

PENGARUH SORBITOL TERHADAP KARAKTERISTIK BIOPLASTIK BERBASIS PATI SAGU-POLIVINIL ALKOHOL (PVA) DENGAN MENAMBAHKAN KITOSAN SEBAGAI *FILLER* DAN SORBITOL SEBAGAI *PLASTISIZER*

¹⁾Nurazizah, ²⁾Said Jul Amraini, ²⁾Bahrudin

¹⁾Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Kimia ²⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia,
Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293
Nurazizah0910@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Bioplastic based on sago starch have weaknesses in low mechanical properties. To improve the mechanical properties can be done by adding ingredients such as fillers, plasticizers and other additive substances into the starch. This result aims to determine of bioplastic on the addition of polyvinyl alcohol, chitosan, and sorbitol to mechanical properties and biodegradability of sago starch-based bioplastic and formulating empirical equations the relationship between the nature of bioplastics and the research variables statistically. In this study bioplastic are prepared in three stages of work. The first stage of sago starch at a ratio of 1:15 and heated at 80°C for five minutes. The second stage of the mixture was then added polyvinyl alcohol (10, 20, and 30 gram w/w) sorbitol (2%, 2,5%, and 3% w/w) and remained stirred for ten minutes. The third stage of chitosan (2, 3, and 4% w/w) which was dissolved in acetic acid 1% w/v at 70°C was mixed into starch-PVA solution and remained stirred until gelitization occurred. Then a mixture of printed bioplastic. Data analysis using response surface methodology (RSM) Shows that the factors that have the most significant effect on all responses are in the condition of ratio PVA 30 gram, chitosan 4% w/w, and sorbitol 3% w/w. The best response value obtained is the value of tensile strength 16,69 Mpa, elongation at break 94,77%, tear strength 12,729 khf/mm, water uptake 21,42% and biodegradability 78,29%. The result of analysis hopefully bioplastic show the surface of bioplastic polymers to be homogeneous with cross starch-chitosan bonds but there are still air bubbles, pores and cracks.

Keywords: *bioplastic, chitosan, polyvinyl alcohol , sago starch , sorbitol.*

1. PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan lingkungan di dunia pada umumnya dan di Indonesia pada khususnya adalah limbah plastik. Kebutuhan plastik sebagai kantong plastik, kemasan pangan atau barang semakin lama semakin meningkat. Ini dikarenakan plastik mempunyai keunggulan dibandingkan dengan media lain seperti logam atau gelas, yaitu jauh lebih ringan, harga lebih murah, kemudahan dalam proses pembuatan dan aplikasinya, dan tidak mudah pecah. Selain itu, peningkatan

jumlah penduduk di dunia ditambah dengan penggunaan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui untuk memproduksi plastik semakin menambah penumpukan sampah plastik.

Plastik konvensional yang masih sering digunakan saat ini berasal dari bahan polimer sintetis yang terbuat dari petroleum, atau gas alam yang sulit didaur ulang dan diuraikan oleh pengurai. Plastik konvensional yang dihasilkan dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan

berupa pencemaran tanah, air, dan udara, serta penumpukan sampah plastik (Marbun, 2012).

Bioplastik adalah material yang dapat digunakan, seperti layaknya plastik konvensional tetapi bioplastik mudah mengalami penguraian oleh mikroorganisme. Penggunaan bioplastik juga memberikan manfaat positif pada pelestarian lingkungan dengan memanfaatkan bahan baku yang dapat diperbaharui dan dapat didegradasi oleh lingkungan (Bahmid dkk., 2014).

Komposit adalah perpaduan dari bahan yang dipilih berdasarkan kombinasi sifat fisik masing-masing material penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang lebih baik dibandingkan sifat material dasarnya. Komposit mempunyai keunggulan yaitu: daya tahan terhadap lingkungan korosif yang baik, rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, sifat mekanik, insulasi listrik yang baik serta dapat dibuat dalam berbagai bentuk. Sedangkan kekurangan komposit yaitu: tidak dapat digunakan pada temperatur lebih dari 400°F, kekakuan tidak terlalu tinggi dibandingkan dengan logam dan harga bahan baku yang relatif tinggi.

Sagu (*Metroxylon* sp) merupakan salah satu jenis tumbuhan palem wilayah tropika basah. Tanaman ini tumbuh pada daerah rawa air tawar, rawa bergambut, daerah sepanjang aliran sungai, sekitar sumber air atau hutan-hutan rawa. Luas areal tanaman sagu di dunia lebih kurang 2.187.000 hektar, tersebar mulai dari Pasifik Selatan, Papua Nugini, Indonesia, Malaysia dan Thailand. Sebanyak 219.978 hektar diantaranya terdapat di Indonesia (Direktorat Jendral Perkebunan, 2017).

Bioplastik yang berbasis pati memiliki kelemahan pada sifat fisik yang rendah (kekuatan tarik dan elastisitas), sehingga diperlukan adanya bahan tambahan untuk meningkatkan sifat fisik plastik tersebut dengan biopolimer lain seperti kitosan yang tidak beracun dan memiliki sifat larut dalam suatu larutan

asam organik yaitu asam asetat. Selain itu pati juga dapat dimodifikasi menggunakan komposit (gabungan) sehingga bioplastik yang dihasilkan dapat mengatasi sifat kaku dari bioplastik dan dapat memenuhi standar bioplastik.

Polivinil alkohol memiliki permeabilitas uap air terendah dari semua polimer komersial tetapi sensitivitas airnya telah membatasi penggunaannya. Wujud dari polivinil alkohol berupa serbuk (powder) berwarna putih dan memiliki densitas 1,2000-1,3020 g/cm³ serta dapat larut dalam air pada suhu 80°C (Kirk, R. E and Othmer, D. F, 1997).

Secara umum, penambahan sorbitol sebagai *plastisizer*, molekul *plastisizer* di dalam larutan tersebut terletak di antara rantai ikatan antar ikatan biopolymer dan dapat berinteraksi dengan membentuk ikatan hidrogen dalam rantai ikatan antar polimer, sehingga menyebabkan interaksi antara molekul biopolimer menjadi semakin berkurang. Bioplastik dengan penambahan bahan tambahan *plastisizer* sorbitol dan PVA mempunyai sifat lebih fleksibel dan meningkatkan sifat dan morfologi dari bioplastik (Setiawan dkk., 2015).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tepung pati sagu berukuran 200 mesh yang diperoleh dari pasar lokal produksi Kepulauan Meranti Riau, kitosan dan polivinil alkohol diproduksi oleh CV. ChiMultiguna, sorbitol dibeli dari PT. Bratachem dengan kemurnian 96%, CH₃COOH dibeli dari PT. Bratachem dengan kemurnian 98% dan aquades.

2.2 Alat

Neraca analitik, labu ukur, gelas piala, gelas ukur, batang pengaduk, oven, saringan, cetakan kaca, kaca arloji, heating mantle, stirer, hot plate. Peralatan atau instrumen untuk karakterisasi antara lain uji kuat tarik/Universal Testing Machine

(UTM), uji kuat robek, dan Scanning Electron Microscopy (SEM).

2.3 Variabel

Variabel berubah pada penelitian ini adalah penambahan pva (10, 20, 30 gr), penambahan kitosan (2%, 3%, 4% b/b), dan penambahan sorbitol (2%, 2,5%, 3% b/b).

2.4 Prosedur Penelitian

Larutan pati yang sudah dibuat dicampurkan dengan larutan kitosan, *plasticizer* sorbitol dan PVA. campuran tersebut diaduk selama 20 menit menggunakan *magnetic stirrer* dengan cara dipanaskan diatas *hot plate* pada suhu 80°C sampai homogen. Setelah itu campuran tadi akan di tuang dalam cetakan. Bioplastik berbentuk lembaran dengan kadar air cukup tinggi dan terdapat gelembung-gelembung udara sehingga bioplastik harus didiamkan sampai gelembung tersebut hilang selama 24 jam di udara bebas, lalu dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C selama 12 jam. Kemudian bioplastik tersebut dilepaskan dari cetakannya dengan cara mengangkat lembaran tipis dari salah satu sisi kearah horizontal secara pelan-pelan hingga seluruh permukaan bioplastik terlepas dari cetakannya. Setelah itu bioplastik tersebut siap untuk diuji karakteristik dan sifat mekaniknya.

2.5 Uji Karakteristik Bioplastik

Uji karakterisasi yang akan dilakukan adalah sifat mekanik (uji kuat tarik dan kuat robek), uji ketahanan terhadap air (*Water Uptake*), SEM, dan uji biodegradasi.

2.5.1 Uji Sifat Mekanik

Karakterisasi uji sifat mekanik bioplastik meliputi uji kuat tarik dan uji kuat robek. Adapun uji kuat tarik ini mengacu pada standar ASTM D882 dan pengujian kuat robek bertujuan untuk mengetahui ketahanan suatu bahan terhadap pembebanan pada titik lentur dan juga untuk mengetahui keelastisan suatu bahan. Adapun uji kuat robek ini mengacu pada standar JIS K 7128, method C.

2.5.2 Uji Morfologi

Struktur morfologi bioplastik dianalisis dengan menggunakan *scanning electron microscopy* yang mengacu pada standar JSM-6390A. Sampel dipotong dengan ukuran 1 cm x 1 cm dan diletakkan pada karbon tape. Tujuan analisis SEM ini adalah untuk melihat perserbaran fasa dari permukaan sampel bioplastik dan memeriksa agreasi *filler* kitosan didalam matriks.

2.5.3 Uji Biodegradabilitas

Uji biodegradabilitas dilakukan secara kualitatif dengan standar DIN EN ISO 846. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Soil Burial Test* yang bertujuan untuk mengetahui laju degradasi sampel oleh mikroorganisme sehingga dapat diketahui berapa waktu yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam mengurai sampel bioplastik. Pengujian dilakukan dengan memasukkan sampel bioplastik ukuran tertentu kedalam sampel tanah dan diukur pengurangan massa setiap harinya selama 1 minggu.

2.5.4 Uji Water Uptake

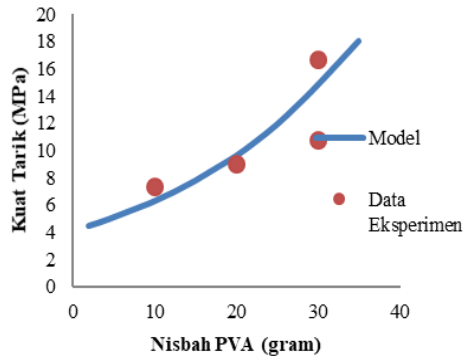
Pengujian *water uptake* bertujuan untuk mengetahui ketahanan bioplastik terhadap air dengan melihat seberapa besar air yang diserap sampel bioplastik didalam wadah berisi aquades kemudian membandingkannya dengan berat awal. Adapun uji *Water Uptake* ini mengacu pada standar ASTM-D570-98.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

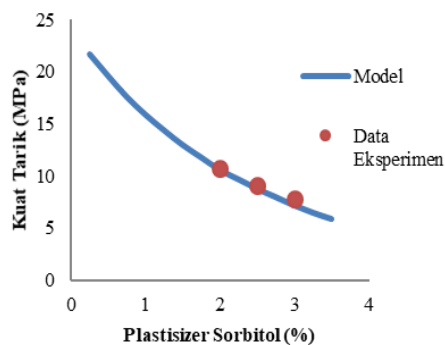
3.1 Kuat Mekanik

Kuat tarik merupakan ukuran besarnya beban atau gaya yang dapat ditahan sebelum suatu sampel rusak atau putus. Kekuatan tarik dipengaruhi oleh bahan pemplastis dan penguat yang ditambahkan dalam proses pembuatan bioplastik. Kuat tarik merupakan salah satu sifat mekanik biodegradable film yang sangat penting, karena biodegradable film yang memiliki kekuatan tarik tinggi akan mampu melindungi produk yang dikemasnya dari gangguan mekanis. Hasil

analisis variabel RSM menunjukkan pengaruh kondisi proses terhadap kuat tarik bioplastik. Pengaruh tersebut dapat dilihat dari koefisien persamaan kuadrat dari model kuat tarik dalam bentuk kode variabel.



Gambar 1. Perbandingan Nilai Kuat Tarik Hasil Perhitungan Model dengan Kuat Tarik Hasil Percobaan pengaruh nisbah PVA



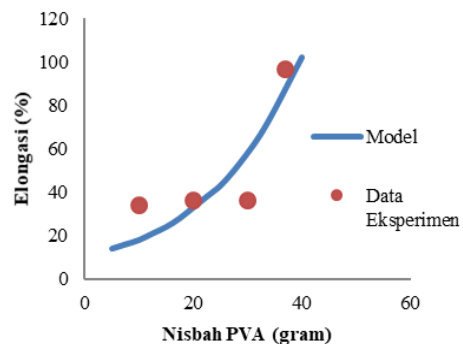
Gambar 2. Perbandingan Nilai Kuat Tarik Hasil Perhitungan Model dengan Kuat Tarik Hasil Percobaan pengaruh *plastisizer* sorbitol

Berdasarkan data ANOVA, Gambar 1. menunjukkan grafik respon permukaan nilai kuat tarik, PVA memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kenaikan nilai kuat tarik. Hal ini juga sesuai dengan yang disampaikan oleh Listiyaningsih (2013) yang menyatakan dengan bertambahnya komposisi PVA akan meningkatkan nilai kuat tarik bioplastik, hal ini dipengaruhi oleh ikatan hidrogen antar gugus fungsi NH_2 dari kitosan dan OH^- dari polivinil alkohol.

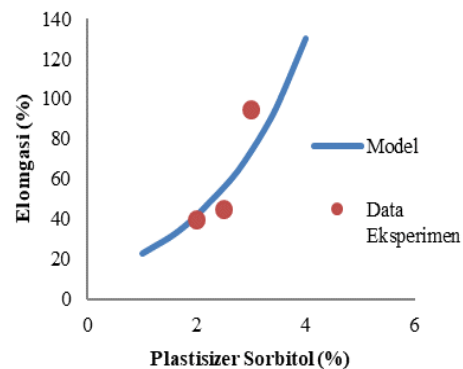
Pengaruh jumlah sorbitol dapat dilihat pada Gambar 2. menunjukkan grafik respon permukaan nilai kuat tarik, semakin

meningkatnya jumlah sorbitol akan menyebabkan nilai kuat tarik (*tensile strength*) semakin menurun. Menurunnya kuat tarik (*tensile strength*) akibat bertambahnya jumlah sorbitol juga terjadi pada penelitian Setiawan., dkk (2015). Semakin banyak jumlah sorbitol yang ditambahkan maka semakin rendah nilai kekuatan tarik yang dihasilkan. Hal tersebut dikarenakan molekul *plasticizer* akan mengganggu kekompakan pati, menurunkan interaksi hidrogen dan meningkatkan mobilitas polimer (Aisyah, 2017).

Elongasi merupakan regangan maksimum yang dialami bahan saat dikenai gaya. Hasil analisis variabel RSM menunjukkan pengaruh kondisi proses terhadap elongasi bioplastik. Pengaruh tersebut dapat dilihat dari koefisien persamaan kuadrat dari model elongasi dalam bentuk kode variabel.



Gambar 3. Perbandingan Nilai Elongasi Hasil Perhitungan Model dengan Elongasi Hasil Percobaan pengaruh nisbah PVA



Gambar 4. Perbandingan Nilai Elongasi Hasil Perhitungan Model dengan Elongasi Hasil Percobaan pengaruh Sorbitol

Berdasarkan data ANOVA, Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin meningkatnya *plasticizer* dan nisbah PVA menghasilkan elongasi (*elongation at break*) semakin tinggi. Listiyaningsih (2013) menyatakan bahwa PVA mempunyai elastisitas dan kekuatan tarik yang tinggi, hal ini menyebabkan persen pemanjangan semakin tinggi atau elastisitas semakin tinggi. Polimer yang dihasilkan semakin kuat dan kuat tarik intermolekulnya menjadi tinggi sehingga kemampuan merenggang dari bioplastik juga meningkat.

Kekuatan tarik dan persen elongasi semakin tinggi dengan bertambahnya massa PVA dan konsentrasi pati. peningkatan kekuatan tarik disebabkan pembentukan ikatan hidrogen antar molekul NH_3^+ pada stuktur kitosan dan OH^- pada PVA. Gugus amino (NH_2) akan diprotonasi menjadi NH_3^+ dalam larutan asam asetat dan gugus OH^- pada polivinil alkohol akan berikatan dengan NH_3^+ membentuk ikatan hidrogen. Semakin tinggi konsentrasi polivinil alkohol yang ditambahkan menyebabkan larutan menjadi sangat kental dan rantai menjadi panjang, hal ini terkait dalam penelitian listiyaningsih (2013) dan Setiawan (2015) semakin panjang rantai polimer pada sampel menyebabkan pelepasan rantai monomer yang tidak mudah sehingga mempunyai elastisitas yang tinggi begitu juga dengan penambahan *plasticizer* mampu mengurangi kerapuhan (meningkatkan nilai kuat tarik) dan meningkatkan elastisitas bioplastik karena ikatan hidrogen antara molekul polimer yang berdekatan sehingga kekuatan tarik menarik intermolekul rantai polimer menjadi bertambah.

Berdasarkan pengujian *tensile strength*, elongasi dan *modulus young*, nilai terbaik terdapat pada komposisi nisbah pati sagu 10 gram, nisbah polivinil alkohol 30 gram, kadar *plastisizer* sorbitol 3% (b/b), dan kadar *filler* kitosan 4% (b/b) komposit

dengan nilai kuat tarik 16,69 MPa, dan elongasi 94,77%. Selanjutnya dilakukan pengujian kuat robek pada sampel tersebut sebanyak 5 kali pengulangan, hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

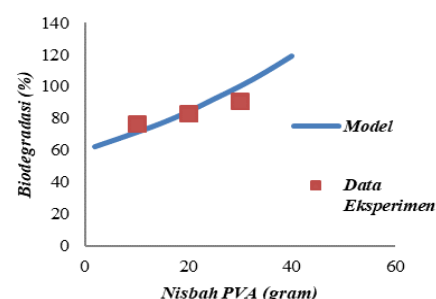
Tabel 1 Hasil Uji Kuat Robek Bioplastik

Test No	Thickness (mm)	Max Load (gf)	Tear Strength (Kgf/mm)
1	0,1900	2296,6	12,088
2	0,2123	2448,3	11,532
3	0,2173	2766,1	12,729
4	0,1830	1784,1	9,7490
5	0,2540	2949,1	11,610

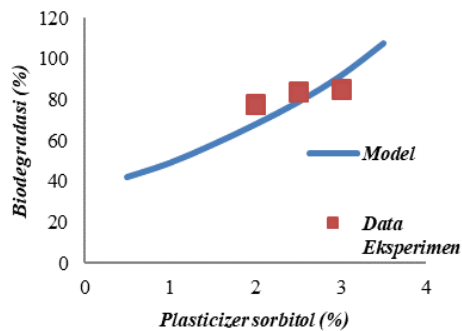
Berdasarkan hasil pengujian didapat nilai kuat robek tertinggi yaitu 12,729 kgf/mm. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat robek adalah komposisi komposit dan *plastisizer*. penambahan sorbitol sebagai *plastisizer* dan nisbah pati-PVA meningkatkan nilai elastisitas plastik yang juga dapat meningkatkan nilai dari kuat robek. Jika nilai kuat robek tertinggi 12,726 kgf/mm dibandingkan dengan standar SNI 4,9 kgf/mm, maka hasil pengujian telah memenuhi standar SNI bioplastik.

2.5.2 Biodegradabilitas

Biodegradabilitas bertujuan untuk mengetahui lama waktu yang dibutuhkan bioplastik agar dapat terurai di lingkungan. Hasil analisis RSM menunjukkan pengaruh variabel proses terhadap respon biodegradasi. Pengaruh tersebut dapat dilihat dari koefisien persamaan kuadratik dari model biodegradasi dalam bentuk kode variabel.



Gambar 6. Perbandingan Nilai Biodegradasi Hasil Perhitungan Model dengan Biodegradasi Hasil Percobaan Pengaruh PVA



Gambar 7. Perbandingan Nilai Biodegradasi Hasil Perhitungan Model dengan Biodegradasi Hasil Percobaan Pengaruh plasticizer sorbitol

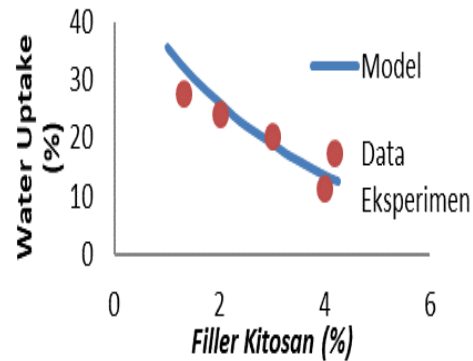
Berdasarkan data ANOVA, Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan bahwa semakin meningkatnya penambahan PVA dan sorbitol maka semakin mudah dan cepat bioplastik untuk didegradasi. Hal itu disebabkan karena pengaruh dari sorbitol dan PVA yang mempercepat waktu degradasi dan penurunan berat sampel. sorbitol dan PVA memiliki sifat hidrofilik yaitu mudah larut didalam air. Sorbitol memiliki sifat yang berbeda dengan kitosan. Sorbitol menyerap air yang terkandung di dalam tanah (Listiyaningsih, 2013).

2.5.3 Water Uptake

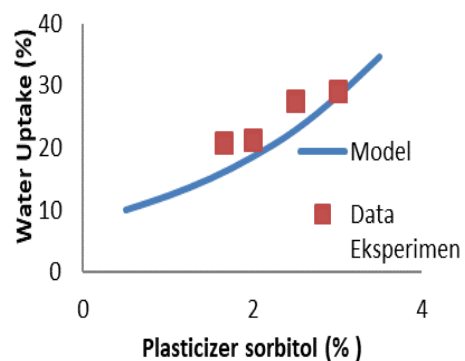
Water uptake sering juga disebut dengan daya serap air, di mana bioplastik yang diharapkan memiliki daya serap air yang rendah. Hasil analisis RSM menunjukkan pengaruh variabel proses terhadap respon *water uptake*. Pengaruh tersebut dapat dilihat dari koefisien persamaan kuadrat dari model *water uptake* dalam bentuk kode variable.

Berdasarkan data ANOVA, Gambar 8 dan 9 yang menunjukkan bahwa semakin meningkatnya *filler* menghasilkan nilai *water uptake* semakin rendah. Rendahnya nilai *water uptake* akibat bertambahnya *filler* juga terjadi pada penelitian Aisyah (2017). Hal ini disebabkan semakin besar kadar *filler* kitosan maka semakin banyak ikatan hidrogen yang terdapat dalam bioplastik sehingga ikatan kimianya akan

semakin kuat dan sulit untuk diputus karena memerlukan energi yang besar untuk memutuskan ikatan tersebut.



Gambar 8. Perbandingan Nilai *Water Uptake* Hasil Perhitungan Model dengan *Water Uptake* Hasil Percobaan pengaruh *filler* kitosan Pada *plasticizer* sorbitol 2,5% dan nisbah PVA 20 gram



Gambar 9. Perbandingan Nilai *Water Uptake* Hasil Perhitungan Model dengan *Water Uptake* Hasil Percobaan pengaruh *plasticizer* sorbitol Pada *Filler* 3% dan PVA 20 gram

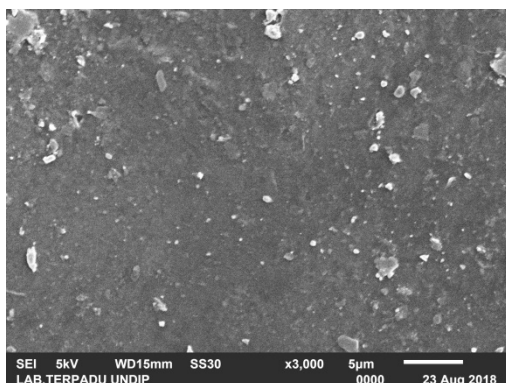
Selain itu, kitosan sebagai biopolimer telah memberikan sifat ketahanan air yang baik pada bahan bioplastik, dikarenakan sifat kitosan yang hidrofobik (tidak suka air) dan mudah mengalami biodegradasi. Sedangkan untuk *plasticizer* sorbitol, nilai *water uptake* berbanding lurus, hal ini karena sifat sorbitol yang hidrofilik sehingga dapat meningkatkan penyerapan air (Marbun, 2012).

Nilai *water uptake* yang didapat pada penelitian ini lebih tinggi dari yang didapat oleh Aisyah (2017) sebesar 10,59%. Hal ini disebabkan karena penelitian ini menggunakan *plasticizer* sorbitol dan adanya tambahan kadar PVA. Semakin

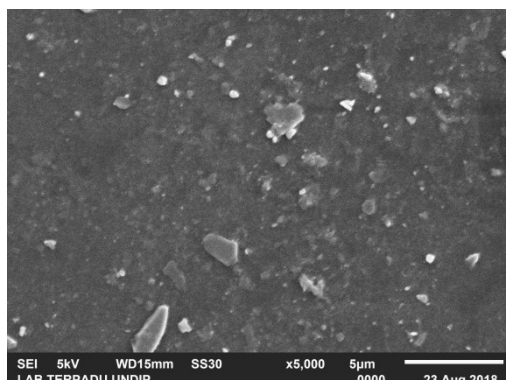
bertambahnya polivinil alkohol (PVA) maka nilai *water uptake* juga semakin meningkat, hal ini disebabkan gabungan dari pati dan PVA merupakan polimer yang bersifat hidrofilik karena sama-sama larut dalam air. Dalam penelitian Listiyaningsih (2013) menyatakan polivinil alkohol memiliki kemampuan yang tinggi untuk mengembang di dalam air.

2.5.4 Morfologi

Uji morfologi bioplastik secara langsung ditunjukkan dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui bentuk dan struktur permukaan dari sampel bioplastik. Hasil dari analisa SEM bioplastik dengan sifat mekanik terbaik yaitu pada kadar *filler* 4%, dan jumlah *plasticizer* sorbitol 3% diuji persebaran *fillernya* dengan menggunakan SEM, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 10.



a.



b.

Gambar 10. Hasil Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) a) Perbesaran 3000x; b) Perbesaran 10000x

Dari Gambar 10 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. Dibutuhkan kompatibilizer dan teknik pengadukan yang lebih baik seperti dengan menggunakan *ultrasonic processing* agar dapat meningkatkan persebaran *filler* (Marbun, 2012).

3. KESIMPULAN

Semakin bertambahnya nisbah PVA 10-30 gram b/b menghasilkan kuat tarik meningkat, yaitu 7,38-16,69 MPa dan elongasi, yaitu 40,02-36,38%. Penambahan jumlah *plasticizer* sorbitol 2-3% b/b menghasilkan kuat tarik menurun, yaitu 10,78-7,38 MPa dan berbanding terbalik dengan elongasi yang meningkat, 31,66-94,77%. Penambahan *plasticizer* sorbitol dan polivinil alkohol menghasilkan biodegradasi meningkat. Bioplastik dengan karakteristik terbaik diperoleh pada bioplastik dengan variasi nisbah PVA 30 gram, *filler* kitosan 4%b/b, dan jumlah *plasticizer* sorbitol 3% b/b di mana diperoleh nilai kuat tarik 16,69 MPa, elongasi 94,77%, kuat robek 12,729 kgf/mm, dan biodegradasi 78,29%. Hasil analisis SEM bioplastik menunjukkan permukaan polimer bioplastik terlihat homogen dengan ikatan silang pati-kitosan namun masih terdapat gelembung udara, pori dan retakan sehingga perlu digunakan teknik pengadukan yang lebih baik untuk meningkatkan persebaran *filler*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, U. R. 2017. Pengaruh Kadar Filler Kitosan dan Plasticizer Gliserol terhadap Sifat Dan Morfologi Bioplastik Berbasis Pati Sagu. Jurnal Online Mahasiswa Vol 4, No. 2. Universitas Riau.
- Bahmid, NA., Syamsu, K., dan Maddu, A. 2014. Production of Cellulose Acetate from Oil Palm Empty Fruit

- Bunches Cellulose. *J Chem Process Eng.* (17) :12-20.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2017. Statistik Perkebunan Indonesia Tahun 2015-2017. Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Kirk, R. E and Othmer, D. F. 1997. *Encyclopedia of Chemical Technology. Vol. 23, 4nd edition.* John Wiley & Sons Inc. New York
- Listiyaningsih, D. 2013. Penentuan Dan Karakterisasi Biofilm Pati Gembili-kitosan Dengan Plasticizer Polivinil Alkohol (PVA). *Jurnal Jurusan Kimia.* Universitas Negeri Semarang.
- Marbun, Eldo. 2012. Sintesis Bioplastik dari Pati Ubi Jalar Menggunakan Penguat Logam ZnO dan Penguat Alami Selulosa. *Jurnal Universitas Indonesia Vol 7.*
- Montgomery, C. D. 2013. *Design and Analysis of Experiments, 5th Edition.* John Wiley & Sons, Inc: New York.
- Setiawan, H., Faizal, R., dan Amrullah, A. 2015. Penentuan Kondisi Optimum Modifikasi Konsentrasi Plasticize Sorbitol PVA Pada Sintesa Plastik Biodegradable Berbahan Dasar Pati Sorgum Dan Kitosan Limbah Kulit Udang. *Jurnal Jurusan Biologi Vol. 13.* Universitas Negeri Semarang.