

TPM 10

Pengaruh Diameter dan Panjang Serat Pelepah Sawit Terhadap Sifat dan Morfologi
Wood Plastic Composite (WPC)

Siti Sakinah, Zultiniar, Bahruddin

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Siti_sakinah19@yahoo.com

Abstrak

WPC merupakan bahan yang menggunakan plastik sebagai matrik, serta serbuk kayu hingga serat-serat yang dihasilkan tanaman pertanian sebagai bahan pengisi (*filler*), dimana aplikasi produk WPC sangat luas mulai dari sektor konstruksi, perabotan, eksterior, serta sektor infrasutruktur lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh diameter dan panjang serat pelepah sawit terhadap sifat dan morfologi WPC. Sampel WPC disiapkan dengan metode pencampuran leleh antara serat pelepah sawit, PP, *Maleated polypropylene* (MAPP), dan paraffin selama 65 menit pada suhu 170 °C dan kecepatan rotor 80 rpm menggunakan *Internal Mixer*. Panjang dan diameter serat pelepah sawit yang digunakan adalah ± 1 mm, 1 cm dan 5 cm dengan diameter *filler* : - 40~ + 60 mesh, - 60~ + 80 mesh dan - 80 ~ + 100 mesh serta rasio PP/SPS adalah 50/50 dan 70/30. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sifat fisik dan mekanik terbaik dihasilkan pada panjang serat ± 1 mm dengan diameter serat - 80 ~ + 100 mesh pada rasio PP/SPS 70/30 dengan nilai kuat tarik sebesar 16 Mpa, kuat lentur 31 Mpa, daya serap air sebesar 1,78%, kerapatan 0,99 g/cm³, pengembangan tebal 0,33%, dan sifat morfologi yang diperoleh yaitu interaksi antara *filler* dan matrik yang lumayan baik dibandingkan dengan ukuran lainnya, sehingga mempengaruhi distribusi *filler* pada matrik yang lebih merata menghasilkan kualitas yang baik pada material WPC.

Kata kunci : Diameter serat, panjang serat, sifat fisik, sifat mekanik, sifat morfologi, WPC



1.0 PENDAHULUAN

Kebutuhan manusia akan kayu sebagai bahan bangunan baik untuk keperluan konstruksi, dekorasi, maupun *furniture* terus meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk. Produksi kayu bulat nasional tahun 2012 sebesar 49.258.228 m³, sedangkan data proyeksi permintaan kayu bulat dalam negeri tahun 2012 sebesar 80.640.368 m³. Dengan demikian dari angka tersebut dapat di simpulkan bahwa terjadi defisit kebutuhan kayu sebesar 31.382.140 m³ (Sumardjani dkk., 2007). Hal ini menunjukkan bahwa sebenarnya daya dukung hutan sudah tidak dapat memenuhi kebutuhan kayu. Kondisi ini menuntut penggunaan kayu secara efisien dan bijaksana, antara lain melalui konsep *the whole tree utilization*, disamping meningkatkan penggunaan bahan berlignoselulosa non kayu, dan pengembangan produk-produk inovatif sebagai bahan bangunan pengganti kayu (Badan Litbang Departmen Kehutanan, 2012).

Pasar material *Wood Plastic Composite* (WPC) mulai berkembang sejak tahun 2000. Dalam industri manufaktur dibutuhkan material yang memiliki sifat –sifat istimewa yang sulit didapat dari logam. Komposit merupakan material alternatif yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material, dimana sifat mekanik dari material pembentuknya berbeda-beda. Dikarenakan karakteristik pembentuknya berbeda-beda, maka akan menghasilkan material baru yaitu komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material-material pembentuknya (Jones, 1975).

Keunggulan dari *Wood Plastic Composite* (WPC) ini 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*).

Pada umumnya, yang mempengaruhi sifat dan morfologi dari material *Wood Plastic Composite* (WPC) adalah kadar partikel, ukuran partikel, penambahan *Compatibilizer* serta kondisi proses, termasuk temperatur, waktu, dan kecepatan rotor. Semakin kecil ukuran serat maka akan semakin luas permukaan sehingga interaksi antara pengisi dengan matriks akan relatif kuat (Adryani dkk., 2014)

Pada penelitian ini akan dikaji pengaruh diameter dan panjang serat pelepah sawit terhadap sifat dan morfologi material *Wood Plastic Composite* (WPC), diharapkan dengan melakukan variasi diameter dan panjang serat pelepah sawit terhadap pembuatan *Wood Plastic Composite* (WPC), maka sifat fisik, mekanik, dan morfologi dari *Wood Plastic Composite* (WPC) memperoleh hasil yang lebih baik.

2.0 METODOLOGI

1.1 Bahan baku

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat pelepah sawit sebagai *filler*, 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 produksi Bratachem.

1.2 Peralatan yang digunakan

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi peralatan untuk pembuatan serat pelepah sawit parang, ember, oven, gunting dan ayakan, untuk pembuatan material WPC peralatan yang digunakan seperti internal mixer, *hot press*, dan *dumbell*. Kemudian

untuk peralatan pengujian meliputi alat pengujian morfologi dengan menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM). Sedangkan alat pengujian fisik membutuhkan; jangka sorong dan timbangan analitik. Kemudian alat pengujian mekanik dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM).

1.3 Prosedur Penelitian

Penyiapan Partikel Pelelah Sawit.

Persiapan bahan baku partikel pelelah sawit mengikuti metode yang dilakukan oleh Fadhly (2015), ditujukan untuk mendapatkan serat pelelah sawit dengan kadar air, jenis dan ukuran yang seragam. Pertama pelelah sawit direndam dengan aquadest pada suhu kamar selama 3 x 24 jam. Perendaman berfungsi menghilangkan zat ekstratif yang terdapat pada partikel kayu sawit. Kemudian pelelah dipipihkan hingga menjadi serat, setelah itu dilakukan pengeringan di bawah sinar matahari selama 2 x 24 jam dan di oven hingga kadar air mencapai sekitar 5-10%, selanjutnya serat pelelah sawit dipotong sesuai dengan ukuran yang diinginkan. Kemudian ditentukan diameter untuk masing-masing serat dengan panjang ± 1 mm, 1 cm dan 5 cm.

Pembuatan Sampel WPC

1. Pencampuran (*Blending*)

Pembuatan sampel WPC menggunakan proses pencampuran leleh (*melt blending*), dimana PP dan SPS ditimbang sesuai dengan nisbah pencampurannya. Setelah suhu *Internal Mixer* mencapai 170°C, PP dimasukkan ke dalam *Internal Mixer* sehingga meleleh, selanjutnya dimasukkan plastisizer dan SPS serta yang terakhir MAPP. Hasil keluaran dari *mixer* tersebut merupakan sampel WPC yang akan di *press* menggunakan *hydraulic press* dan selanjutnya dilakukan pengujian morfologi dan sifatnya. Pencampuran material WPC ke dalam *internal mixer* menggunakan suhu pencampuran 170°C dan laju rotor 80 rpm seperti ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Schedule* Pencampuran Material dalam *Internal Mixer*

Aktivitas	Menit ke
Aktivasi <i>Internal Mixer</i>	0
Pelelehan PP	30
Penambahan plastisizer	40
Penambahan serbuk pelelah sawit	45
Penambahan MAPP	50
Penghentian proses pencampuran	65

(Sumber : Parsaulian, 2014)

2. Pembuatan Spesimen Uji

Pembuatan spesimen uji bertujuan untuk membentuk material WPC dengan standar pengujian yang akan dilakukan. *Hydraulic Press* disetting pada suhu 180°C dan tekanan 100 kg/cm² selama ± 15 menit untuk kempa panas dan 5 menit untuk kempa dingin dengan tekanan 100 kg/cm². Hasil pengempaan berupa lembaran (*slab*) WPC yang tidak rata pada bagian permukaan. Permukaan yang tidak rata disebabkan kandungan air didalam serat pelelah sawit, dekomposisi PP, lignin, dan kandungan ekstraktif yang dapat menghasilkan senyawa organik mudah menguap (Klyosov, 2007). Lembaran (*slab*) yang kemudian

didiamkan selama 2 x 24 jam pada suhu kamar agar distribusi kadar air yang seragam dan tegangan sisa dalam lembaran selama pengempaan merata. Kemudian sampel disimpan ke dalam plastik sebelum dilakukan pengujian. Langkah berikutnya adalah pembuatan pola pemotongan/spesimen menggunakan alat *dumbell*. Jumlah dan ukuran spesimen sampel disesuaikan dengan standar JIS K 6781 dan ASTM D790 (Parsaulian, 2014).

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 diletakan 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)

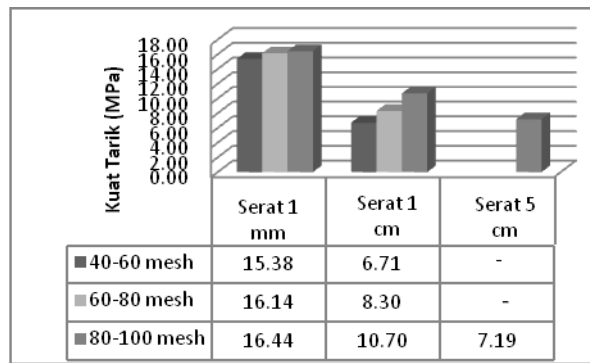
Pengujian Morfologi (SEM)

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

3.0 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sifat Mekanik

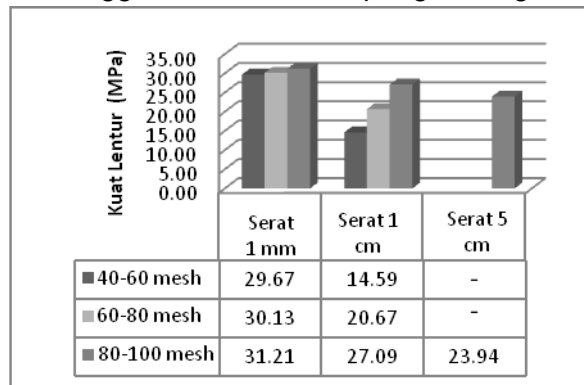
Sifat mekanik menunjukkan kekuatan sampel Wood Plastic Composite (WPC) Dalam menahan gaya luar yang diberikan. Hasil analisis uji tarik dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1. Nilai Kuat Tarik WPC pada komposisi PP/SPS 70/30

Pada Gambar 3.1 dapat dilihat bahwa nilai pengujian kuat tarik pada material WPC tertinggi terdapat pada panjang serat 1 mm dengan diameter serat 80-100 mesh (0,177-0,149 mm) sebesar 16,44 MPa. Sedangkan, untuk nilai terendah kuat tarik terdapat pada sampel WPC dengan panjang dan diameter serat 5 cm dan 80-100 mesh (0,177-0,149 mm) pada rasio PP/SPS (50/50) dengan nilai berkisar 7,19 MPa.

Hasil ini sesuai dengan pernyataan Sombatsompop dkk (2004) yang mengatakan bahwa, komposisi *filler* ke dalam matrik yang terlalu besar dapat menyebabkan penurunan sifat mekanik dari komposit. Raharjo dkk (2015) juga melakukan penelitian dengan *filler* berupa serat cantula dan matriks HDPE dengan variasi panjang serat 1 mm, 2 mm, 4 mm, 6 mm, mm, dan 10 mm yang menghasilkan nilai kuat tarik tertinggi yaitu pada panjang serat 10 mm dengan nilai kuat tarik sebesar 23,52 MPa sehingga disimpulkan bahwa ukuran panjang serat berpengaruh terhadap ikatan serat dengan matriks, sehingga transfer beban dapat dioptimalkan dengan mengacu pada panjang serat. Kemudian pernyataan lain yang disampaikan oleh Adryani dkk (2014) dimana semakin kecil ukuran serat maka akan semakin luas permukaan sehingga interaksi antara pengisi dengan matriks akan relatif kuat .



Gambar 3.2. Nilai Kuat Lentur WPC pada komposisi PP/SPS 70/30

Dari Gambar 3.2 dapat dilihat bahwa nilai tertinggi dari pengujian flexural dari sampel WPC yaitu 31,21 MPa dengan panjang dan diameter serat 1 mm dan 80-100 mesh (0,177-0,149 mm). Ini dikarenakan pada panjang serat 1 mm, dengan ukuran serat yang lebih kecil maka penyebaran *filler* yang cukup merata di dalam matriksnya sehingga seluruh permukaan *filler* dapat ditutupi oleh matriksnya, menyebabkan interaksi antara polipropilen sebagai matriks dan serat pelepah sawit sebagai *filler* juga akan baik, hal ini akan membuat ikatan antar *filler* dan matriks akan kuat yang berpengaruh terhadap nilai sifat mekanik materil

WPC

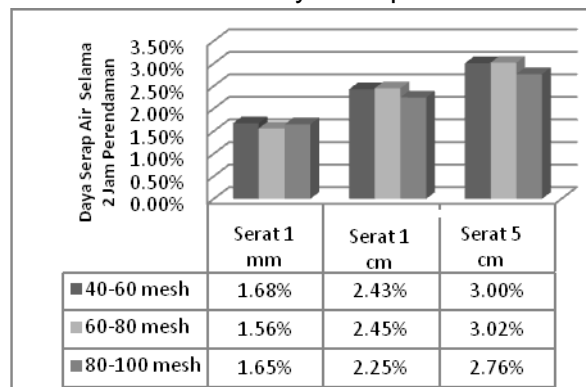
itu

sendiri.

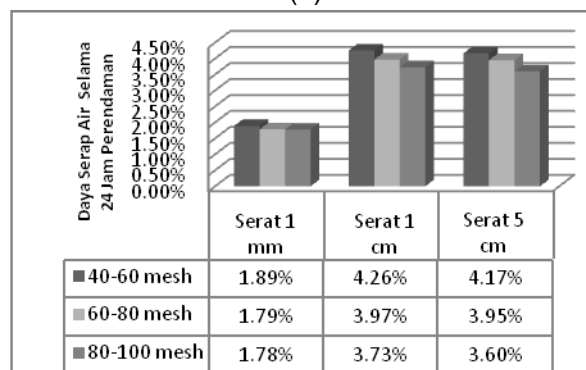
Hal serupa disampaikan oleh Raharjo dkk (2015) yang melakukan penelitian dengan filler berupa serat cantula dan matriks HDPE dengan variasi panjang serat 1 mm, 2 mm, 4 mm, 6 mm, mm, dan 10 mm yang menghasilkan nilai kuat lentur tertinggi yaitu pada panjang serat 10 mm dengan nilai kuat lentur sebesar 34,32 MPa, dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa ukuran panjang serat berpengaruh terhadap ikatan, sehingga transfer beban dapat dioptimalkan dengan mengacu pada panjang serat. Pernyataan lain juga disampaikan oleh Adryani dkk (2014) dimana semakin kecil ukuran maka semakin luas permukaan sehingga interaksi antara pengisi dengan matriks akan relatif kuat dan juga reaksi antarfasa akan meningkat.

3.2 Sifat Fisik

Sifat fisik berfungsi untuk melihat perubahan sifat WPC yang diproyeksikan terhadap pengaruh cuaca seperti daya serap air, kerapatan, dan pengembangan tebal. Gambar 3.3 (a) dan (b) menunjukkan nilai rata-rata daya serap air.



(a)



(b)

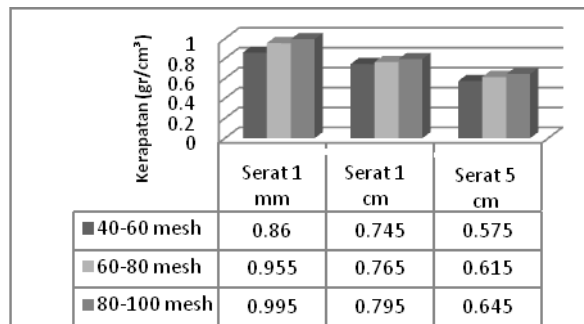
Gambar 3.3 Nilai Daya Serap Air pada Komposisi PP/SPS 70/30 dengan perendaman (a) 2 jam (b) 24 jam

Gambar 3.3a menunjukkan bahwa rata-rata nilai daya serap air sampel WPC tertinggi terdapat pada panjang 5 cm dengan diameter serat 60-80 mesh (0,25-0,177 mm) sedangkan daya serap air terendah pada panjang 1 mm dengan diameter serat 60-80 mesh (0,25-0,177 mm). Sedangkan pada Gambar 3.3b nilai tertinggi daya serap air terdapat pada panjang serat 1 cm dengan diameter serat 40-60 mesh (0,425-0,25 mm) sedangkan daya serap air terendah pada panjang 1 mm dengan diameter serat 80-100 mesh (0,177-0,149 mm).

Hasil yang diperoleh diatas menunjukkan bahwa lama perendaman akan meningkatkan daya serap air pada material WPC berbasis panjang dan diameter serat dimana serat yang memiliki panjang dan diameter serat yang lebih besar menghasilkan nilai

daya serap air yang semakin besar. Hal ini disebabkan karena pelepah sawit sangat mudah menyerap air, Bakar (2003) menyatakan bahwa salah satu kelemahan dari pelepah sawit adalah bersifat higroskopis dengan stabilitas dimensi yang tidak stabil sehingga sangat mudah menyerap air dari lingkungan sekitar. Pernyataan lain juga disampaikan oleh Wardani dkk (2013) menyatakan bahwa air yang masuk kedalam material WPC dapat dibedakan atas dua macam yaitu air yang langsung dapat masuk kedalam material WPC yang mengisi ruang kosong antara serat dengan matriks dan air yang masuk kedalam serat sebagai *filler* dari pembentukan WPC. Selain itu juga, serat dengan ukuran yang lebih besar akan menghasilkan nilai daya serap air yang lebih besar dikarenakan matriks tidak mampu menutupi seluruh permukaan serat (Setyawati, 2010). Faktor lain yang mempengaruhi daya serap air yaitu karena adanya sisa tegangan setelah pengempaan belum sepenuhnya hilang, sehingga menimbulkan celah sebagai jalan keluar masuknya air. Selain itu juga, komposisi *filler* kedalam matrik yang terlalu besar dapat menyebabkan penurunan sifat dari material WPC (Sombatsompop, dkk, 2004).

Pada Gambar 3.4 menunjukkan bahwa nilai rata-rata kerapatan tertinggi produk WPC pada komposisi PP/SPS 70/30 terdapat pada panjang serat 1mm dan diameter serat 80-100 mesh (0,177-0,149 mm) dengan nilai 0,995% dan nilai rata-rata kerapatan terendah terdapat pada panjang serat 5 cm dan diameter serat 40-60 mesh (0,425-0,25 mm) dengan nilai 0,575%. Hal ini dikarenakan pada komposisi PP/SPS 70/30 jumlah *filler* nya lebih kecil dibandingkan dengan matriksnya, sehingga matriks mampu menutupi seluruh permukaan dari *filler*, hal ini menyebabkan interaksi antara keduanya sangat kuat dan komposisi material WPC nya lebih homogen sehingga ketika diberi beban pada saat pengujian akan mampu bertahan dan memberikan nilai kerapatan yang lebih tinggi..

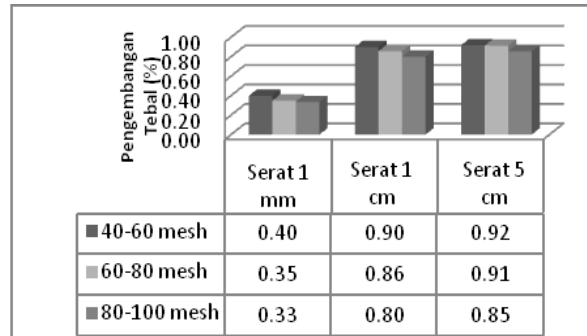


Gambar 3.4. Nilai Kerapatan Material pada komposisi PP/SPS 70/30

Rowell (1994) menyatakan bahwa nilai standar untuk kerapatan dipengaruhi oleh ukuran partikel, ketebalan serta jumlah partikel. Penelitian yang dilakukan Wardani dkk (2013) menyatakan bahwa ukuran serat memberikan pengaruh yang nyata terhadap kerapatan WPC. Pada penelitian ini dilakukan variasi panjang dan diameter serat pelepah sawit dimana didapatkan semakin kecil ukuran serat maka nilai kerapatan yang dihasilkan semakin besar sementara 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).

Selanjutnya pada Gambar 3.5 menunjukkan bahwa nilai rata-rata tertinggi pengembangan tebal terdapat pada panjang serat 5 cm dengan diameter 40-60 mesh (0,425-0,25 mm) sedangkan nilai terendah terdapat pada panjang serat 1 mm dengan diameter 60-80 mesh (0,25-0,177 mm). Hal ini disebabkan pada panjang serat 1 mm, sebaran matriks keseluruhan permukaan *filler* lebih merata dan ikatan antara keduanya lebih homogen dan kuat, sehingga ketika dilakukan uji pengembangan tebal dengan merendam

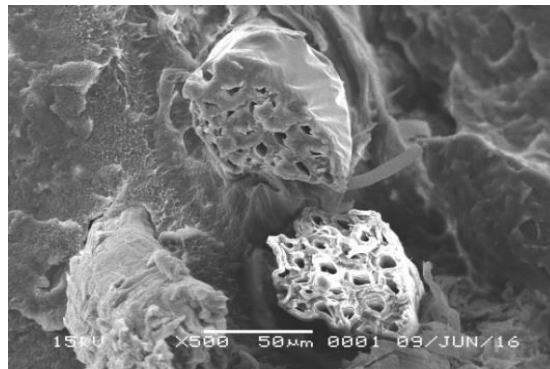
sampel didalam air, maka sangat sedikit yang bisa masuk ke dalam komponen material WPC tersebut, sementara pada panjang serat 1 cm dan 5 cm, dikarenakan ukuran serat keduanya lebih besar bila dibandingkan dengan 1 mm, maka ikatan antara keduanya sangat lemah sehingga terbentuk rongga-rongga yang memudahkan air untuk masuk, menyebabkan nilai pengembangan tebal semakin besar pula.



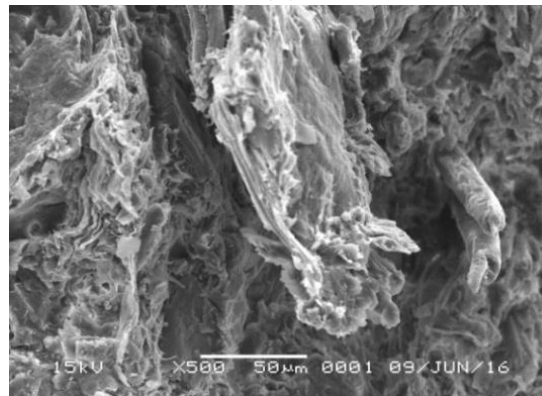
Gambar 3.5. Nilai Pengembangan Tebal Air Komposisi PP/SPS 70/30 selama 24 jam

3.3 Sifat Morfologi

Uji morfologi dilakukan untuk melihat distribusi, interaksi partikel dan ruang kosong antara *filler* dan matriks. Pengujian morfologi dapat dilihat pada Gambar 3.6



(a)



(b)

Gambar 3.6. Hasil Pengamatan Morfologi WPC Panjang Serat 1 mm (a) diameter 40-60 mesh (b) diameter 80-100 mesh

Apabila ditinjau dari Gambar 3.6a dan 3.6 b, Sebaran antara matriks dan *filler* pada Gambar 3.6b lebih baik dibandingkan Gambar 3.6a namun masih terlihat ruang yang

kosong diantara kedua gambar tersebut dimana pada gambar 3.6b ruang kosong yang tercipta dikarenakan putusnya serat pada saat menerima beban tarik sementara pada Gambar 3.6a dikarenakan beban yang diberikan pada saat uji mekanik lebih besar dibandingkan ikatan antar muka serat dengan matriks (Raharjo dkk, 2015).

4.0 KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor panjang dan diameter serta komposisi serat pelepah sawit dan polipropilen mempengaruhi sifat fisik, mekanik, dan morfologi produk WPC yang dihasilkan. Sifat mekanik dan fisik terbaik diperoleh pada panjang serat 1 mm (80-100 mesh) pada PP/SPS 70/30 dengan nilai kuat tarik tertinggi sebesar 16,44 MPa dan kuat lentur 31,21 Mpa, kadar air diperoleh 8,61% ; daya serap air diperoleh 1,78% ; nilai kerapatan terbaik 0,99 g/cm³; serta untuk pengembangan tebal terendah senilai 0,33% dan untuk morfologi menunjukkan bahwa interaksi antara *filler* serat pelepah sawit dan matrik polipropilen yang masih kurang sehingga terbentuk aglomerasi akibat dari serat dan matriks yang tidak tercampur merata pada material WPC.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Riau atas bantuan biaya pada penelitian ini sehingga bisa diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- Adryani, R. 2014. Kajian pemanfaatan limbah abu sekam padi hitam sebagai pengisi komposit polyester. Skripsi. Universitas Sumatera Utara
- Badan Litbang Departmen Kehutanan. 2012. Proses Pengolahan Limbah Sawit. <http://www.antara.co.id/>. 5 April 2015
- Bakar, E. S. 2003. Kayu Sawit Sebagai Substitusi Kayu Dari Hutan Alam. Forum Komunikasi dan Teknologi dan Industri Kayu 2 : 5-6. Bogor
- Jones, R. M. 1975. *Mechanis Of Composite Materials*, Hemisphere. Publishing Co.,New York.
- Klyosov, A., A. 2007. *Wood-Plastic Composites*. A John Wiley and Sons, Inc., Publication.
- Parsaulian, A.S. 2014. Preparasi Pelepah Sawit dengan Asam Oksalat dan Pengaruhnya Terhadap Sifat dan *Morfologi Wood Plastic Composite*. Skripsi. Universitas Riau
- Raharjo, W. W. Dwi A. Rina F. Kurniawan I. 2015. Sifat Tarik dan Lentur Komposit Rhdpe/Serat Cantula dengan Variasi Panjang Serat. *Prosiding SNTTM XIV 2015*. Banjarmasin
- Rowell, R. M. 2007. *Challenges in Biomass-Thermoplastic Composites*. Journal Polymer Environment, No.15:229-235.
- 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
- Sumardjani, L dan S.D. Waluyo. 2007. Analisis Konsumsi Kayu Nasional Berita Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan. Bogor

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, Volume 1, No. 1-4

