

# Pengaruh Komposisi Pelepeh Sawit Terhadap Sifat dan Morfologi *Wood Plastic Composite*

Iwan Fauzi <sup>1)</sup>, Bahruddin <sup>2)</sup> dan Irdoni HS <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, <sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Kimia  
Fakultas Teknik Universitas Riau  
Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru Kode Pos 28293  
take\_izzi@yahoo.com

## ABSTRACT

*The availability of palm frond has a potential to use for decrease utilization of woods directly. One application is the wood plastic composite (WPC). Research on the WPC is still growing which aims to continue to get better quality of product. The objective of this research was to determine the effect of palm frond composition to properties and the morphology of wood plastic composite (WPC). The Composition of palm frond measured at - 40 ~ +80 as the filler and the polypropylene as the matrix is 30:70 which mix with additive 2% and Maleic Anhydride Polypropylene (MAPP) 5%. Palm frond prepared using oxalic acid, potassium hydroxide, sodium hydroxide and hydrogen peroxide at a temperature of 120°C with 15 minutes immersion time. Filler mixing process, matrix, and the additive use Labo Plastomill internal mixer at a temperature of 170°C and the rotor speed at 80 rpm. Tests include cellulose test while the mechanical properties testing are tensile strength and flexural strength, and physical properties include density, water absorption and thickness swelling. Morphology test used the electron microscopy scanning with a magnification of 100 and 500 times. The results showed that the type of preparation has a relatively significant influence. Best WPC material is used oxalic acid mixture at a temperature of 120°C with 19,214 MPa tensile strength, flexural strength of 43 639 MPa, density 0974 gr / cm<sup>3</sup>, 0.32% water absorption and thickness swelling 1.42%.*

**Keyword:** filler, palm frond, wood plastic composite

## I PENDAHULUAN

Kayu merupakan salah satu kebutuhan manusia yang sudah mengalami penurunan produksi karena semakin meningkatnya kebutuhan. Dimana peningkatan jumlah penduduk akan berbanding lurus dengan jumlah kebutuhan dan semakin berkurangnya areal hutan untuk pemukiman penduduk sehingga membuat ketersediaan kayu sebagai bahan baku juga semakin berkurang. Keadaan ini mendorong untuk menggunakan kayu secara efektif dan untuk mencari material lain sebagai pengganti kayu.

Salah satu alternatif pengganti kayu adalah *Wood Plastic Composite* (WPC). WPC dapat mengurangi penggunaan kayu secara langsung dengan cara mencampurkan *fiber/filler* (serat kenaf, sisal, jerami, dll) dengan termoplastik seperti *polyethylene*, *polypropylene*, dan *poly vinyl chloride* (PVC) (Najafi, dkk., 2007). Menurut Maloney (1993), WPC merupakan salah satu produk komposit atau panil kayu yang terbuat dari

partikel-partikel kayu atau bahan berlignoselulosa lainnya yang diikat menggunakan perekat sintesis atau bahan pengikat lainnya dan dikempa panas.

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, serta produknya dapat didaur ulang (*recycleable*). Namun sifat WPC juga dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pemilihan bahan baku, formulasi, teknik pembuatan, dan parameter proses.

Penelitian yang dilakukan Chen, dkk., (2006) dengan variasi ukuran partikel dan rasio pencampuran HDPE sebagai matriks. Bahan yang digunakan adalah kayu bekas bangunan ( $\geq 1.18$  mm;  $1.18$  mm  $> x \geq 0.74$  mm;  $0.74$  mm  $> x \geq 0.59$  mm;  $x < 0.59$  mm), HDPE (50:50;60:40;70:30;75:25). Hasil yang

diperoleh bahwa ukuran partikel tidak terlalu banyak mempengaruhi sifat fisik maupun sifat mekanik WPC. Sementara pengaruh rasio HDPE menunjukkan bahwa plastik meningkatkan densitas dan kekuatan komposit. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan Febrianto, dkk., (2006) yang menggunakan kayu *Eucalyptus deglupta*, polipropilen sebagai matriks, *Maleic Anhydride* (MAH) dan *Discumy Peroxide* sebagai bahan aditif. Hasil yang diperoleh adalah ukuran partikel yang terkecil yaitu < 120 mesh memiliki sifat yang lebih baik dibandingkan dengan ukuran 60-80 mesh dan 80-120 mesh. Ukuran partikel yang kecil menyebabkan ikatan yang baik antara matriks dan *filler*.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh preparasi asam oksalat dan suhu pada pelepah sawit terhadap sifat dan morfologi WPC. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah dalam pengembangan material WPC berbasis pelepah sawit.

## II METODE PENELITIAN

### 2.1 Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah partikel pelepah sawit sebagai *filler* berukuran -40 ~ +80 *mesh* yang diperoleh dari perkebunan sekitar Universitas Riau, seitar daerah Bankinang dan perkebunan di luar Universitas Riau yang telah berumur 5 – 10 tahun; Polipropilen (PP) Copolymer produksi The Polyolefin Company (Singapore) Pte. Ltd. sebagai matriks; *Polypropylene-graft-maleic anhydride* (MAPP) produksi Aldrich Chemistry, USA sebagai kompatibiliser, dan plastisizer jenis Parafin dibeli di pasar lokal, asam oksalat 0.05 M, kalium hidroksida 0,05 M, natrium hidroksida 0,05 M, hidrogen peroksida 0,05 M dan air.

### 2.2 Alat

Peralatan yang digunakan untuk pencampuran bahan pembuat WPC yaitu *internal mixer* Labo Plastomill. Untuk pembentukan dan pemotongan lembaran digunakan *Hot Press* dan *dumbbell*. Peralatan yang digunakan untuk menguji spesimen meliputi: *Universal Testing Machine*

Zwickroell tipe Z020 untuk uji kuat tarik dengan standar pengujian SNI ISO 37 : 2010; Uji kuat lentur menggunakan *Universal Testing Strength* (UTM) tipe Orientec Co. Ltd, Model UCT-5T dengan standar pengujian ASTM D790; dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) tipe JSM-6510 A *Series* untuk pengamatan morfologi.

### 2.3 Prosedur Penelitian

#### *Penyiapan Partikel Pelepah Sawit.*

Pelepah sawit yang telah dibersihkan kulitnya diperkecil menjadi serbuk/serat. Selanjutnya direndam menggunakan asam oksalat atau air pada suhu kamar, 100°C, 120°C, 140°C selama 15 menit. Pelepah yang telah direndam kemudian dikeringkan selama 24 jam di bawah panas matahari. Setelah dikeringkan, serat pelepah sawit digiling dan disaring untuk memperoleh ukuran 100 – 200 mesh.

#### *Analisa Bahan Baku*

Selulosa diperoleh dari pelepah sawit. Pelepah sawit dibersihkan dari lidi dan daunnya, kemudian dihaluskan menjadi ukuran yang lebih kecil. Bahan baku dikeringkan sampai kadar air sisa  $\pm 5\%$ . Kemudian dilakukan analisa komponen kimia pelepah sawit. Analisis komponen kimia bahan baku bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat dalam bahan baku, yang terdiri dari kadar air (SNI 08-7070-2005), kadar selulosa –  $\alpha$  (SNI 0444-2009), hemiselulosa (SNI 01-1561-1989), dan kadar *lignin* (SNI 0492-2008)

#### *Pembuatan Sampel WPC*

Sampel WPC dibuat dengan mencampurkan partikel pelepah sawit, polipropilen, MAPP, dan parafin ke dalam *internal mixer* pada suhu 170°C dan laju rotor 80 rpm. Hasil pencampuran berupa kompon yang selanjutnya akan dibentuk menjadi specimen uji. Tahapan proses pencampuran dapat dilihat pada Tabel 1

Pembuatan spesimen uji dilakukan dalam beberapa tahap yaitu pembuatan lembaran WPC menggunakan *hot press* pada suhu 180°C dengan tekanan 100kgf/cm<sup>2</sup> selama 10 menit. Lembaran yang dihasilkan dibiarkan pada suhu kamar selama 24 jam untuk mencapai distribusi kadar air yang seragam dan melepaskan tegangan sisa akibat

pengempaan. Kemudian lembaran dipotong menggunakan *dumbbell* sesuai dengan spesimen uji.

**Tabel 1.** Tahapan Proses Pencampuran Material ke Dalam *Internal Mixer*

Aktivitas	Menit ke
Pelelehan PP	0
Penambahan parafin	20
Penambahan partikel pelepah sawit	25
Penambahan MAPP	35
Penghentian proses pencampuran	50

#### 2.4 Pengujian Sampel

Pengujian terbagi atas 3 yaitu pengujian sifat mekanik, sifat fisik, dan morfologi.

##### *Pengujian Sifat Mekanik*

Pengujian sifat mekanik meliputi *tensile strength* dan *flexural strength*. Spesimen pada pengujian *tensile strength* sebanyak 4 buah spesimen pada semua sampel. Spesimen diletakkan pada penjepit alat UTM kemudian ditarik hingga spesimen putus dan dicatat nilai uji kuat tariknya, Sedangkan pengujian *flexural strength* hanya dilakukan pada sampel yang memiliki *tensile strength* tertinggi. Spesimen di letakkan pada alat UTM namun dengan metode berbeda, kemudian sampel ditekan dan diukur kuat lenturnya.

##### *Pengujian Sifat Fisik*

Pengujian sifat fisik meliputi uji kerapatan, daya serap air, dan pengembangan tebal yang dapat dihitung dengan persamaan 1, 2, dan 3. Masing masing sampel dipotong dengan ukuran 1 cm x 1 cm sebanyak 3 spesimen dan ditimbang sebagai berat awal.

$$\text{Kerapatan} = \frac{\text{berat (gram)}}{\text{volume (cm}^3\text{)}} \quad (1)$$

$$\% \text{ Daya serap air} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\% \quad (2)$$

$$\% \text{ Pengembangan tebal} = \frac{D_2 - D_1}{D_1} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

- $W_1$  = berat sampel kering (gram)
- $W_2$  = berat setelah direndam air (gram)
- $D_1$  = tebal sampel kering (cm)
- $D_2$  = tebal setelah direndam air (cm)

##### *Pengujian Morfologi (SEM)*

Pengujian dilakukan untuk melihat pencampuran *interface* dan ikatan bahan *filler* ke dalam matrik. Sampel direndam dalam nitrogen cair selama  $\pm 2$  menit, lalu dipatahkan dan dilapisi emas (*coating* emas) agar sampel bersifat konduktor.

### III HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengujian Kadar Komposisi Pelepah Sawit

Pengujian komposisi pelepah sawit bertujuan untuk melihat pengaruh preparasi pada sampel. Komposisi yang akan di lihat pada sampel adalah hemiselulosa, lignin, air dan bahan ekstraktif. Data hasil pengujian komposisi pelepah sawit ditampilkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 menunjukkan hasil pengujian komposisi pada pelepah sawit. Komposisi tertinggi untuk kadar selulosa terdapat pada sampel WPC menggunakan preparasi asam oksalat. Sedangkan untuk komposisi terendah selulosa terdapat pada sampel WPC tanpa menggunakan preparasi air.

#### 3.2 Sifat Mekanik

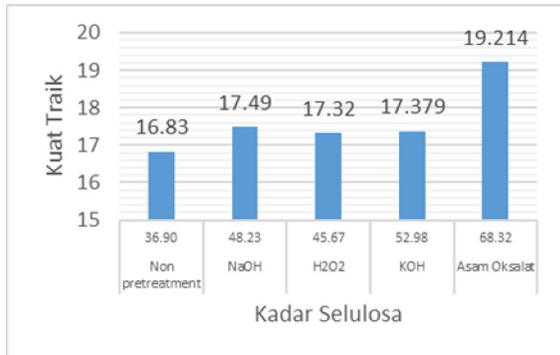
Sifat mekanik menunjukkan kekuatan sampel Wood Plastic Composite (WPC) Dalam menahan gaya luar yang diberikan.

##### *Kuat Tarik (Tensile Strength)*

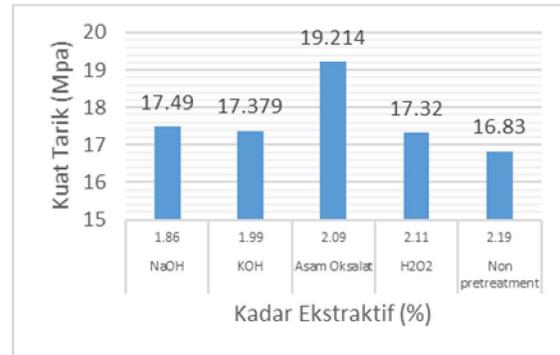
Kuat Tarik dilakukan untuk melihat kemampuan WPC mempertahankan dimensinya ketika ditarik hingga mencapai batasnya menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Uji Tarik dilakukan pada 4 spesimen terhadap masing masing sampel yang memiliki kadar komposisi yang berbeda.

**Tabel 2.** Komposisi Pelepeh Sawit dengan Variasi Jenis Preparasi

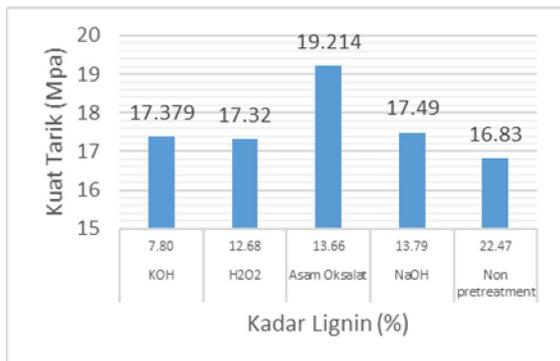
Perlakuan	Selulosa	Lignin	Hemiselulosa	Ekstraktif	Kadar air
non pretreatment	36.91	22.47	26.77	2.20	11.66
KOH	52.98	15.78	12.11	2.00	17.13
NaOH	48.23	17.45	15.96	1.86	16.50
H2O2	45.67	18.34	17.71	2.11	16.16
Asam Oksalat	68.33	13.66	9.99	2.10	5.93



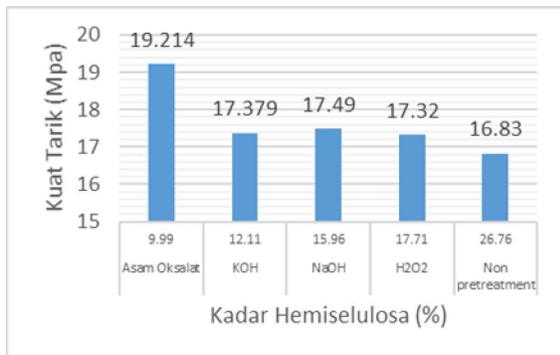
**Gambar 1.** Pengaruh Kadar Selulosa Terhadap Kuat Tarik



**Gambar 4.** Pengaruh Kadar Ekstraktif Terhadap Kuat Tarik



**Gambar 2.** Pengaruh Kadar Lignin Terhadap Kuat Tarik



**Gambar 3.** Pengaruh Kadar Hemiselulosa Terhadap Kuat Tarik

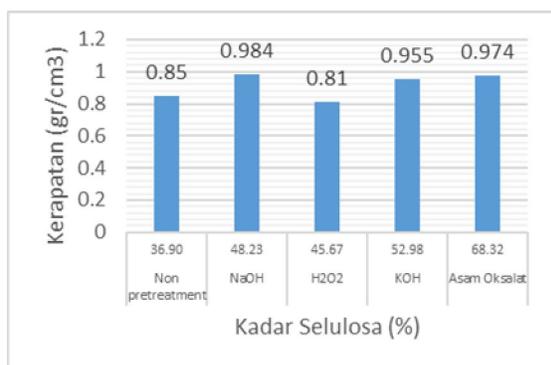
Gambar 1, 2, 3, 4 menunjukkan hasil pengujian kuat tarik bervariasi yang berkisar antara 16.83 MPa dan 19.214 MPa. Nilai tertinggi kuat tarik terdapat pada sampel WPC menggunakan preparasi asam oksalat. Sedangkan untuk nilai terendah kuat tarik terdapat pada sampel WPC tanpa menggunakan preparasi.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa kadar komposisi pelepeh sawit berpengaruh secara signifikan terhadap kuat tarik. Pada kadar komposisi selulosa yang tinggi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tarik. Sedangkan untuk komposisi yang lainnya seperti lignin, hemiselulosa dan bahan ekstraktif menunjukkan hasil yang beragam. Dimana pelepeh sawit yang memiliki komposisi lignin, hemiselulosa dan bahan ekstraktif tertinggi adalah pelepeh sawit tanpa preparasi yang menunjukkan rendahnya nilai kuat tarik dibandingkan dengan pelepeh sawit yang di preparasi menggunakan KOH, hidrogen peroksida dan NaOH. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan komposisi selulosa yang besar berbanding lurus dengan peningkatan kuat tarik WPC.

Menurunnya kadar hemiselulosa dapat meningkatkan ikatan antara selulosa dan polipropilen sebagai matriks sehingga menyebabkan kuat tarik setelah preparasi lebih tinggi dibandingkan dengan sebelum preparasi. Selain menggunakan preparasi asam oksalat penelitian ini juga didukung dengan penggunaan MAPP sebagai kompatibiliser. Penggunaan kompatibiliser memiliki dampak positif terhadap penyebaran *filler* dan matriks (Li, dkk., 2007; Bahruddin, dkk., 2007; Bhaskar, dkk., 2012). MAPP dapat membantu meningkatkan interaksi antara *filler* dan matriks. Gugus *maleat anhydrate* yang polar mengikat komponen selulosa yang juga polar dan bagian polipropilen yang non polar mudah larut dalam matriks PP yang juga non polar (Bahruddin, dkk., 2011)

### 3.3 Sifat Fisik

Sifat fisik berfungsi untuk melihat perubahan sifat WPC yang diproyeksikan terhadap pengaruh cuaca seperti daya serap air, kerapatan, dan pengembangan tebal. Gambar 3.6 menunjukkan nilai rata-rata kerapatan material WPC bervariasi yang berkisar antara 0.810 – 0.984 gr/cm<sup>3</sup>. Nilai tertinggi kerapatan terdapat pada sampel WPC menggunakan preparasi NaOH pada suhu 120°C. Sedangkan untuk nilai terendah kuat tarik terdapat pada sampel WPC tanpa menggunakan preparasi.



**Gambar 5.** Pengaruh Kadar Selulosa Terhadap Kerapatan

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa jenis preparasi maupun suhu tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap nilai kerapatan. Kerapatan sampel WPC

dipengaruhi oleh berat jenis kayu yang digunakan, jumlah partikel kayu, kadar perekat, dan besarnya tekanan kempa yang diberikan (Bowyer, dkk., 2003). Rowell, 1994 juga menyatakan bahwa nilai standar untuk kerapatan dipengaruhi oleh ukuran partikel, ketebalan serta jumlah partikel. Secara fisik partikel pelepah sawit pada penelitian ini sesudah dilakukan preparasi asam oksalat lebih mudah terdispersi di udara daripada preparasi menggunakan air. Hal tersebut mengindikasikan bahwa berat partikel pelepah sawit preparasi asam oksalat lebih ringan daripada menggunakan preparasi air. Semakin rendah berat partikel menyebabkan partikel tersebut tidak menyebar secara merata pada proses pencampuran sehingga menyebabkan kerapatan juga semakin menurun.

Kerapatan yang rendah menunjukkan bahwa terdapat pori-pori matriks PP yang belum terisi oleh *filler* partikel pelepah sawit. Pori-pori tersebut akan menjadi sumber terjadinya oksidasi WPC (Klyosov, 2007). Chen, dkk. (2006) melakukan penelitian menggunakan kayu sisa konstruksi dengan ukuran *filler* yang berkisar antara  $\geq 1.18$  mm;  $1.18$  mm  $> x \geq 0.74$  mm;  $0.74$  mm  $> x \geq 0.59$  mm; dan  $x < 0.59$  mm. Hasil yang diperoleh adalah ukuran partikel memberikan pengaruh terhadap kerapatan komposit. Komposit yang dibuat dengan ukuran partikel yang lebih besar cenderung memiliki pori-pori yang besar sedangkan partikel kecil menyebabkan komposit lebih padat. Ukuran partikel yang kecil menyebabkan penyebaran yang lebih homogen antara *filler* dan matriks (Febrianto, dkk., 2006; Bahruddin, dkk., 2011).

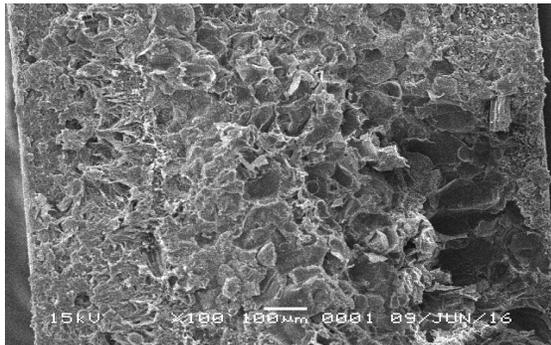
Lignoselulosa memiliki sifat hidrofilik sedangkan polipropilen memiliki sifat hidrofobik. Bahan-bahan yang mempunyai perbedaan polaritas akan sulit bercampur tanpa penambahan kompatibiliser yang sesuai. Penggunaan kompatibiliser memiliki dampak positif terhadap penyebaran *filler* dan matriks (Li, dkk., 2007; Bahruddin, dkk., 2007; Bhaskar, dkk., 2012). Kompatibiliser yang digunakan pada penelitian ini adalah *maleated anhydrate polypropylene* (MAPP). Cabang anhidrat MAPP bereaksi dengan komponen hidroksil pada permukaan lignoselulosa. Kemudian

cabang PP pada MAPP bersambung dengan polimer termoplastik yaitu polipropilen (PP).

Bila dibandingkan dengan standar ASTM D792 yang mensyaratkan nilai kerapatan material WPC 0,4 – 1,0 gr/cm<sup>3</sup>. Maka, nilai kerapatan pada penelitian ini telah memenuhi standar ASTM D792.

### 3.4 Sifat Morfologi

Uji morfologi dilakukan untuk melihat distribusi, interaksi partikel dan ruang kosong antara *filler* dan matriks. Sebaran *filler* kedalam *matrix* ditinjau dengan perbesaran 100 kali sedangkan untuk melihat interaksi antara keduanya digunakan perbesaran 500 kali. Pengujian morfologi dilakukan pada kuat tarik tertinggi dan terendah. Kuat tarik tertinggi terdapat pada kondisi proses; suhu 120°C menggunakan preparasi Asam Oksalat. Sedangkan kuat tarik terendah pada kondisi proses tanpa menggunakan preparasi. Metode pengujian morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dapat dilihat pada Lampiran D.



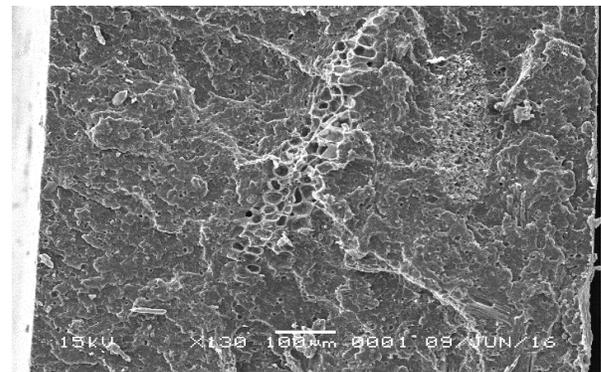
(a)



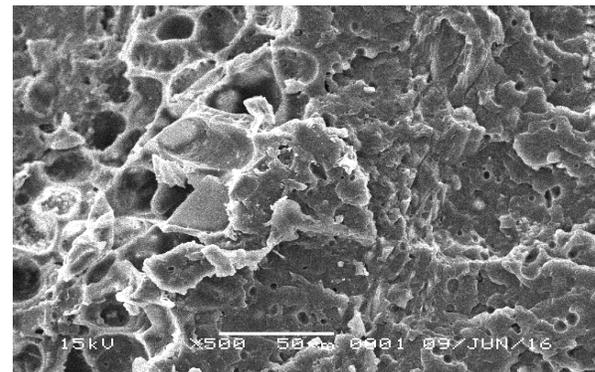
(b)

**Gambar 6.** Bentuk Morfologi WPC dengan Kuat Tarik Tertinggi (a) Distribusi Partikel (b) Interaksi Partikel

Gambar 6 dan 7 menunjukkan pengaruh preparasi terhadap morfologi komposit melalui uji SEM yang dilakukan pada permukaan patahan komposit. Penyebaran pada gambar 6a yang menggunakan preparasi asam oksalat terlihat lebih merata daripada Gambar 7a tanpa menggunakan preparasi sebagai kontrol. Penyebaran dipengaruhi oleh interaksi ikatan permukaan antara *filler* dan matriks. Tidak hanya itu saja ukuran partikel memiliki peran. Ukuran partikel yang kecil lebih memudahkan distribusi pada matriks.



(a)



(b)

**Gambar 7.** Bentuk Morfologi WPC dengan Kuat Tarik Terendah. (a) Distribusi Partikel (b) Interaksi Partikel

Apabila ditinjau dari Gambar 6b dan 7b, masih terlihat ruang yang kosong diantaranya yang kemungkinan partikel pelepah sawit terlepas setelah dilakukan pematangan sampel. Namun dilihat dari besar dan jumlah ruang kosong, Gambar 6b lebih baik daripada Gambar 7b.

Tingginya komponen selulosa akan menyebabkan lebih banyak cabang yang berikatan dengan matriks. Penggunaan MAPP

juga dapat membantu matriks dan filler saling berikatan Faktor lain yang dapat memicu ruang kosong adalah pada proses pencampuran menggunakan *internal mixer* tidak tercampur secara merata karena belum mencapai kondisi operasi yang sesuai.

#### IV KESIMPULAN

Preparasi memberikan pengaruh terhadap sifat dan morfologi material WPC yang dihasilkan. Komposisi pelepah sawit memberikan pengaruh terhadap sifat material WPC yang dihasilkan. Pengujian sifat fisik terbaik seperti kerapatan terdapat pada preparasi NaOH yaitu 0.984 kg/cm<sup>3</sup>, daya serap air pada preparasi asam oksalat yaitu 1.42%, dan pengembangan tebal pada preparasi asam oksalat yaitu 0.26%. Pengujian sifat mekanik terbaik seperti kuat tarik terdapat pada preparasi asam oksalat yaitu 19.214 MPa dan kuat lentur terdapat pada preparasi asam oksalat yaitu 43.639 MPa.

#### VI. DAFTAR PUSTAKA

- Bahrudin, Irdoni, I. Zahrina, dan Zulfansyah. 2011. *Studi Pembuatan Material Wood Plastic Composite Berbasih Limbah Pelepah sawit*. Jurnal Teknobiologi, Volume 2, No.1:77-84
- Bhaskar J., S. Haq, dan A. K. Pandoy, dan N. Srivastava. 2013. *Evaluation of Properties of Propylene-pine Wood Plastic Composite*. Journal Material Environment Science 3(3): 605 – 612
- 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
- Chen, H. C., T. Y. Chen, dan C. H. Hsu. 2006. *Effects of Wood Particle Size and Mixing Ratios of HDPE on The Properties of The Composites*. Holz als Roh-und Werkstoff, No. 64:172-17
- Febrianto, F., D. Setyawati, M. Karina, E. S. Bakar, dan Y. S. Hadi. 2006. *Influence of Wood Flour and Modifier Contents on the Physical and Mechanical Properties of Wood Flour-Recycle Polypropylene Composites*. Journal of Biological Science 6(2): 337-343
- Klyosov, A., A. 2007. *Wood-Plastic Composites*. A John Wiley and Sons, Inc., Publication.
- Li, X. L., G. Tabil, dan S. Panigrahi. 2007. *Chemical Treatment of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites: a Review*. Journal Polymer Environment, No. 15:25-33.
- Li, X. Z. Chai, E. Horn, dan J. Winandy. 2011. *Effects of Oxalic Acid Pretreatment of Wood Chips on Manufacturing Medium Density Fiberboard*. *Holzforschung* Vol. 65:737-741
- 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.
- Rowell, R. M. 1994. *Chemical of Solid Wood*. Subtitled by Suhaimi Muhammed and Halimathon Hj. Manshor. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka
- Rowell, R. M. 2007. *Challenges in Biomass-Thermoplastic Composites*. Journal Polymer Environment, No. 15:229-235.