

PENGARUH KADAR *FILLER* ZnO, *PLASTICIZER* GLISEROL DAN NISBAH AIR TERHADAP SIFAT DAN MORFOLOGI BIOPLASTIK BERBASIS PATI SAGU

Annur Fauzi Syaputra¹, Bahruddin², Irdoni HS²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia S1, ²Dosen Jurusan Teknik Kimia,
Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

¹E-mail: fzfauzi5@gmail.com

ABSTRACT

*The need of plastic as plastic bags, food or goods packaging progressively increasing. Bioplastics is one alternative to conventional plastics that are harmful to the environment. one of the ingredients that can be used as bioplastics is starch, but starch-based bioplastics are still lacking at the mechanical properties. The purpose of this study was to determine the characteristics of sago starch, determine the effect of water ratio, the composition of the ZnO filler and plasticizer glycerol on mechanical properties and morphology of bioplastics. Sago starch was tested for the composition of amylose and amylopectin, while the bioplastics is tested for mechanical properties such as tensile strength (tensile strenght), elongation, water uptake, biodegradation, and dispersion of the filler through SEM (Scanning Electron Microscopy) and analyzed using Response Surface Methodology (RSM) , Significance level used in this study is 0.05 so that the most significant variables can be determined from pvalue value of <0.05 and a lack of fit> 0.05, which indicates that the model according to the research results. The factors that most significantly influence all responses are ZnO filler composition and followed by the plasticizer and water ratio. Best results are obtained on the composition of 15% filler, plasticizer 10% and the ratio of water 100 ml with a tensile strength of 15.484 MPa, elongation 2.691%, water uptake 28%, and 22.12% biodegradation. **Key Words** : bioplastics, filler ZnO, glycerol, starch, biodegradation*

1. Pendahuluan

Kebutuhan plastik sebagai kantong plastik, kemasan pangan atau barang semakin lama semakin meningkat. Pada tahun 2006 konsumsi plastik dunia mencapai 12,3 juta ton konsumsi dan meningkat 1,5 juta ton setiap tahunnya dengan konsumsi bioplastik sebesar 85.000 ton [Yezza, 2008]. Bioplastik merupakan salah satu alternatif pengganti plastik konvensional yang membahayakan bagi lingkungan.

Indonesia merupakan penghasil sampah plastik terbesar kedua setelah Cina, dengan jumlah sampah plastik pertahun 3,22 juta metrik ton per tahun (Jambect dkk, 2015) Sagu merupakan tanaman asli Indonesia dengan jumlah areal tanam sebesar 1.111.264 hektar yang tersebar secara merata di hampir seluruh daerah (Direktorat Jendral Perkebunan, 2014). Oleh karena itu sagu berpotensi

dijadikan sumber pati dalam pembuatan bioplastik.

Bioplastik adalah biokomposit polimer yang dapat berubah menjadi biomassa, H₂O, CO₂, dan atau CH₄ melalui tahapan depolimerisasi dan mineralisasi [Averous, 2008]. Penelitian tentang pembuatan bioplastik berbasis pati telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, Teixeira dkk [2009] melakukan penelitian bioplastik berbasis pati ubi singkong dengan menggunakan selulosa ampas tebu serta pemplastis gliserol. Variasi yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu komposisi selulosa (0, 5, 10, 20 % berat) serta komposisi gliserol (15, 30 % berat). Hasil terbaik didapatkan dengan komposisi selulosa 20% berat, giserol 15% berat dengan karakteristik uji yaitu kuat tarik 7,72 Mpa, *water Uptake* 7,36 %.

Marbun [2012] telah melakukan penelitian pembuatan bioplastik dari pati umbi jalar dengan filler ZnO dan selulosa

dengan variabel konsentrasi ZnO dan selulosa (1, 3, 6, 9 % berat) dengan hasil terbaik untuk ZnO pada berat pati 9% dengan kuat tarik sebesar 6,1 MPa.

Nafchi dkk pada tahun 2013 melakukan penelitian pembuatan bionanokomposit berbasiskan pati sagu dengan *filler nano-rod* ZnO (0, 1, 2, 3, 5% berat) dan *plasticizer* campuran antara gliserol dan sorbitol 3:1 sebanyak 40% berat, dengan hasil terbaik pada ZnO 5% berat dengan kuat tarik 6,62 Mpa dan elongasi 84%.

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa sifat mekanik yang dihasilkan bioplastik belum optimal. Disamping itu, penggunaan ZnO sebagai penguat bioplastik masih kurang informatif, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan pengaruh dan kondisi terbaik nisbah air, kadar *filler* dan kadar *plasticizer* terhadap sifat dan morfologi bioplastik berbasis pati sagu.

2. Metodologi Penelitian

Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini yaitu pati sagu, ZnO (Indoxide), gliserol (Bratachem), dan aquadest.

Ekstraksi Pati

Batang sagu dibuang kulit dan pengotornya terlebih dahulu, kemudian dipotong potong dan dihaluskan sehingga. Sagu basah yang telah dipotong potong ditimbang sebanyak 1 kg kemudian dicuci dalam air bersih sebanyak 2 liter dan dilakukan penyaringan sehingga didapatkan larutan pati, prosedur ini diulangi sebanyak 6 kali. Larutan pati kemudian didiamkan selama 24 jam untuk mendapatkan endapan pati. Endapan pati yang didapat kemudian dijemur hingga kering (Yuniarti dkk, 2014).

Rancangan Percobaan

Data yang diperoleh dari penelitian ini akan diproses menggunakan metode RSM

dengan model *Central Composite Design* (CCD) dengan menggunakan *software Design Expert v10.0.1. Response Surface Methodology* (RSM) merupakan sekumpulan teknik matematika dan statistika yang berguna untuk mengembangkan, meningkatkan, dan mengoptimisasi proses (Myers, 2009). CCD adalah rancangan percobaan berbasis desain faktorial, yang dapat mengestimasi model kuadratik untuk setiap respon. Berikut merupakan tempuhan rancangan percobaan.

Tabel 1 Tempuhan rancangan percobaan

Run	Natural Variables			Coded Variables		
	ξ_1 (ml)	ξ_2 (%)	ξ_3 (%)	X_1	X_2	X_3
1	150	10	6	0	0	-1.682
2	150	10	16	0	0	0
3	100	5	10	-1	-1	-1
4	150	18.5	16	0	1.7	0
5	65.9	10	16	-1.682	0	0
6	100	15	22	-1	1	1
7	150	1.6	16	0	-1.682	0
8	150	10	26.1	0	0	1.682
9	100	15	10	-1	1	-1
10	150	10	16	0	0	0
11	200	5	10	1	-1	-1
12	150	10	16	0	0	0
13	200	15	22	1	1	1
14	200	5	22	1	-1	1
15	150	10	16	0	0	0
16	150	10	16	0	0	0
17	234.1	10	16	1.682	0	0
18	200	15	10	1	1	-1
19	150	10	16	0	0	0
20	100	5	22	-1	-1	1

ξ_1 (ml) = Jumlah pelarut/10 gr pati

ξ_2 (% b/b) = Kadar *Filler*

ξ_3 (% b/b) = Kadar *Plasticizer*

Pembuatan dan Pengujian Bioplastik

Proses pembuatan bioplastik dilakukan dengan teknik interkalasi larutan, pati sagu dilarutkan kedalam aquades sesuai dengan variabel, kemudian larutan ditambahkan pemplastis gliserol sesuai dengan variabel dan diaduk hingga homogen [yuniarti dkk,

2014]. Setelah itu ditambahkan *filler* sesuai dengan variabel lalu diaduk kembali sampai homogen sambil dilakukan pemanasan hingga terjadi gelatinisasi. Larutan homogen dituang pada plat kaca ukuran 22 cm x 22 cm x 2 mm dan dikeringkan selama 3 hari dalam suhu ruang [Marbun, 2012]. Kemudian plastik dipisahkan dari cetakan dan dilakukan pengujian karakterisasi bioplastik. Pengujian yang akan dilakukan terhadap bioplastik yaitu uji sifat mekanik (ASTM D822), *water uptake* (ASTM D570-98) dan biodegradasi (DIN EN ISO 846) dan uji SEM (Scanning Electron Microscopy).

3. Pembahasan

Karakteristik Pati Sagu

Bahan baku sagu yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Kabupaten Meranti, Provinsi Riau. Hasil uji kandungan pati ditunjukkan pada tabel 3.1

Tabel 2 Komposisi Kimia Pati Sagu

Komponen	Kadar (%)
Pati	73,82
Amilopektin	48,54
Amilosa	25,27
Lainnya (Air, Protein, Lemak, dan Abu)	26,19

Hasil Karakterisasi Bioplastik

Bioplastik yang telah dihasilkan lalu diuji sifat mekanik, *water uptake* dan biodegradasinya sesuai dengan standard yang digunakan. Hasil yang didapat ditunjukkan pada tabel 3.3.

Data yang diperoleh lalu diuji kelengkungannya dengan menggunakan nilai *p-value curvature* jika kurang dari α yang digunakan yaitu 0,05, maka data akan cenderung membentuk lengkungan, sehingga diperlukan persamaan orde dua untuk mengolah data. Berikut merupakan rangkuman nilai *p-value curvature* untuk masing – masing respon.

Tabel 4 Nilai *p-value Curvature* pada respon penelitian.

Respon	<i>P-value Curvature</i>
Kuat Tarik	0,0273
Elongasi	0,0005
<i>Water uptake</i>	0,3095
Biodegradasi	0,2195

Tabel 5 Variabel dan respon penelitian

Run	Natural Variables			Responses			
	ξ_1	ξ_2	ξ_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1	150	10	6	6,98	6,43	20,12	27,47
2	150	10	16	4,70	19,7	24,23	20,85
3	100	5	10	4,52	13,2	26,62	27,61
4	150	18	16	13,8	2,26	20,67	26,82
5	65,9	10	16	9,89	9,49	27,86	30,52
6	100	15	22	7,35	12,5	24,76	28,88
7	150	1,6	16	2,59	21,8	27,51	23,12
8	150	10	26	3,96	26,7	30,38	26,67
9	100	15	10	15,5	2,69	23,79	26,31
10	150	10	16	5,78	17,1	24,21	25,52
11	200	5	10	3,82	22,8	25,02	24,18
12	150	10	16	7	20,8	23,25	26,17
13	200	15	22	6,86	14,2	23,47	25,21
14	200	5	22	3,19	24,5	27,62	24,29
15	150	10	16	4,31	24,3	26,71	23,43
16	150	10	16	6,32	22,7	24,57	22,45
17	234	10	16	5,68	21,8	25,93	23,62
18	200	15	10	14,6	3,45	22,57	28,34
19	150	10	16	4,97	23,3	23,72	27,47
20	100	5	22	3,57	23,3	28,45	20,85

Y_1 = Kuat Tarik (Mpa)

Y_2 = Elongasi(%)

Y_3 = *Water uptake* (%)

Y_4 = Biodegradasi (%)

Dari data pada tabel 3.2, maka kuat tarik dan elongasi akan dianalisa dengan menggunakan persamaan orde dua, sedangkan biodegradasi dan *water uptake* akan dianalisa menggunakan persamaan orde satu. Selanjutnya, untuk mengetahui kesesuaian model dengan data eksperimen, dapat dilihat dari nilai R^2 . Jika semakin mendekati satu, maka model semakin sesuai dengan hasil percobaan. Dan untuk

mengetahui tingkat signifikansi error pada model dapat dilihat nilai *p-value lack of fit*, semakin besar nilainya disbanding α maka error akan semakin tidak signifikan. Rangkuman nilai R^2 dapat dilihat pada table 3.4.

Tabel 6 Nilai R^2 dan *p-value lack of fit* untuk setiap respon

Respon	R^2	<i>p-value lack of fit</i>
Kuat Tarik	0,9479	0,4995
Elongasi	0,9552	0,2953
<i>Water uptake</i>	0,9357	0,6358
Biodegradasi	0,8423	0,3920

Pengujian selanjutnya adalah uji *p-value* untuk masing – masing respon yang bertujuan untuk menentukan tingkat signifikansi setiap komponen.

Tabel 7 Rangkuman *p-value*

Sumber Varian	<i>p-value</i>			
	Kuat Tarik	Elongasi	<i>Water uptake</i>	Biodegradasi
Model	<0,0001	<0,0001	0,013	0,0005
A-Jumlah pelarut	0,0472	0,0072	0,2253	0,0097
B-Filler	<0,0001	<0,0001	0,0023	<0,0001
C-Plasticizer	0,0004	<0,0001	0,0032	0,0035
AB	0,8543*	0,6514*	0,9872*	0,9954*
AC	0,8107*	0,8684*	0,8888*	0,3986*
BC	0,0017	0,6213*	0,6209*	0,1926*
ABC	-	-	0,8668*	0,7828*
A ²	0,0243	0,8401*	-	-
B ²	0,0105	0,0001	-	-
C ²	0,8687*	0,0062	-	-

Keterangan : * Tidak signifikan pada $\alpha = 0,05$

Dari tabel 3.5, dapat dilihat pengaruh dari masing – masing komponen model terhadap respon yang dipelajari. Pengujian hipotesis pada uji simultan dilakukan dengan menghitung F_0 (F_{hitung})

untuk setiap respon. Nilai F_0 dapat ditentukan dengan menggunakan perbandingan *mean square* regresi terhadap *mean square error*, dimana jika perbandingan $F_{hitung} > F_{(\alpha, df1, df2)}$ maka H_0 ditolak. Adapun hipotesis yang berlaku untuk uji simultan adalah $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$, sehingga dianggap tidak terdapat satu pun kesesuaian terhadap model. Rangkuman untuk setiap Nilai F_0 respon dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 8 Rangkuman Nilai F_0 Untuk Setiap Variabel Respon

Respon	Sumber	SS	Dof	MS	F_0	Ftabel
Kuat Tarik	Regresi	261,2	6	43,54	39,4	2,92
	Error	14,4	13	1,11		
	Total	275,7	19			
Elongasi	Regresi	1136	6	189,4	24,6	2,92
	Error	100,1	13	7,72		
	Total	1236	19			
<i>Water uptake</i>	Regresi	89,9	3	30	12,9	3,24
	Error	37	16	2,31		
	Total	126,9	19			
Biodegradasi	Regresi	89,9	3	30	22,4	3,24
	Error	21,3	16	1,33		
	Total	111,3	19			

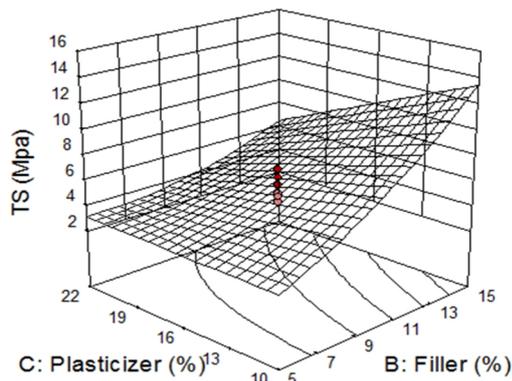
Dari data pada table 3.6, dapat dilihat bahwa $F_0 > F_{tabel}$, sehingga hipotesis H_0 ditolak, yang mengartikan bahwa pada masing – masing respon, memiliki paling tidak 1 variabel yang berpengaruh.

Analisa Respon Kuat Tarik

Hasil analisis multi variabel RSM menunjukkan pengaruh variabel proses terhadap kuat tarik bioplastik, hasil dari analisis tersebut ditunjukkan pada model kuat tarik dalam bentuk natural variabel yang dituliskan pada persamaan 1.

$$Y_1 = 6,894 - 0,1145x_1 + 0,8735x_2 + 0,3226x_3 - 0,0598x_2x_3 + 3,3536E^{-4}x_1^2 + 0,0393x_2^2 \dots \dots \dots (1)$$

Dari persamaan 1 dapat dilihat bahwa jumlah pelarut, kadar *filler* dan kadar *plasticizer* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon. Pengaruh ketiga variabel ditunjukkan pada gambar 1



Gambar 1. Grafik pengaruh kadar *filler* dan kadar plasticizer terhadap respon kuat tarik pada pelarut 150/10 v/b

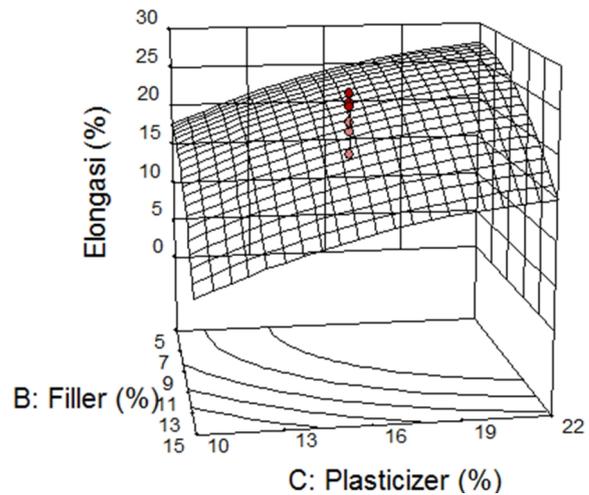
kuat tarik yang didapat berbanding lurus dengan jumlah *filler* yang digunakan. Hal ini dikarenakan adanya interaksi antara matriks dengan *filler* (Maddk, 2009), Nilai kuat tarik bioplastik yang didapatkan berkisar antara 2,569 – 15,484 MPa, namun pada *filler* 18,5% kuat tarik menurun karena adanya aglomerasi akibat jumlah *filler* yang terlalu banyak mengakibatkan *filler* berikatan antara sesama *filler*, sehingga tidak terjadi interaksi antara *filler* dengan matriks (Maddk, 2007).

Analisa Respon Elongasi

Hasil analisis multi variabel RSM menunjukkan pengaruh variabel proses terhadap elongasi bioplastik, hasil dari analisis tersebut ditunjukkan pada model elongasi dalam bentuk natural variabel yang dituliskan pada persamaan 2.

$$Y_2 = -29,072 + 0,284x_1 - 1,357x_2 + 2,274x_3 - 7,823E^{-4}x_1^2 - 0,129x_2^2 - 0,045x_3^2 \dots\dots\dots(2)$$

Dari persamaan 2 dapat dilihat bahwa jumlah pelarut, kadar *filler* dan kadar *plasticizer* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon. Pengaruh ketiga variabel ditunjukkan pada gambar 2



Gambar 2. Grafik pengaruh kadar *filler* dan kadar plasticizer terhadap respon elongasi pada pelarut 150/10 v/b

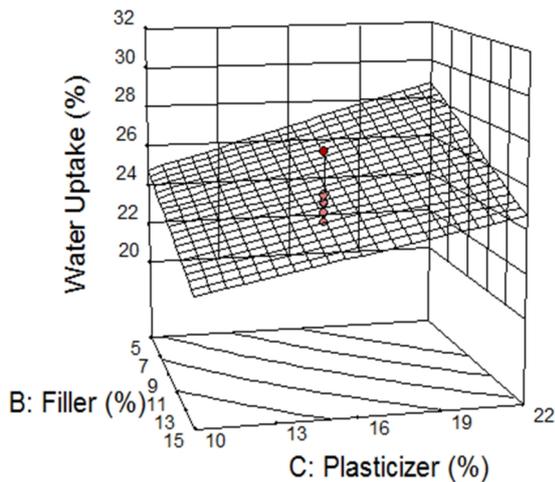
Berdasarkan data respon yang didapat dan hasil analisa ANOVA, elongasi yang didapat berbanding terbalik dengan jumlah *filler* yang digunakan, hal ini karena semakin banyak *filler* yang digunakan, maka interaksi antara *filler* dan matriks juga akan semakin kuat, sehingga bioplastik akan semakin kaku (Maddk, 2009). Namun elongasi berbanding lurus dengan jumlah *plasticizer*, hal ini dikarenakan gliserol yang melemahkan ikatan-ikatan antara molekul pada matriks sehingga molekul dalam matriks lebih leluasa untuk bergerak (Maddk, 2005).

Analisa Respon Water Uptake

Hasil analisis multi variabel RSM menunjukkan pengaruh variabel proses terhadap *water uptake* bioplastik, hasil dari analisis tersebut ditunjukkan pada model *water uptake* dalam bentuk natural variabel yang dituliskan pada persamaan 3

$$Y_3 = 26,958 - 0,014x_1 - 0,331x_2 + 0,217x_3 \dots\dots\dots(3)$$

Dari persamaan 3 dapat dilihat bahwa jumlah pelarut, kadar *filler* dan kadar *plasticizer* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon. Pengaruh ketiga variabel ditunjukkan pada gambar 3



Gambar 3. Grafik pengaruh kadar *filler* dan kadar plasticizer terhadap respon *water uptake* pada pelarut 150/10 v/b

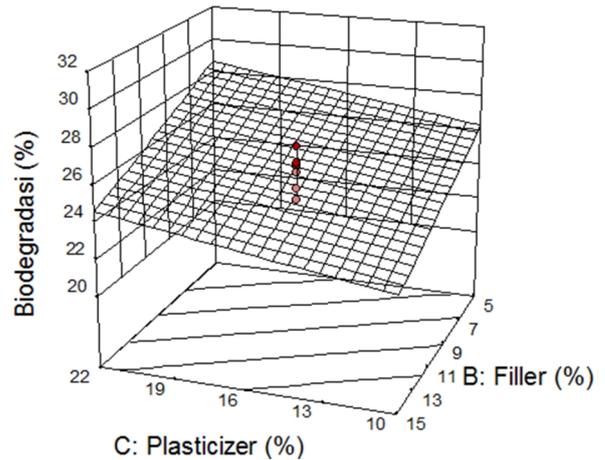
Berdasarkan gambar 3, kadar *filler* dan jumlah pelarut berbanding terbalik dengan *water uptake*, hal ini karena semakin banyak ZnO yang digunakan, maka semakin banyak ikatan hidrogen yang terjadi dalam matriks sehingga molekul air lebih sulit untuk berikatan dengan matriks (Nafchi dkk, 2013). Sedangkan untuk *plasticizer* dan jumlah pelarut, nilai *water uptake* berbanding lurus, hal ini karena sifat gliserol yang hidrofilik sehingga dapat meningkatkan penyerapan air (Marbun, 2012).

Analisa Respon Biodegradasi

Hasil analisis multi variabel RSM menunjukkan pengaruh variabel proses terhadap biodegradasi bioplastik, hasil dari analisis tersebut ditunjukkan pada model biodegradasi dalam bentuk natural variabel yang dituliskan pada persamaan 4.

$$Y_4 = 24,522 + 0,0137x_1 - 0,42x_2 + 0,205x_3 \dots \dots \dots (4)$$

Dari persamaan 4 dapat dilihat bahwa jumlah pelarut, kadar *filler* dan kadar *plasticizer* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon. Pengaruh ketiga variabel ditunjukkan pada gambar 4



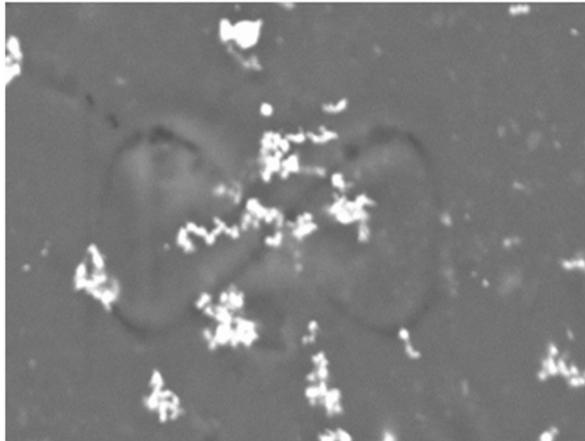
Gambar 4. Grafik pengaruh kadar *filler* dan kadar plasticizer terhadap respon Biodegradasi pada pelarut 150/10 v/b

Berdasarkan gambar 4, biodegradasi sampel berbanding terbalik dengan jumlah *filler*. hal ini disebabkan oleh dua hal, yaitu semakin banyak ZnO yang digunakan, maka semakin banyak ikatan hidrogen yang terjadi dalam matriks sehingga molekul air lebih sulit untuk berikatan dengan matriks (Nafchi dkk, 2013) sehingga lebih sulit untuk terjadi pemutusan ikatan pada matriks oleh air.

Juga akibat dari sifat ZnO itu sendiri yang bertindak sebagai agen penyerang mikroorganisme (Wang, 2007), sehingga menyulitkan mikroba untuk mengurai bioplastik. Biodegradasi berbanding lurus dengan kadar *plasticizer*, hal ini karena gugus hidroksil pada gliserol yang mudah untuk menyerap air, sehingga lebih mudah terjadi pemutusan ikatan matriks.

Analisis Morfologi Bioplastik

Uji morfologi bioplastik secara langsung ditunjukkan dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) dilakukan untuk mengetahui bentuk dan struktur permukaan dari sampel bioplastik. Hasil dari analisa SEM (*Scanning Electron Microscope*) bioplastik menunjukkan persebaran dari *filler* ZnO pada matriks pati sagu dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Hasil analisa SEM pada perbesaran 5500x

Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa persebaran *filler* belum cukup merata dan terjadi penggumpalan *filler* hal ini dapat mengakibatkan rendahnya sifat mekanik bioplastik yang dihasilkan, karena adanya penumpukan filler sehingga tidak terjadi interaksi antara *filler* dengan matriks (Mardiana, 2007). Dibutuhkan kompatibilizer dan teknik pengadukan yang lebih baik seperti dengan menggunakan *ultrasonic processing* agar dapat meningkatkan persebaran *filler* (Marbun, 2012).

4. Kesimpulan

Semakin besar jumlah *filler* yang digunakan, maka kuat tarik akan semakin tinggi, namun elongasi, *water uptake*, dan biodegradasi akan semakin rendah. Semakin besar jumlah *plasticizer* yang digunakan, maka elongasi, *water uptake* dan biodegradasi akan semakin tinggi, namun kuat tarik akan semakin rendah. Semakin besar jumlah pelarut yang digunakan, maka kuat tarik dan *water uptake* akan semakin rendah, namun elongasi dan biodegradasi akan semakin tinggi.

Bioplastik dengan karakteristik terbaik pada penelitian ini diperoleh pada jumlah pelarut 100 ml, kadar *filler* 15% b/b dan *plasticizer* 10% b/b dengan kuat tarik sebesar 15,484 Mpa, elongasi 2,692 %, *water uptake* 23,79% dan biodegradasi 23,12%.

Daftar Pustaka

- Adityo, S. 2009. Sintesis Bioplastik dari Pati Ubi Jalar dengan penguat alami ZnO dan Clay. *Skripsi*, Universitas Indonesia. Jakarta.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D 570-98. 2010. Standard Test Method For Water Absorbtion of Plastic.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D 638-02. Standard Test Method For Tensile Properties of Plastic.
- Averous, L. 2008. *Polylactic Acid: Synthesis, Properties and Applications, in Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources* 1st ed. Elsevier Ltd. Amsterdam:
- Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia. 2007. Tanaman sagu dan Potensi Perkebunan Sagu. <http://www.iribb.org/>. Diakses pada 21 Agustus 2016
- BPMPD. 2010. Potensi Perkebunan Sagu di Kepulauan Meranti, Provinsi Riau. <http://bpmpd.riau.go.id/web/statis/kabupaten-kepulauan-meranti>. Diakses pada 3 Agustus 2016
- Jambeck, Jenna R. 2015. *Plastic waste inputs from land into the ocean*. *Scienc*, Vol. 347, ISSUE 6223
- Ma, X., Chang, P. R., Yang, J., & Yu, J. 2009. Preparation and properties of glycerol plasticized-pea starch/zinc oxide bionanocomposite. *Carbohydrate Polymers*, 75: 472-478.
- Marbun, E, S. 2012, Sintesis Bioplastik dari Pati Ubi Jalar Menggunakan Penguat Logam ZnO dan Penguat Alami Selulosa. *Skripsi*, Universitas Indonesia. Jakarta.
- Montgomery, C. D. 2013. *Design and Analysis of Experiments*. 8th Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York
- Nafchi, A. M., Nassiri, R., Sheibani, S., Ariffin, F., & Karim, A. A. 2013. Preparation and characterization of

bionanocomposite films filled with nanorod-rich zinc oxide. *Carbohydrate Polymers*, 96(1): 233–239.

Ruddle, K. D., Johnson, P., K. Townsend & J. D. Rees. 1978. *Palm Sago A Tropical Starch from Marginal Lands*. An East-West Center Book, Honolulu.

Yezza. I. A. (2008). *The Global Market For Bioplastic*. www.hkc22.com/Bioplastics.html, Diakses tanggal 28 Juni 2016