

## Produksi Bioplastik dari Sorgum dan Selulosa Secara Termoplastik

### Thermoplastic Processing of Sorghum and Cellulose to Produce Bioplastics

Yuli Darni\*, Tosty Maylangi Sitorus, Muhammad Hanif

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung  
Jl Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung  
\*E-mail : [darni\\_yuli@yahoo.com](mailto:darni_yuli@yahoo.com)

#### Abstrak

Produksi bioplastik dari sorgum dan selulosa hasil ekstraksi rumput laut *eucheuma spinosum* dengan gliserol sebagai pemplastis secara termoplastik telah diteliti. Variabel yang diteliti adalah perbandingan massa pati sorgum dengan selulosa sebesar 10:0; 9,5:0,5; 8,5:1,5; 7,5:2,5; 6,5:3,5 dan 5,5:4,5 (w/w). Partikel pati sorgum dan selulosa berukuran lolos ayakan 63  $\mu\text{m}$ . Proses sintesis diawali dengan sonifikasi selama 60 menit pada suhu 80°C, dilanjutkan dengan gelatinisasi yang dijalankan di dalam reaktor *batch* berpengaduk pada kecepatan 916 rpm dan suhu 95°C selama 35 menit. Hasilnya dikeringkan di dalam oven bersuhu 60°C selama 8 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik bioplastik terbaik diperoleh ketika perbandingan massa pati-selulosa sebesar 6,5:3,5 (w/w). Bioplastik ini memiliki kuat tarik 11,53 kPa, perpanjangan 32,75%, Modulus Young 46,946 kPa, dan densitas 150 kg/m<sup>3</sup>. Film bioplastik ini dapat diaplikasikan untuk pengemas makanan dan industri obat-obatan.

Kata kunci : Bioplastik, Rumput laut *Eucheuma spinosum*, Sorgum, Selulosa, Termoplastik

#### Abstract

The production of bioplastics from sorghum and cellulose derived from the extraction of *eucheuma spinosum* seaweed by thermoplasticization using gliserol as plasticizer were investigated. The analyzed variables were ratio of starch and cellulose mass at 10:0; 9,5:0,5; 8,5:1,5; 7,5:2,5; 6,5:3,5 and 5,5:4,5 (w/w). Size of particles sorghum starch and cellulose who passed a sieve tray are 63  $\mu\text{m}$ . Synthesis process was conducted by sonification for 60 minutes at 80°C, followed by gelatinization in stirred batch reactor at 916 rpm and 95°C for 35 minutes. The product was dried in oven at 60°C for 8 hours. The result shows the best bioplastics characteristic was obtained on starch-cellulose mass ratio of 6.5:3.5 w/w. These bioplastics have tensile strength of 11.53 Kpa, extention of 32.75%, Modulus Young's of 46.946 Kpa, and density of 150 kg/m<sup>3</sup>. These product may have wide application in the food packaging and the medical industries.

Keywords: Bioplastics, Cellulose, *Eucheuma spinosum* seaweed, Sorghum, Thermoplastic

## 1. Pendahuluan

Produk plastik kemasan saat ini sangat banyak beredar di pasaran, salah satunya adalah LDPE (*Low Density Polyethylene*). Plastik LDPE termasuk polimer yang tidak dapat terdegradasi, sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan dan mengancam ekosistem. Selain itu, cadangan bahan bakar fosil sebagai bahan baku dari LDPE makin menipis. Bioplastik merupakan salah satu peluang inovasi terhadap penyelesaian masalah dengan pemanfaatan sumber daya alam terbarukan dan dapat terdegradasi (Shun, 2012).

Plastik *biodegradable* pertama kali dibuat ditahun 1980-an, merupakan hasil dari upaya untuk menghasilkan plastik berbasis non-petroleum, dan juga untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh

penimbunan sampah (Soroudi dan Jakubowicz, 2012)

Bahan baku bioplastik berasal dari senyawa-senyawa tanaman seperti pati, selulosa, dan lignin serta bahan-bahan dari hewan seperti; protein, kasein, lipid (Wang dkk., 2013). Di Indonesia sendiri penggunaan pati sebagai bahan baku untuk sintesa bioplastik mempunyai potensi besar, karena di Indonesia banyak tumbuh tanaman-tanaman penghasil pati, salah satunya adalah sorgum. Sorgum merupakan salah satu alternatif sumber pati yang cukup potensial di Indonesia. Kandungan pati dalam sorgum mencapai 80,42% (Borghini, dkk, 2014). Pemanfaatan sorgum di Indonesia saat ini sebagian besar hanya sebagai pakan ternak, karena masih bermasalah dengan tingginya kadungan tannin dalam sorgum, yaitu 0,40 - 3,60% (Bean dkk., 2013). Selain itu,

tanaman sorgum toleran terhadap kekeringan dan genangan air, dengan berproduksi pada lahan marginal, serta relatif tahan terhadap gangguan hama (Bean dkk., 2013). Berdasarkan hal tersebut dapat dijamin ketersediaan sorgum sepanjang tahun untuk menjaga kesinambungan bahan baku, jika nantinya akan diterapkan untuk skala komersial.

Untuk peningkatan nilai ekonomis sorgum, maka perlu dilakukan kajian pembuatan bioplastik dari pati sorgum. Penelitian ini menggunakan sorgum sebagai bahan utama dalam sintesis bioplastik. Sintesis bioplastik memerlukan penambahan bahan pendukung lainnya seperti *plasticizer* dan biopolimer untuk perbaikan sifat fisik, sifat mekanik dan penyerapan bioplastik terhadap air (Kargarzadeh dkk., 2012). Berdasarkan penelitian Manalu dan Darni (2013), sifat fisik dan mekanik bioplastik telah mampu diperbaiki dengan penambahan *plasticizer* gliserol sehingga dapat menyerupai sifat fisik dan kimia plastik konvensional LDPE. Namun penambahan biopolimer kitosan belum mampu memperbaiki penyerapan air bioplastik. Penelitian ini menggunakan gliserol sebagai *plasticizer* dan perbaikan sifat sorgum yang hidrofilik dilakukan dengan penambahan selulosa yang berasal dari ekstraksi residu rumput laut *Eucheuma spinosum*.

## 2. Metodologi

### 2.1. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang diperlukan berupa selulosa residu hasil ekstraksi rumput laut *Eucheuma spinosum*, sodium hidroksida (NaOH) 40%, hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) 6%, aquades, pati sorgum, gliserol 25%. Peralatan yang digunakan adalah hot plate, gelas ukur, spatula, pH-meter, timbangan, desikator, oven, *krus porselen*, blender, ayakan ukuran 63  $\mu m$ , cetakan, *zipbag lock*, *ultrasonic water-bath* (Elmasonic (type S 60H)), dan aluminium foil.

### 2.2. Ekstraksi Selulosa dari Residu Rumput Laut *Eucheuma Spinosum*

Residu rumput laut sebanyak 0,03 kg dilarutkan dengan NaOH 40% dalam wadah 800 mL. Larutan diaduk selama 3 jam pada temperatur 100°C. Larutan disaring dan residu yang diperoleh dengan pH 6 kemudian dicuci dengan air sampai pH air cucian 11. Residu yang dihasilkan selanjutnya ditambahkan larutan  $H_2O_2$  konsentrasi 6% dan dibiarkan pada suhu kamar selama 3 jam sambil sesekali diaduk. Selanjutnya disaring

lagi, dan residu yang diperoleh dicuci dengan air sampai pH air cucian 7. Residu dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C sampai diperoleh berat yang konstan. Selanjutnya residu digiling dan disaring dengan ayakan 63  $\mu m$ .

### 2.3. Sintesis Bioplastik

Langkah-langkah sintesis bioplastik pada penelitian ini mengikuti metode Ban (2006) adalah sebagai berikut. Disiapkan 7,5 g pati dan 2,5 g selulosa dengan perbandingan 7,5 : 2,5. Larutan pati serta larutan selulosa dibuat dengan penambahan aquades sesuai dengan jumlah volume yang telah dihitung pada gelas ukur yang terpisah. Larutan sorgum di dalam gelas ukur 500 mL diletakkan didalam *sonicator* yang diset pada temperature 80°C. Kemudian ditambahkan larutan selulosa ke dalam larutan sorgum.

Campuran pati sorgum-selulosa disonikasi selama 40 menit, kemudian ditambahkan gliserol dan dilanjutkan proses sonifikasi hingga total waktu sonikasi 60 menit. Larutan bioplastik diangkat dan dipindahkan ke atas *hot plate*. Temperatur *hot plate* diatur 95°C dan kecepatan putaran pengadukan diset 916 rpm. Selama pengadukan dan pemanasan, temperatur campuran dikontrol pada 95°C. Setelah 35 menit, *hot plate* dimatikan, larutan didiamkan sampai men-capai suhu ruangan. Larutan sebanyak 25 ml dituangkan ke dalam cetakan yang telah dilapisi *wax*, kemudian dikeringkan di dalam oven pada temperatur 60°C selama 8 jam. Cetakan diangkat dan dimasukkan ke dalam desikator (dikondisikan selama 24 jam). Selanjutnya plastik dilepaskan dari cetakan dan disimpan dalam *zip bag lock*, dan siap dianalisis. Langkah-langkah ini diulangi untuk variasi Perbandingan massa (w/w) pati sorgum terhadap selulosa yaitu 10:0; 9,5:0,5; 8,5:1,5; 7,5:2,5; 6,5:3,5 dan 5,5:4,5.

### 2.4. Analisis Plastik

#### a. Pengujian Sifat Mekanik

Karakteristik sifat mekanik suatu bahan dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya adalah rasio pati-selulosa. Karakteristik ini ditunjukkan oleh perbedaan nilai kuat tarik, persen perpanjangan, dan *modulus young* pada setiap bioplastik. Sampel film plastik diuji dengan menggunakan alat *autograph*. Pengujian dilakukan pada temperatur 23°C, *Humidity* 50%, dan *cross head speed* 20 mm/min.

**b. Uji Kelarutan terhadap Air**

Uji Kelarutan bioplastik dalam air dilakukan sebagai berikut. Potongan film dengan ukuran kecil yaitu 3 x 3 cm<sup>2</sup>, dimasukkan ke dalam gelas ukur yang berisi 30 mL air pada temperatur kamar. Selanjutnya dihitung waktu kelarutannya di dalam air.

**c. Uji Densitas**

Prosedur penentuan densitas bioplastik adalah sebagai berikut. Massa, m (gram) sampel yang akan diuji ditimbang dengan menggunakan tim-bangan digital. Kemudian gelas ukur 10 mL diisi dengan air hingga 5 mL dan sampel plastik dimasukkan dalam gelas ukur yang berisi air. Setelah 15 menit, dicatat volume air yang baru (v) untuk meng-hitung volume plastik sebenarnya dengan cara: selisih volume akhir air dengan volume awal air. Maka didapatkan ρ plastik dengan persamaan:

$$\rho = m/v \tag{1}$$

**d. Uji Scanning Electron Microscopy (SEM)**

Sampel dipotong ukuran 1 x 1 cm untuk ditempelkan pada *holder* (wadah sampel untuk diuji). Sampel dimasukkan pada *chamber* peralatan SEM untuk untuk setting posisi dan merekam gambar. Foto SEM diambil dengan magnifikasi 300 kali.

**e. Analisis Gugus Fungsi dengan FTIR**

Sampel dipotong kecil dan digerus bersama KBr hingga halus untuk membentuk lapisan tipis. Kemudian diletakkan pada wadah sampel untuk diuji. Spektrum gugus selulosa dicatat pada layar monitor pada pajang gelombang 400 – 4000 cm<sup>-1</sup>.

**3. Hasil dan Pembahasan**

**3.1. Pengaruh Rasio Pati-Selulosa Terhadap Sifat Mekanik Bioplastik**

Gambar 1 memperlihatkan film bioplastik dengan rasio pati : selulosa sebesar 6,5 : 3,5 (w/w). Terlihat bahwa bioplastik memiliki warna coklat transparan. Hasil uji sifat mekanik bioplastik ditunjukkan pada Gambar 2 - 6. Rasio pati dan selulosa mempengaruhi sifat mekanik, sifat fisik, dan biodegradabilitas bioplastik. Pengujian sifat mekanik terdiri dari uji kuat tarik, perpanjangan, dan *modulus Young*. Pengujian sifat fisik terdiri dari uji densitas dan uji kelarutan, serta pengujian lainnya terhadap film bioplastik seperti SEM dan FTIR.

Pada Gambar 2 dapat dilihat pengaruh rasio pati-selulosa terhadap kekuatan tarik film bioplastik. Terlihat bahwa nilai kuat tarik tanpa selulosa lebih tinggi daripada nilai kuat tarik dengan penambahan 0,5 g dan 1,5 g selulosa. Kuat tarik terlihat meningkat secara signifikan pada penambahan selulosa lebih dari 2,5 g. Namun saat penambahan selulosa 4,5 g, kuat tarik kembali menurun. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan 0,5 g dan 1,5 g selulosa tidak dapat meningkatkan nilai kuat tarik bioplastik.



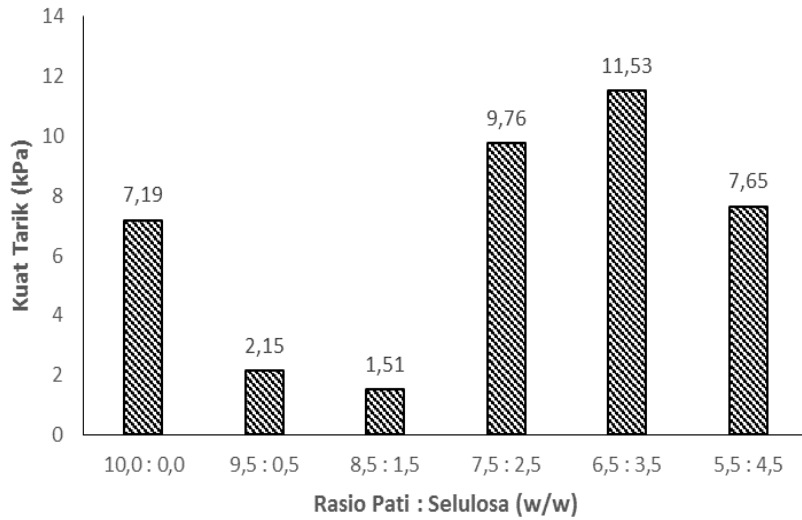
**Gambar 1.** Bioplastik dengan rasio pati : Selulosa sebesar 6,5 : 3,5 (w/w)

Dengan pertambahan konsentrasi selulosa pada larutan bioplastik, kuat tarik semakin meningkat dan saat penambahan konsentrasi selulosa terbanyak yaitu 4,5 g, kuat tarik kembali menurun serta memiliki nilai yang tidak jauh berbeda seperti film bioplastik tanpa selulosa. Nilai kuat tarik terbesar, terdapat pada penambahan konsentrasi selulosa 3,5 g. Hal ini terjadi karena perbedaan struktur pada selulosa dan amilosa menghasilkan sifat yang berbeda. Struktur yang dimiliki oleh selulosa mengakibatkan gaya tarik intermolekuler dan kristalinitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan amilosa. Kuatnya gaya intermolekuler dalam selulosa meyebabkan sulit berinteraksi dengan komponen lain. Selain itu penggabungan selulosa dengan pati terbatas karena selulosa sulit menyebar (terdispersi).

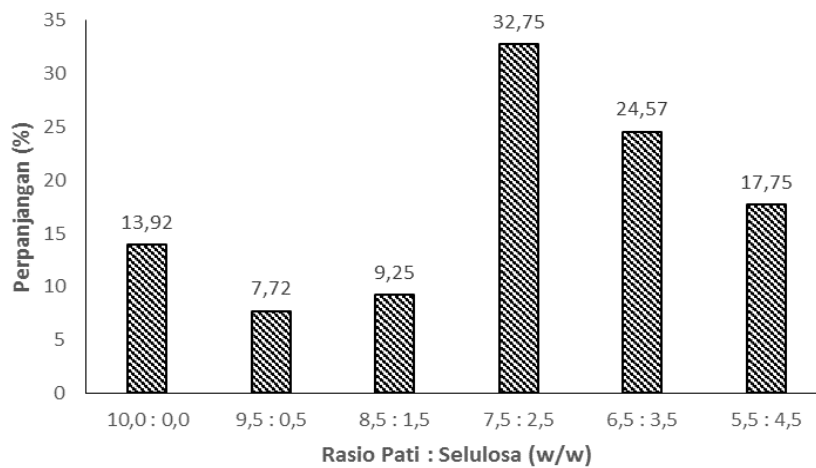
*Strain* atau persen perpanjangan merupakan bagian dari sifat mekanik yang menunjukkan keelastisan atau keuletan suatu bahan ketika ditarik hingga putus. Gambar 3 menunjukkan pengaruh konsentrasi selulosa terhadap *strain* atau persen perpanjangan film bioplastik. Film bioplastik tanpa selulosa memiliki nilai persen perpanjangan yang lebih tinggi dari pada film

dengan selulosa 0,5 g dan 1,5 g. Namun jika dibandingkan dengan film bioplastik dengan konsentrasi selulosa 2,5 g, 3,5 g, dan 4,5 g, film bioplastik tanpa selulosa memiliki nilai persen perpanjangan rendah.

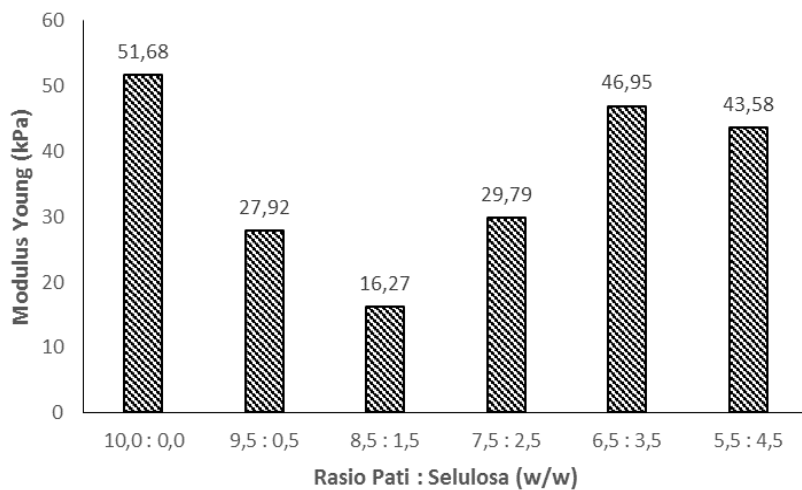
Gugus fungsional rantai selulosa adalah gugus hidroksil yang dapat berinteraksi dengan gugus -O, -N, dan -S, membentuk ikatan hidrogen dimana ikatan hidrogen lebih



**Gambar 2.** Pengaruh rasio pati : selulosa (w/w) terhadap kuat tarik bioplastik



**Gambar 3.** Pengaruh rasio pati : selulosa (w/w) terhadap perpanjangan bioplastik



**Gambar 4.** Pengaruh rasio pati : selulosa (w/w) terhadap Modulus Young bioplastik

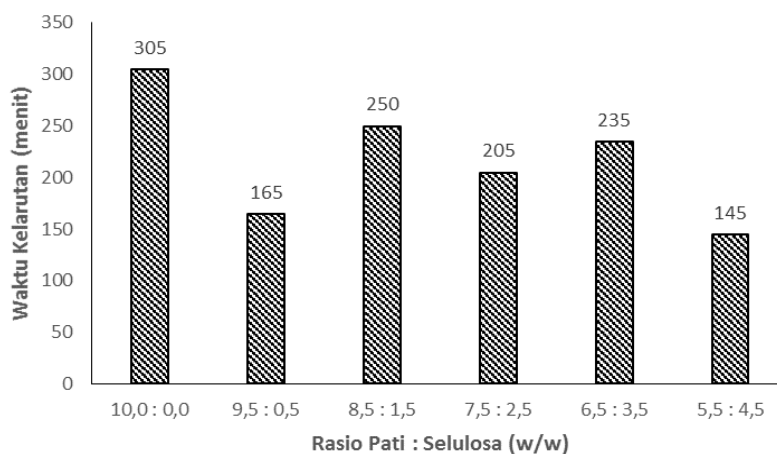
panjang dari ikatan kovalen tetapi ikatannya lebih lemah (Companion, 1991). Semakin banyak ikatan hidrogen yang terbentuk menyebabkan rantai semakin panjang. Oleh karena itu, terjadi peningkatan perpanjangan saat penambahan selulosa. Namun perpanjangan kembali menurun ketika penambahan selulosa 4,5 g, hal ini menunjukkan terdapat titik jenuh pembentukan ikatan hidrogen sehingga selulosa sulit untuk menyebar (terdispersi). Dari pembuatan Film bioplastik yang dilakukan diperoleh persen perpanjangan tertinggi pada perbandingan pati : selulosa sebesar 7,5 : 2,5 (w/w) yaitu 32,7488%, namun bioplastik yang dihasilkan belum memenuhi standar nilai perpanjangan LDPE yaitu 225% - 600%.

*Modulus Young* merupakan ukuran kekakuan suatu bahan. Semakin kaku suatu bahan, maka nilai *Modulus Young* yang dimiliki oleh bahan akan semakin besar. Nilai *Modulus Young* diperoleh dari perbandingan antara kekuatan tarik terhadap persen perpanjangan (Odiان, 2004). Pada Gambar 4 nilai *modulus young* tanpa selulosa lebih tinggi daripada dengan penambahan 0,5 g selulosa, ini

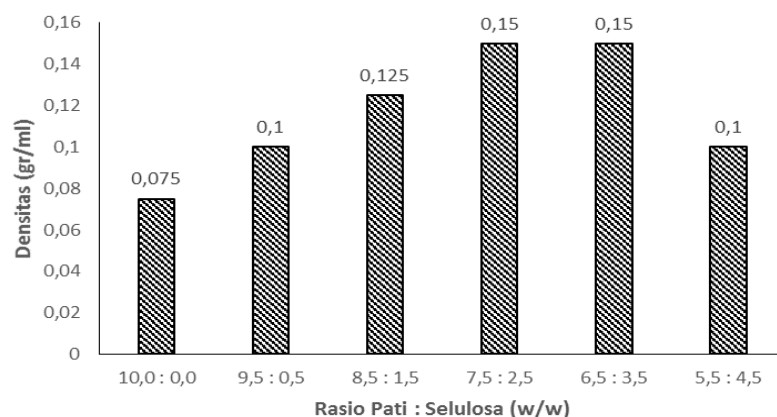
menunjukkan bahwa penambahan 0,5 g dan 1,5 g selulosa menurunkan nilai *Modulus Young* bioplastik. Penambahan selulosa di atas 1,5 g terus meningkatkan *Modulus Young*, namun tidak lebih besar dari nilai tanpa selulosa. Saat penambahan konsentrasi selulosa 4,5 g, *Modulus Young* kembali menurun. Hal ini disebabkan oleh ikatan hidrogen yang terbentuk membuat rantai semakin panjang, sehingga elastisitas meningkat. Nilai *Modulus Young* terbesar terdapat pada rasio pati : selulosa sebesar 10 : 0 (w/w).

### 3.2. Pengaruh Rasio Pati-Selulosa terhadap Sifat Fisik Bioplastik

Uji sifat fisik yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai kelarutan bioplastik dalam air dan densitas dari sampel bioplastik yang dihasilkan. Pada Gambar 5 terlihat bahwa film bioplastik tanpa selulosa memiliki waktu kelarutan yang lebih lama dari film bioplastik dengan penambahan selulosa karena film bioplastik memiliki gugus hidroksil (O-H). Selain itu penggabungan selulosa dengan pati terbatas karena selulosa sulit



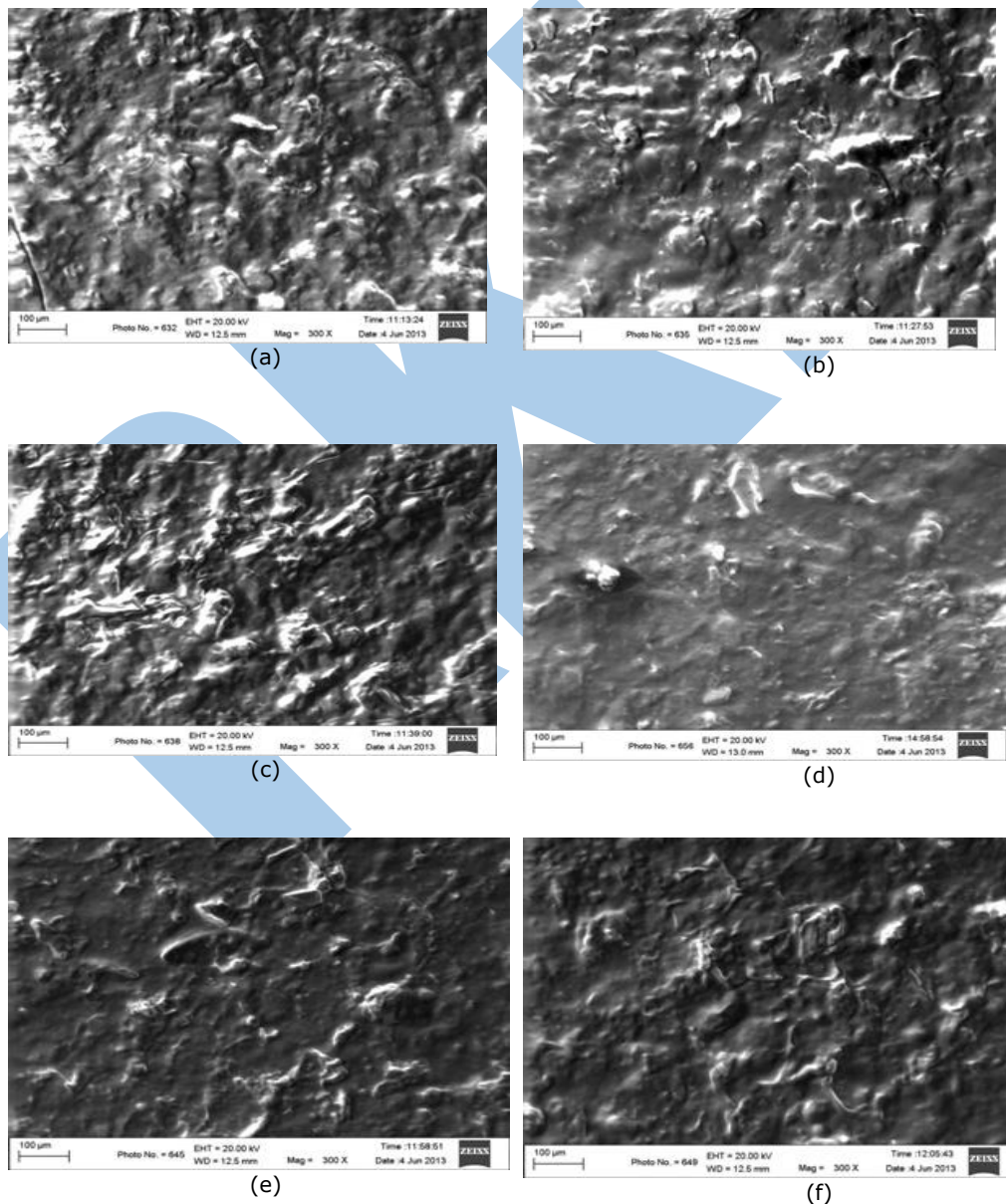
**Gambar 5.** Pengaruh rasio pati : selulosa (w/w) terhadap waktu kelarutan bioplastik dalam air



**Gambar 6.** Pengaruh rasio pati : selulosa (w/w) terhadap densitas bioplastik

untuk menyebar (terdispersi) sehingga menyebabkan film bioplastik memiliki sifat hidrofilik. Faktor utama polimer yang dapat terdegradasi secara alamiah adalah polimer alam yang mengandung gugus hidroksil (-OH), karena dapat terdegradasi. Densitas atau kerapatan (massa/volume) merupakan sifat fisik suatu polimer. Semakin rapat suatu bahan, maka sifat mekaniknya semakin baik dimana film plastik yang dihasilkan mempunyai kekuatan tarik (*tensile strength*) yang baik. Densitas bioplastik ini ditentukan dengan menggunakan metode kenaikan fluida dalam gelas ukur.

Pengaruh konsentrasi selulosa terhadap densitas dapat dilihat pada Gambar 6. Bioplastik dengan selulosa 2,5 g dan 3,5 g memiliki nilai densitas tertinggi. Densitas atau kerapatan jika memiliki nilai yang tinggi akan mempengaruhi sifat mekanik. Semakin rapat film bioplastik maka semakin sedikit jumlah pori atau rongga pada film bioplastik tersebut, sehingga akan semakin tinggi sifat mekaniknya. Walaupun film bioplastik dengan konsentrasi selulosa 2,5 g dan 3,5 g memiliki nilai densitas tertinggi, namun belum memenuhi nilai densitas standar LDPE yaitu 0,91-0,925 g/ml.



**Gambar 7.** SEM bioplastik dengan perbesaran 300x pada rasio pati : selulosa (w/w) (a) 10 : 0, (b) 9,5 : 0,5, (c) 8,5 : 1,5, (d) 7,5 : 2,5, (e) 6,5 : 3,5, dan (f) 5,5 : 4,5.

### 3.3. Struktur Morfologi

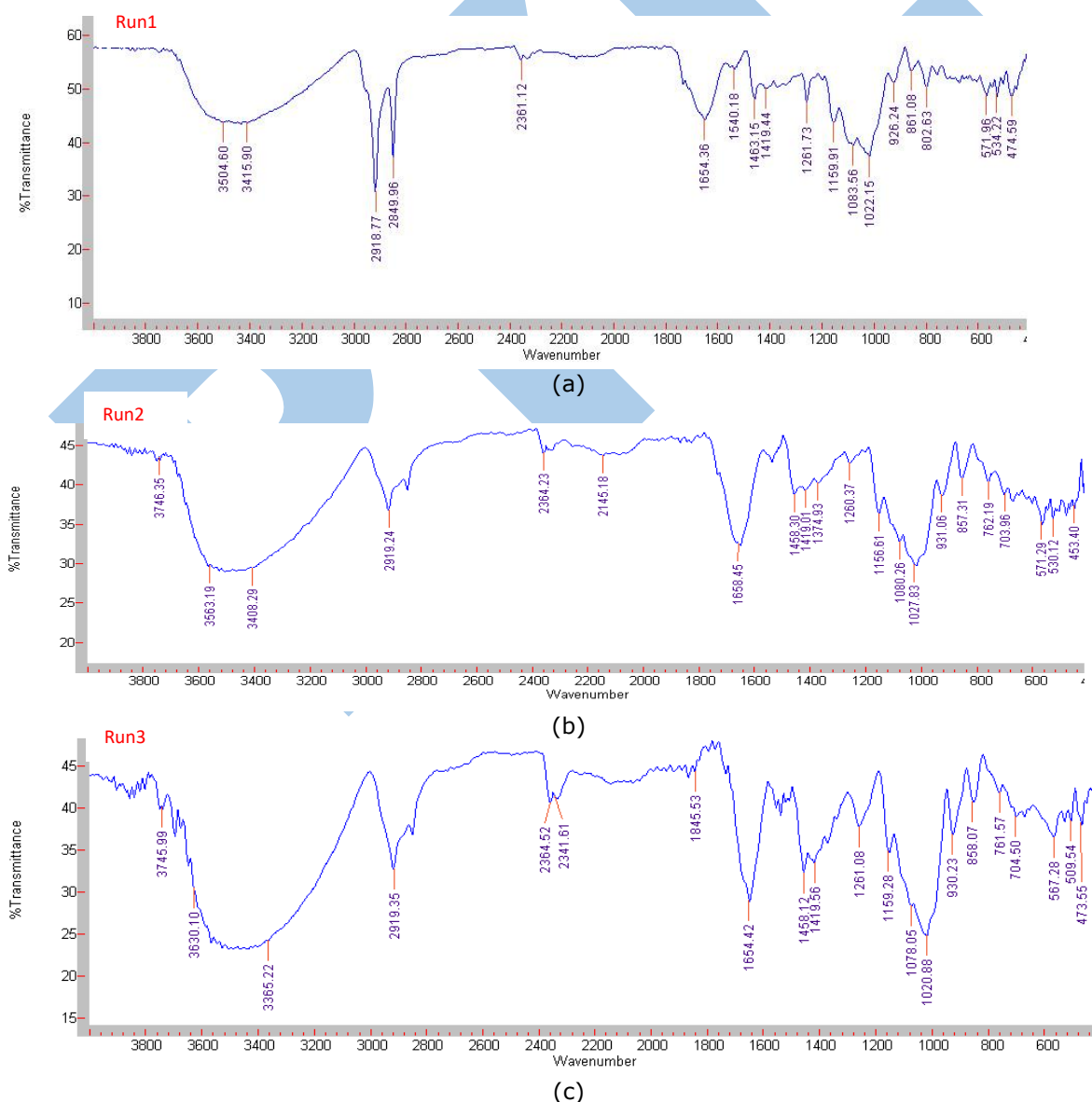
Berdasarkan analisis SEM yang dilakukan dengan jarak tembak tiap sampel 12,5 mm, energi tembak 20 kV, dan perbesaran 100 X diperoleh hasilnya seperti diperlihatkan pada Gambar 7. Morfologi film bioplastik yang dihasilkan pada masing-masing rasio pati-selulosa terlihat sangat tidak merata, ini disebabkan kurang homogennya larutan bioplastik, karena selulosa bersifat tidak larut dalam pelarut organik sehingga menghasilkan permukaan plastik yang tidak homogen.

Gambar 7a menunjukkan granula pati yang menyebar secara merata dalam bioplastik. Gambar 7b dan 7c menunjukkan permukaan bioplastik yang kurang homogen. Hal ini disebabkan karena serat-serat panjang dalam selulosa dari kayu lunak (rumpun laut) berinteraksi membentuk belitan dan sulit

menyebar secara merata dalam campuran pati. Gambar 7d dan 7e menunjukkan morfologi yang hampir sama dengan Gambar 7b dan 7c. Interaksi antara pati dengan serat panjang dari selulosa sulit membentuk film yang homogen.

### 3.4. Analisis Gugus Fungsi

Analisis gugus fungsi bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam suatu senyawa. Berdasarkan hasil pengujian gugus fungsi sampel bioplastik pada berbagai rasio pati-selulosa, diperoleh informasi beberapa *peak* yang muncul. Kemunculan banyak *peak* ini menunjukkan bahwa dalam bioplastik terdapat banyak jenis gugus fungsi. Gambar 8 merupakan hasil analisis FTIR film bioplastik. Gambar 8a menunjukkan gugus fungsi bioplastik dengan rasio pati-selulosa 10:0 (w/w).



Gambar 8. Spektrum FTIR bioplastik dengan rasio pati : selulosa (w/w): (a) 10:0, (b) 9,5:0,5, (c) 6,5:3,5.

Ikatan polimerik O-H ditunjukkan pada panjang gelombang 3415,90-3504,6  $\text{cm}^{-1}$ , C-H pada 2849,96-2918,77  $\text{cm}^{-1}$ , C=C pada 1654,36  $\text{cm}^{-1}$ , dan C-O pada 1083,56-1159,91  $\text{cm}^{-1}$ .

Pada rasio pati : selulosa sebesar 9,5:0,5 (w/w) (Gambar 8b) terdapat ikatan polimerik O-H pada panjang gelombang 3563,19  $\text{cm}^{-1}$ , C-H pada 2919,24  $\text{cm}^{-1}$ , C≡C pada 2145,18  $\text{cm}^{-1}$ , C=C pada 1658,45  $\text{cm}^{-1}$ , C-O pada 1027,83-1156,61  $\text{cm}^{-1}$ , dan *Phenyl group* pada 703,96  $\text{cm}^{-1}$ . Pada gambar ini terlihat adanya gugus fungsi baru akibat interaksi dengan selulosa yaitu C≡C dan *Phenyl group*. Pada Gambar 8c memperlihatkan spektrum IR dari bioplastik dengan dengan komposisi pati:selulosa 6,5:3,5 (w/w). terlihat hasil identifikasi gugus fungsi pada film bioplastik yang terbentuk pada spektrum serapan IR meliputi O-H pada 3365,22  $\text{cm}^{-1}$ , C=C pada 1654,42  $\text{cm}^{-1}$ , C-H pada 2919,35  $\text{cm}^{-1}$ , C-O pada 1020,88-1159,28  $\text{cm}^{-1}$ , dan *Phenyl group* pada 704,50  $\text{cm}^{-1}$ . Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan telah terjadi modifikasi akibat penambahan selulosa (Darni dkk., 2009).

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan selulosa pada sintesis bioplastik berbasis sorgum belum meningkatkan karakteristik mekanik dan fisik bioplastik secara signifikan. Bioplastik yang dihasilkan masih menyerap air lebih besar dari pada plastik komersial LDPE. Karakteristik bioplastik terbaik pada penelitian ini diperoleh pada rasio pati : selulosa sebesar 6,5 : 3,5 (w/w) dengan kuat tarik sebesar 11,53 Kpa, Modulus Young sebesar 46,95 kPa dan densitas bioplastik yaitu 0,15 g/mL.

#### 5. Daftar Pustaka

- Ban, W. (2006) Influences of natural biomaterials on the elastic properties of starch-derived films: an optimization study, *Journal of Applied Polymer Science*, 15, 30-38.
- Bean, B. W., Baumhardt, R.L., McCollum, F.T., McCuiston, K.C. (2013) Comparison of sorghum classes for grain and forage yield and forage nutritive value, *Field Crops Research*, 142, 20-26.
- Borghini, E., Crusciol, C.A.C., Nascente, A.S., Sousa, V.V., Martins, P.O., Mateus, G.P., Costa, C. (2013) Sorghum grain yield, forage biomass production and revenue as affected by intercropping time, *European Journal of Agronomy*, 51, 130-139.
- Companion, A.L. (1991) *Ikatan Kimia*. Edisi Kedua. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Darni, Y., Utami, H., Nurasriah, S., 2009, *Peningkatan Hidrofobisitas dan Sifat Fisik Plastik Biodegradabel Pati Tapioka dengan Penambahan Selulosa Residue Rumpun Laut Eucheuma Spinossium*, Prosiding Seminar Hasil-Hasil Penelitian dan Pengabdian Dosen, Universitas Lampung, 20-21 September 2009, C126-C139.
- Kargarzadeh, H., Ahmad, I., Abdullah, I., Dufresne, A., Zainuddin, A.Y., Sheltami, R.M. (2012) Effect of hydrolysis conditions on the morphology, crystallinity, and thermal stability of cellulose nanocrystals extracted from kenaf bast fibers, *Cellulose*, 19, 855-866.
- Manalu, S., Darni, Y., (2013) *Pengaruh kecepatan pengadukan dan konsentrasi plasticizer gliserol terhadap sifat fisik dan mekanik bioplastik berbahan baku pati sorgum-kitosan*. Seminar Nasional Material, 16 Pebruari 2013, Institut Teknologi Bandung Bandung.
- Odian, G. (2004) *Principles of Polymerization 4<sup>th</sup> Edition*. John Willey & Sons Inc. Canada.
- Shun, X. (2012) *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics: Overview of Plant Polymers-Resources, Demands, and Sustainability*. PDL Hanbook Series, Elsevier, USA.
- Soroudi, A., Jakubowicz, I. (2013) Recycling of bioplastics, their blends and biocomposites: A review, *European Polymer Journal*, 49, 2839-2858.
- Wang, Q., Cai, J., Zhang, L., Xu, M., Cheng, H., Han, C.C., Kuga, S., Xiao, J., Xiao, R. (2013) A bioplastic with high strength constructed from a cellulose hydrogel by changing the aggregated structure, *Journal of Materials Chemistry A*, 1, 6678-6686.