Hasil pengamatan kuat tarik pada penelitian ini sesuai dengan pernyataan Sombatsompop, dkk, (2005) yang mengatakan bahwa, komposisi *filler* ke dalam matrik yang terlalu besar dapat menyebabkan penurunan sifat mekanik dari komposit.

3.2 Modulus Of Elasticity (MOE)

Modulus lentur atau *Modulus of elasticity* (MOE) merupakan suatu besaran yang menunjukkan sifat elastisitas suatu bahan atau material. Nilai MOE biasanya digunakan untuk melihat kekuan suatu bahan atau material. Hasil penelitian

menunjukkan nilai rata-rata MOE berkisar antara 1792,4 MPa – 2106,4 MPa. Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai MOE tertinggi yaitu pada produk WPC berbasis campuran SPS/HDPE (60/40) dan MAH (5%) dengan nilai 2106,4 MPa. Dan nilai MOE terendah yaitu pada produk WPC berbasis campuran SPS/HDPE (50/50) dan MAH (3%) dengan nilai 1792,4 MPa.



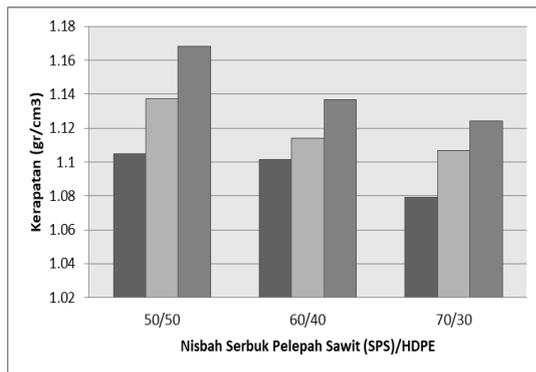
Gambar 2. Nilai MOE Material WPC

Nilai MOE yang rendah ini dikarenakan partikel yang digunakan sebagai bahan baku belum seragam ukurannya. Marutzky (2004) menyatakan bahwa partikel ideal untuk mengembangkan kekuatan dan stabilitas dimensi adalah partikel serpih tipis dengan ketebalan seragam dengan perbandingan tebal, panjang dan tinggi.

3.3 Kerapatan

Kerapatan merupakan salah satu sifat fisik yang menunjukkan perbandingan antara massa benda terhadap volumenya (banyaknya massa zat per satuan volume). Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai kerapatan tertinggi yaitu pada produk WPC berbasis campuran SPS/HDPE (50/50) dan MAH (5%) dengan nilai 1,16%. Hasil ini karena pendistribusian serat pelepaha sawit ke dalam polietilen tercampur merata, sehingga celah atau rongga pada permukaan komposit menjadi kecil. Selain itu, penggunaan kompatibilizer MAH mampu meningkatkan kompatibilitas antara matrik dan filler sehingga membentuk sifat fisik dan mekanik yang lebih baik. Sedangkan nilai kerapatan terendah dihasilkan oleh material WPC berbasis campuran SPS/HDPE (70/30) dan MAH (3%) dengan nilai 1,07%. Hasil ini karena

pendistribusian serbuk pelepah sawit ke dalam HDPE tidak merata, dan jumlah serbuk pelepah sawit lebih besar dari jumlah HDPE sehingga banyak serbuk pelepah sawit yang tidak terikat kuat, dan juga terjadi aglomerasi (penggumpalan) serat pelepah sawit. Menurut Kloyosov (2007) kerapatan yang rendah juga terjadi karena adanya pori-pori matrik yang belum terisi oleh filler.



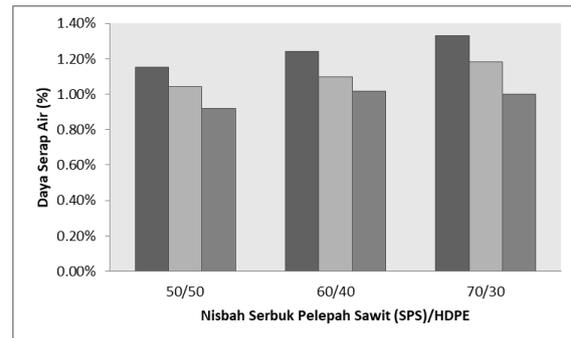
Gambar 3. Nilai Kerapatan Material WPC

Nilai kerapatan juga dipengaruhi oleh rasio campuran SPS/HDPE pada WPC, dapat dilihat pada rasio SPS/HDPE (50/50) nilai kerapatannya lebih tinggi dibanding rasio campuran SPS/HDPE (60/40, 70/30). Secara umum, dengan meningkatnya komposisi *filler* maka akan semakin menurun nilai kerapatannya. Karena dengan lebih besarnya jumlah *filler* dari matrik akan mengakibatkan permukaan papan tidak seluruhnya tertutupi oleh matrik (perekat HDPE) dan SPS sebagai pengisi tidak seluruhnya terikat dengan matrik, sehingga menyebabkan kerapatan partikel pada setiap rasio pencampuran papan berbeda-beda. Menurut Aini, dkk (2015) terjadinya peningkatan kerapatan disebabkan oleh adanya lapisan perekat yang menghambat masuknya air ke dalam pori-pori serta terjadinya pemadatan akibat pengempaan sewaktu pembuatan komposit.

3.4 Daya Serap Air

Daya serap air merupakan sifat fisik papan komposit yang menunjukkan sifat kemampuan papan untuk menyerap air selama perendaman di dalam air. Pengujian daya serap air dilakukan secara bertahap pada tingkatan waktu tertentu. Air tersebut

akan mengisi ruang-ruang kosong dalam papan komposit (Fathanah, 2011).



Gambar 4. Nilai Daya Serap Air Material WPC

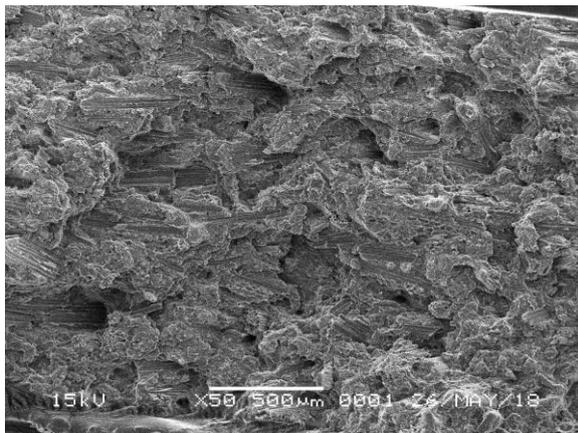
Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai daya serap air material WPC berbasis SPS/PE pada perendaman 24 jam pada suhu kamar. Nilai daya serap air WPC tertinggi diperoleh pada rasio komposisi campuran SPS/HDPE (70/30) baik dengan penambahan MAH 3%, 4%, maupun 5% masing-masing 1,33%, 1,18%, dan 1,00%. Sedangkan Untuk nilai daya serap air WPC terendah diperoleh pada rasio komposisi campuran SPS/HDPE (50/50) baik dengan penambahan MAH 3%, 4%, maupun 5% masing-masing 1,15%, 1,04%, dan 0,92%.

Secara umum dapat terlihat bahwa nilai daya serap air WPC pada penelitian ini meningkat seiring bertambahnya jumlah filler (SPS) dan berkurangnya jumlah matrik atau perekat (HDPE) yang digunakan. Semakin tinggi kerapatan papan komposit, maka ikatan antar partikel akan semakin kompak sehingga rongga udara dalam lembaran papan semakin kecil, dan keadaan tersebut akan menyebabkan air atau uap air menjadi sulit untuk mengisi rongga tersebut sehingga semakin kecil daya serap air papan komposit dan stabilitas papan tersebut semakin baik, demikian pula sebaliknya.

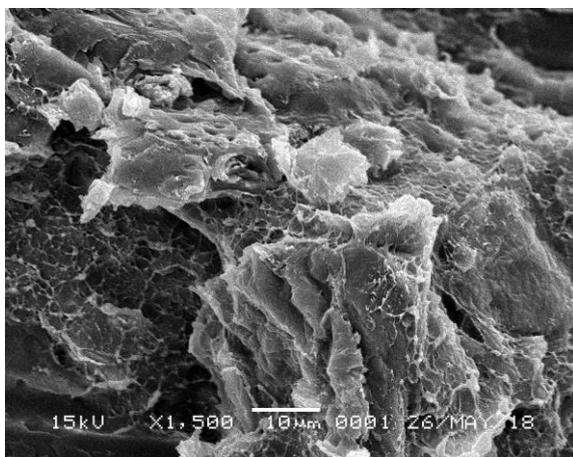
3.5 Sifat Morfologi

Uji morfologi dilakukan untuk melihat distribusi dan interaksi partikel serbuk pelepah sawit dengan HDPE, dengan pengamatan melalui Scanning Electron Microscope (SEM) dilakukan untuk melihat perubahan permukaan komposit dan melihat distribusi dan interaksi partikel

dan ruang kosong antara *filler* dan matrik. Sebaran *filler* kedalam matrik ditinjau dengan perbesaran 50 kali sedangkan untuk melihat interaksi antara keduanya digunakan perbesaran 1500 kali. Pengujian morfologi dilakukan pada kuat tarik tertinggi. Kuat tarik tertinggi terdapat pada pada rasio campuran SPS/HDPE (50/50) dan penambahan MAH 5%. Pada gambar 4.7 (a) dan (b) dapat dilihat penyebaran yang dilakukan dalam 50 kali perbesaran, dan 1500 kali perbesaran.



(a)



(b)

Gambar 5. Bentuk morfologi (a) perbesaran 50 kali (b) perbesaran 1500 kali

Pada Gambar 5 (a) dapat dilihat bahwa tampilan permukaan memperlihatkan rongga-rongga yang tersebar secara merata. Hal ini menunjukkan adanya interaksi antara filler serbuk pelepah sawit dengan matrik polietilen yang terdispersi didalamnya. Ruang kosong/rongga yang berwarna hitam pada gambar adalah partikel filler serbuk pelepah sawit yang

terdistribusi ke dalam matriks, sedangkan warna abu-abu menunjukkan matriks polietilen. Hal ini sesuai dengan pernyataan Bahruddin (2015) yang menyatakan bahwa ruang kosong yang berwarna hitam merupakan partikel filler yang terdistribusi ke dalam matriks, dan warna abu-abu menunjukkan matriks. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa trend kerapatan papan komposit cenderung meningkat seiring dengan penambahan jumlah perekat. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh perekat HDPE dan kompatibilizer MAH yang secara fisis mengalami interaksi dengan SPS melalui rongga-rongga yang diisinya (Gambar a).

Pada Gambar 5 (b) terlihat ruang yang kosong diantaranya yang kemungkinan partikel serbuk pelepah sawit terlepas setelah dilakukan pematangan sampel. Faktor lain yang juga dapat memicu ruang kosong adalah pada proses pencampuran menggunakan *internal mixer* yang tidak tercampur secara merata karena belum mencapai kondisi operasi yang sesuai. Pada proses pengempaan yang berlebihan juga dapat membuat ruang kosong atau partikel WPC berongga. Karena pada saat dilakukan proses pengempaan matrik cenderung untuk terdekomposisi, sehingga menyebabkan ikatan dengan serbuk pelepah sawit menurun dan menimbulkan celah atau rongga pada permukaan komposit.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil penelitian adalah penambahan kompatibilizer dan inisiator memberikan pengaruh dapat meningkatkan sifat material WPC yang dihasilkan. Komposisi nisbah antara *filler* (pelepah sawit) dan matrik (polietilen) meberikan pengaruh terhadap sifat material WPC yang dihasilkan. Material dengan sifat mekanik dan sifata fisik terbaik diperoleh pada rasio SPS/HDPE (50/50) dengan penambahan MAH 5% yaitu memiliki kuat tarik 26,631 MPa, MOE 2106,4 MPa, kerapatan 1,16 gr/cm³, daya serap air 0,92%.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, N. T. F., HS, Irdoni., dan Bahrudin. 2015. Pengaruh Nisbah Polypropylene / Serat Pelelah Sawit Dan Kadar Maleated Polypropylene (MAPP) Terhadap Sifat Dan Morfologi Wood Plastic Composite (WPC). *JOM FTEKNIK* volume 2.
- Bahrudin, Helwani, Z., Saktiani, L., Indrawati Y., dan Fakhri. 2015. Studi Pemanfaatan Limbah Pelelah Sawit untuk Pembuatan Material Wood Plastik Composite. Sustainable Energy and Mineral Processing for National Competitiveness, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 2015, Yogyakarta*.
- Bahrudin, Irdoni, I. Zahrina, dan Zulfansyah. 2011. Studi Pembuatan Material Wood Plastic Composite Berbasih Limbah Pelelah sawit. *Jurnal Teknobiologi* Vol. 2, No.1:77–84.
- Darmayanti, Sri. 2016. Penyerapan Logam Tembaga dalam Air Limbah dengan Menggunakan Karbon Aktif dari Pelelah Kelapa Sawit. Skripsi. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Delvian, Arif. 2015. Sifat-sifat dasar papan komposit plastik dari limbah serbuk gergajian kayu jati dan plastik polietilen berkerapatan tinggi. Skripsi. Institut Pertanian, Bogor.
- Fathanah, Umi. 2011. Kualitas Papan Komposit dari Sekam Padi dan Plastik HDPE Daur Ulang Menggunakan Maleic Anhydride (MAH) sebagai Compatibilizer. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan* Vol. 8, No. 2, 2011.
- Halawa, Y., Bahrudin., dan Irdoni. 2016. Pengaruh Kadar Selulosa Pelelah Sawit Terhadap Sifat Dan Morfologi *Wood Plastic Composite (WPC)*. *Seminar Nasional Teknik Kimia*. 1-2 Oktober 2016.
- Marutzky, R. 2004. *Wood plastic composite*. Wilhelm Klauwitz Forum Ausgabe, 5 Jun 2004.
- Meyer, M. 2011. *Wood-Plastic Composite (WPC) a Fascinating Building Material Investigated by Advanced Thermal Analysis Techniques*. IPST 2011.
- Najafi, S. K., M. Tajvidi, dan E. Hamidina. 2007. *Effect of Temperature, Plastic Type and Virginity on The Water Uptake of Sawdust/Plastic Composite*. *Holz Roh Werkst* No. 65:377-382.
- Schrip, A. & M. P. Wolcott. 2006. *Fungal Degradation of Wood-Plastic Composite and Evaluation Using Dynamic Mechanical Analysis*. *Journal of Applied Polymer Science* Vol 99: 3138-3146.
- 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.
- Sombatsompop N, Yotinwattanakumtorn C, and Thongpin C. 2005. Influence of Type and Concentration of Maleic Anhydride Grafted Polypropylene and Impact Modifiers on Mechanical Properties of PP/Wood Sawdust Composites. *Journal of Applied Polymer Science* (2005) 97: 475-484.