

KARAKTERISTIK BIOPLASTIK DARI KOMPOSIT LIMBAH CAIR TAHU (WHEY) DAN SERAT DAUN NANAS (*Ananas comosus*) DENGAN HIDROKOLOID CARBOXYMETHYL CELLULOSE (CMC)

Inka Novela¹⁾, Idral Amri²⁾, Irdoni HS²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, ²⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia,
Laboratorium Teknologi Bahan Alam dan Mineral
Program Studi Sarjana Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Simpang Baru, Panam,
Pekanbaru, 28293
Email: inkanovela1407119904@gmail.com

ABSTRACT

Bioplastics have different characteristics according to their raw materials. One of the raw materials that has the potential to be made into bioplastics is whey and pineapple fiber because it has high starch and cellulose content besides that it is easy to degrade. The general aim of this research are to study the impact of whey, pineapple leaf fiber and carboxymethyl cellulose in mechanical properties and morphology of bioplastic. The casting method in this research consist of whey, pineapple leaf fiber, and carboxymethyl cellulose with composition of whey (10-50% v / v), composition of pineapple leaf fiber (1-3 gr), and composition of carboxymethyl cellulose (2.5-4.5% b / v). The analysis of bioplastic characterization are biodegradability, tensile strength, elongation, modulus young, tear strength, Scanning Electron Microscopy (SEM) and hydrophobicity. The most react variable is the composition of pineapple leaf fiber followed by carboxymethyl cellulose and whey. The best process condition is found on bioplastic with composition whey 30% v/v, pineapple leaf fiber 1 gr and carboxymethyl cellulose 3.5% b/v with the value is biodegradation time for 23 days, tensile strength 15.85 MPa, elongation 18.24%, modulus young 86.9 MPa, tear strength strength 690.63 gf/mm and hydrophobicity 6.818%. Micrograf analysis shows that filler distribution is not equally on whey matrices and still has a clod.

Keywords: *bioplastic, cellulose, pineapple leaf fiber, whey*

1. PENDAHULUAN

Plastik merupakan polimer sintesis dari minyak bumi atau petrokimia yang sulit terurai secara biologis oleh bakteri dan mikroba. Plastik yang tidak terurai menyebabkan penumpukan limbah plastik dalam jumlah besar. Penumpukan limbah plastik dalam skala besar dapat menimbulkan masalah pencemaran lingkungan yang serius karena plastik membutuhkan waktu bertahun-tahun untuk dapat terurai (Syamsu dkk, 2008). Apabila plastik dibakar akan menghasilkan asap beracun seperti dioksin yang dapat memicu kanker dan gangguan saraf (Tanaga, 2010). Berdasarkan hal tersebut, dibutuhkan kemasan plastik berbahan baku

organik bersifat mudah terurai atau biodegradabel.

Bioplastik merupakan nama lain dari plastik biodegradabel. Bioplastik adalah plastik yang sifat mekaniknya menyerupai plastik konvensional, namun akan terurai oleh aktivitas mikroorganisme menjadi biomassa, H₂O, CO₂, dan atau CH₄. Degradasi plastik adalah pemutusan molekul plastik dari rantai panjang menjadi lebih pendek. Biodegradasi adalah proses dimana suatu senyawa dipecah menjadi senyawa yang lebih sederhana oleh aktivitas mikroba yang terdapat di alam (bakteri, *fungi* atau jamur dan *algae*). Beberapa contoh mikroorganisme pengurai bioplastik antara lain, *Sphingomonas*,

Pseudomonas, *Lactobacillus* sp, *Streptomyces* sp, *Actinomycetes*, *Clostridium tetani*, *Bacillus megaterium*, *Azotobacter*, *Ralstonia eutropha* dan *Halomonas* sp.

Karena sifatnya yang dapat terurai, bioplastik merupakan bahan plastik yang ramah lingkungan (Kaplan dkk, 1994). Bioplastik merupakan alternatif untuk menggantikan plastik kemasan konvensional agar tidak mencemari lingkungan. Bioplastik terbuat dari bahan baku terbarukan seperti selulosa, pati, minyak nabati, dan mikrobiota.

Serat daun nanas, limbah cair tahu (*whey*) dan *carboxymethyl cellulose* (CMC) dapat dijadikan alternatif bahan baku pembuatan plastik biodegradabel. Dikarenakan Riau merupakan salah satu daerah penghasil nanas varietas *Queen* dengan luas 800 hektar dan jumlah produksi 9000 ton/tahun dan memiliki 183 industri tahu maka kebutuhan serat daun nanas dan limbah cair tahu (*whey*) sebagai bahan baku pembuatan bioplastik dapat dipenuhi. Sedangkan *carboxymethyl cellulose* (CMC) merupakan polimer hidrokoloid dan dapat dibuat dari bahan baku yang ketersediannya melimpah di Riau seperti pelepah sawit.

Penelitian ini diharapkan dapat menambahkan nilai guna dari limbah cair tahu (*whey*) dan serat daun nanas yang tidak dapat dikonsumsi atau digunakan sebagai bahan makanan. Sedangkan hasil penelitian ini diharapkan dapat mensintesis bioplastik berbasis limbah cair tahu (*whey*), *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan serat daun nanas.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat daun nanas, gliserol, kitosan, *aquadest*, limbah cair tahu (*whey*) dan CMC (*Carboxymethyl Cellulose*).

Alat - alat yang digunakan adalah neraca analitik, *hot plate*, *stirrer*, termometer, gelas piala 250 ml, gelas piala

500 ml, gelas ukur 10 ml, gelas ukur 100 ml, batang pengaduk, cetakan kaca, pipet tetes, mesin dekortikator dan penangas air. Instrumen uji karakteristik antara lain COM – TEN *testing machine* 95 T series, UCTSeries dan *Scanning Elektron Microscopy* (SEM) JSM-IT300.

2.2 Pengolahan Serat Daun Nanas

Daun nanas tua yang telah dibersihkan sebanyak satu kg disortir berdasarkan ukuran. Daun nanas yang telah dipilih dan mempunyai panjang yang sama disusun secara sejajar dan dimasukkan ke dalam mesin Dekortikator untuk dilakukan proses penggilingan. Penggilingan ini bertujuan untuk memisahkan antara daging daun dan serat. Setelah dilakukan penggilingan, serat direndam selama 15 menit menggunakan air dan dilakukan pengerokan dengan pisau tumpul (pembersihan daging daun dari serat). Kegiatan merendam serat dan pengerokan dilakukan *triplo* agar didapat serat yang bersih. Setelah serat bersih dilakukan penjemuran dibawah sinar matahari selama 1 hari agar diperoleh serat yang kering. Setelah proses pengeringan maka didapat serat daun nanas murni.

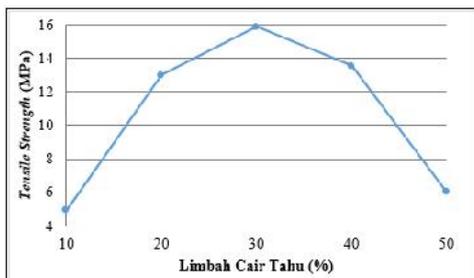
2.3 Pembuatan Plastik Biodegradabel

Pembuatan plastik biodegradabel ini mengacu kepada Fransisca dkk (2013) dan Zuwana dkk (2017). Pembuatan plastik biodegradabel diawali dengan proses pemanasan limbah cair tahu (*whey*) sesuai variabel, 1 gr serat daun nanas yang telah dihaluskan menyerupai serbuk dan *aquadest* 100 ml hingga temperatur 60 °C kemudian ditambahkan 1,5 % (b/v) kitosan, CMC sesuai variabel dan 5 % (v/v) gliserol pada temperatur 70 °C dengan kecepatan pengadukan 200 rpm selama 30 menit. Setelah larutan homogen kemudian dituangkan keatas cetakan kaca dengan ukuran 22 cm x 22 cm x 0,05 cm dan dikeringkan selama 48 jam dalam suhu ruangan. Kemudian bioplastik dipisahkan dari cetakan dan dilakukan pengujian karakteristik bioplastik.

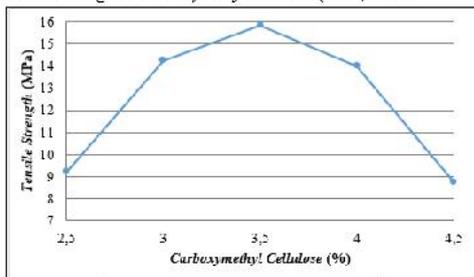
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Sifat Mekanik

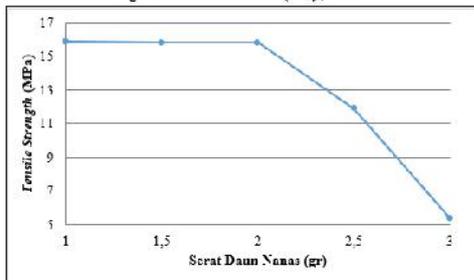
Tujuan dari pengujian sifat mekanik pada tahap ini adalah untuk mengetahui karakteristik sifat mekanik terbaik dari bioplastik dengan variasi konsentrasi limbah cair tahu (*whey*), serat daun nanas (*Ananas comosus*) serta *carboxymethyl cellulose* (CMC). Adapun hasil uji *tensile strength* bioplastik dapat dilihat pada Gambar 1,2 dan 3.



Gambar 1 Hasil uji *tensile strength* bioplastik pada variasi konsentrasi limbah cair tahu, *aquades* 100 ml, gliserol 5 %, kitosan 1.5 %, serat daun nanas 1 gr dan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) 3.5 %



Gambar 2 Hasil uji *tensile strength* bioplastik pada variasi konsentrasi *carboxymethyl cellulose*, *aquades* 100 ml, gliserol 5 %, kitosan 1.5 %, serat daun nanas 1 gr dan limbah cair tahu (*whey*) 30%

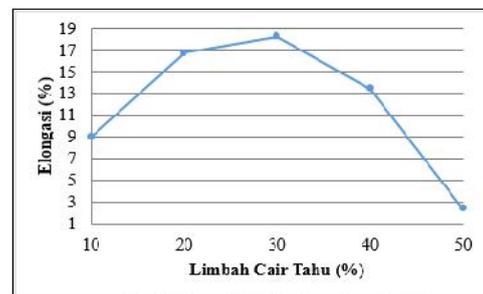


Gambar 3 Hasil uji *tensile strength* bioplastik pada variasi berat serat daun nanas, *aquades* 100 ml, gliserol 5 %, kitosan 1.5 %, limbah cair tahu (*whey*) 30 % dan *carboxymethyl cellulose* (CMC) 3.5 %

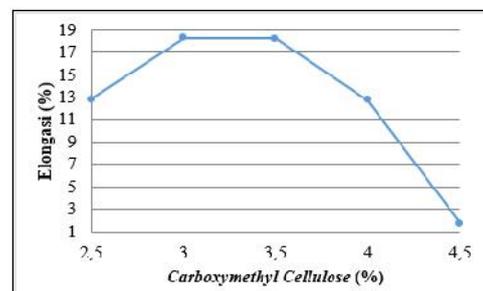
Berdasarkan Gambar 1, 2 dan 3 nilai *tensile strength* tertinggi terdapat pada komposisi *whey* 30%, serat daun nanas 1 gr dan CMC 3.5%, sedangkan nilai *tensile strength* terendah terdapat pada komposisi *whey* 10%, serat daun nanas 1 gr dan CMC 3.5%. Menurut Zuwanna dkk, (2017) pada titik jenuh senyawa – senyawa organik terdispersi merata dan berinteraksi diantara

struktur rantai polimer (campuran serat, CMC, gliserol dan kitosan) yang menyebabkan rantai – rantai polimer lebih sulit bergerak. Rantai – rantai polimer yang sulit bergerak dikarenakan adanya gaya intermolekul antar rantai pada campuran tersebut. Pada komposisi maksimum, semua senyawa organik tersebut dapat berinteraksi dengan rantai polimer. Hal inilah yang menyebabkan nilai *tensile strength* bioplastik pada kondisi terbaik. Tetapi bila konsentrasi senyawa organik tersebut ditingkatkan maka mengakibatkan nilai *tensile strength* menjadi menurun. Menurunnya nilai *tensile strength* disebabkan rantai polimer tidak mampu lagi untuk mengikat senyawa organik. Senyawa organik yang berada pada fase tersendiri diluar fase polimer akan menurunkan gaya intermolekuler sehingga bioplastik yang dihasilkan keras dan rapuh.

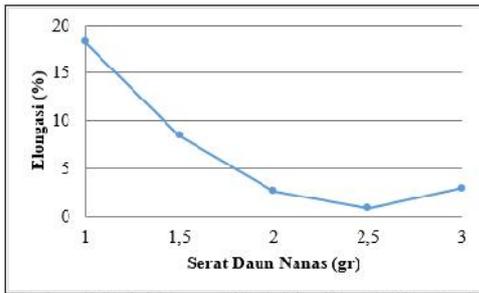
Adapun hasil uji elongasi bioplastik dapat dilihat pada Gambar 4, 5 dan 6.



Gambar 4 Hasil uji elongasi bioplastik pada variasi konsentrasi limbah cair tahu, *aquades* 100 ml, gliserol 5 %, kitosan 1.5 %, serat daun nanas 1 gr dan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) 3.5 %



Gambar 5 Hasil uji elongasi bioplastik pada variasi konsentrasi *carboxymethyl cellulose*, *aquades* 100 ml, gliserol 5 %, kitosan 1.5 %, serat daun nanas 1 gr dan limbah cair tahu (*whey*) 30 %



Gambar 6 Hasil uji elongasi bioplastik pada variasi berat serat daun nanas, aquadest 100 ml, gliserol 5 %, kitosan 1.5 %, limbah cair tahu (whey) 30 % dan carboxymethyl cellulose (CMC) 3.5 %

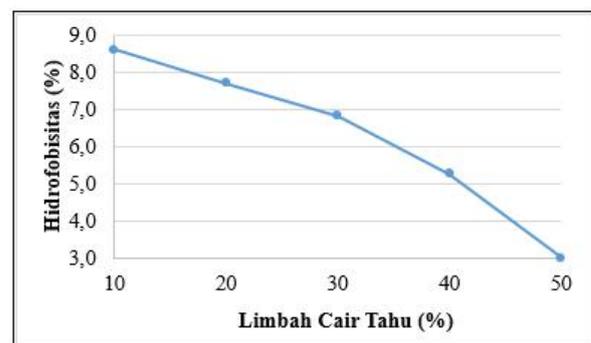
Berdasarkan Gambar 4, 5 dan 6 nilai *elongasi* tertinggi terdapat pada komposisi *whey* 30%, serat daun nanas 1 gr dan CMC 3%, sedangkan nilai *elongasi* terendah terdapat pada komposisi *whey* 30%, serat daun nanas 2.5 gr dan CMC 3.5%. Menurut Fransisca dkk, (2013) kelebihan komposisi matrik dan filler dalam suatu komposit akan menurunkan nilai elongasi dan mengakibatkan bioplastik yang dihasilkan keras dan rapuh. Untuk mengurangi sifat keras dan rapuh pada bioplastik maka ditambahkan gliserol (*plasticizer*). Penambahan gliserol pada bioplastik dapat meningkatkan nilai elongasi pada bioplastik karena gliserol dapat membentuk ikatan hidrogen antar molekul polimer yang berdekatan sehingga kekuatan tarik menarik intermolekul rantai polimer menjadi berkurang. Pada penelitian ini disaat penambahan limbah cair tahu (*whey*) sebanyak 50 % terdapat kelebihan komposisi matrik sehingga nilai elongasi dari bioplastik yang dihasilkan mengalami penurunan. Sedangkan pada kondisi matrik yang paling sedikit yaitu 10% (fraksi *plasticizer* terbanyak) nilai elongasi tidak menunjukkan hasil yang terbaik, hal ini menandakan penambahan *plasticizer* yang berlebih juga dapat menurunkan nilai elongasi. Penambahan *plasticizer* yang berlebih dapat menurunkan kekuatan dan jarak ikatan antar molekul bioplastik sehingga plastik yang dihasilkan akan mudah sobek.

Berdasarkan pengujian *tensile strength*, elongasi dan *modulus young* nilai terbaik maka dilakukan pengujian kuat sobek pada sampel tersebut. Berdasarkan hasil pengujian didapat nilai kuat sobek

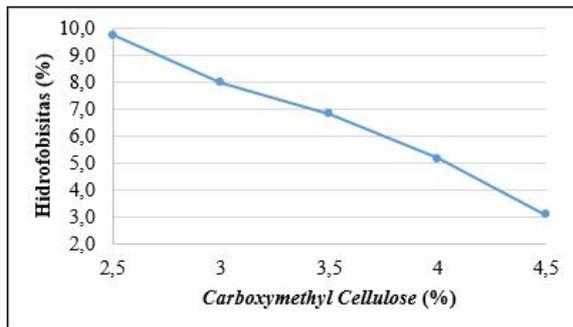
tertinggi yaitu 6.906 kgf. Faktor – faktor yang mempengaruhi kuat sobek adalah komposisi komposit dan *plasticizer*. Dalam penelitian ini komposisi dari komposit salah satunya adalah *filler* terbuat dari serat daun nanas. Serat daun nanas meliputi selulosa, hemiselulosa dan lignin. Bahan yang mengandung selulosa akan menghasilkan lembaran plastik yang lebih kuat dibandingkan yang terbuat dari pati. Hal ini dikarenakan ikatan selulosa yang besar memiliki sifat kekuatan tarik dan kekuatan sobek yang tinggi. Selulosa memiliki ikatan – ikatan hidrogen yang kuat mempunyai kekuatan tarik yang tinggi dan tidak mudah larut dalam kebanyakan pelarut. Selain itu penambahan gliserol sebagai *plasticizer* meningkatkan nilai elastisitas plastik yang juga dapat meningkatkan nilai dari kuat sobek.

3.2 Uji Hidrofobisitas

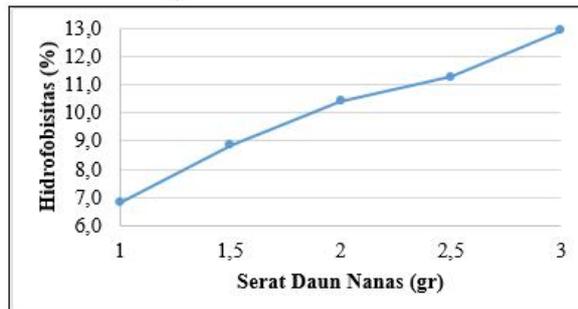
Pengujian hidrofobisitas bertujuan untuk mengetahui kemampuan bioplastik untuk menahan serapan air. Semakin besar daya serap air maka plastik kurang mampu melindungi produk dari air, yang menyebabkan produk cepat rusak atau berkurang kualitasnya. Hasil pengujian hidrofobisitas dapat dilihat pada Gambar 7, 8 dan 9.



Gambar 7 Pengaruh penambahan limbah cair tahu, aquadest 100 ml, gliserol 5 %, kitosan 1.5 %, serat daun nanas 1 gr dan carboxymethyl cellulose (CMC) 3.5 %



Gambar 8 Pengaruh penambahan *carboxymethyl cellulose*, *aquadest* 100 ml, gliserol 5 %, kitosan 1.5 %, limbah cair tahu (*whey*) 30 % dan serat daun nanas 1 gr



Gambar 9 Pengaruh penambahan serat daun nanas, *aquadest* 100 ml, gliserol 5 %, kitosan 1.5 %, limbah cair tahu (*whey*) 30 % dan *carboxymethyl cellulose* (CMC) 3.5 %

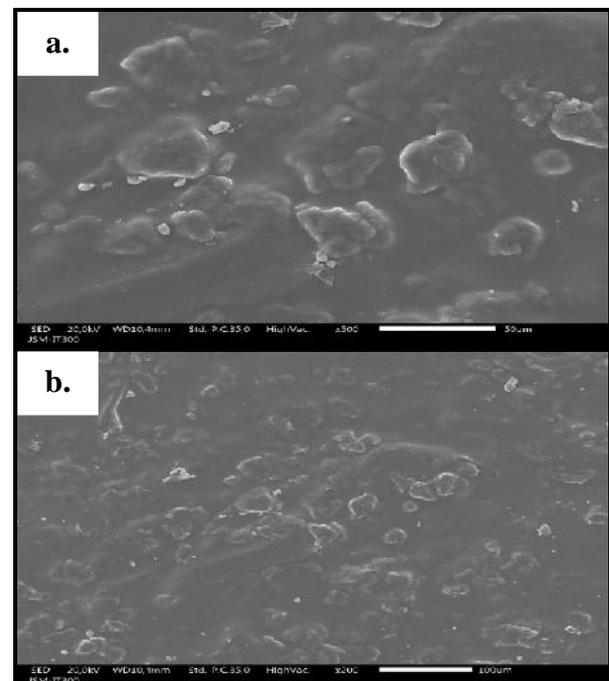
Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 7, 8 dan 9 secara umum plastik memiliki daya tahan yang buruk terhadap air. Daya tahan plastik yang buruk dapat dipengaruhi oleh penambahan bahan hidrokoloid dan plastisizer kedalam komposit. Hidrokoloid dan plastisizer merupakan bahan yang hidrofilik, sehingga menyebabkan air dapat dengan mudah diserap oleh bioplastik. Hidrofobisitas terbaik pada penelitian ini didapat pada *run* ke-15 gr serat daun nanas dengan nilai 12.903 %. Sedangkan hidrofobisitas terburuk pada penelitian ini didapat pada *run* ke-5 dengan nilai 3.008 %.

Komposisi variabel yang memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai hidrofobisitas adalah berat serat selulosa yang ditambahkan. Peningkatan nilai hidrofobisitas pada setiap penambahan serat daun nanas terjadi karena serat daun nanas bersifat hidrofobik dan tidak larut dalam air maupun pelarut organik. Ditinjau dari struktur kimia, selulosa memiliki ikatan hidrogen yang kuat

sehingga sulit untuk berikatan dengan molekul air (Darni dan Utami, 2010).

3.3 Uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Pengujian *scanning electron microscopy* (SEM) dilakukan untuk mengetahui bentuk dan struktur permukaan dari sampel bioplastik. Hasil dari analisa *scanning electron microscopy* (SEM) pada sampel dengan komposisi 30 % *whey*, 1 gr serat daun nanas dan 3.5 % *carboxymethyl cellulose* (CMC) menunjukkan hasil mikrograf bioplastik yaitu persebaran dari bahan bioplastik yang dapat dilihat pada Gambar 10,



Gambar 10. Mikrograf *scanning electron microscopy* (SEM) perbesaran a. 500x; b. 2000x

Berdasarkan Gambar 10 dapat dilihat adanya aglomerasi atau penumpukan komponen serat di satu titik. Aglomerasi pada matriks limbah cair tahu (*whey*) dapat mengakibatkan tidak meratanya persebaran dari filler yang ditambahkan sehingga mengakibatkan hasil analisa sampel bioplastik tidak maksimal. Hal ini didukung oleh teori yang menyatakan bahwa peningkatan ukuran partikel bahan pengisi

menyebabkan terbentuknya aglomerat yang besar pada partikel pengisi. Ketika tingkat aglomerasi meningkat, maka interaksi antara pengisi dan matriks menjadi lemah. Selain itu, penurunan nilai kuat tarik juga dapat disebabkan oleh ketidak mampuan pengisi mendukung transfer

3.4 Hasil dan Analisis Uji Biodegradabilitas

Pengujian biodegradabilitas bertujuan untuk mengetahui laju degradasi bioplastik sehingga dapat diperkirakan berapa lama waktu yang dibutuhkan bioplastik hingga terurai. Uji biodegradabilitas dilakukan dengan *soil burial test*. Tanah yang digunakan merupakan tanah humus yang digunakan untuk penanaman bibit tanaman. Sampel berupa film bioplastik ditanamkan pada tanah dengan asumsi komposisi tanah sama. Tanah yang digunakan memiliki nilai pH rata – rata 6.2.

Hasil pengujian biodegradabilitas selama 16 hari dapat dilihat pada Tabel 1,

Tabel 1. Hasil pengujian biodegradabilitas bioplastik

Run	Wo (gr)	Hari Ke-		Biodegradasi (%)
		2	16	
1	0.361	0.323	0.071	80.39%
2	0.385	0.344	0.074	80.67%
3	0.352	0.312	0.061	82.61%
4	0.375	0.328	0.049	86.82%
5	0.140	0.120	0.010	93.10%
6	0.471	0.423	0.114	75.83%
7	0.426	0.382	0.088	79.31%
8	0.352	0.312	0.061	82.61%
9	0.579	0.513	0.083	85.74%
10	0.517	0.457	0.058	88.71%
11	0.352	0.312	0.061	82.61%
12	0.402	0.360	0.113	71.93%
13	0.331	0.298	0.119	64.13%
14	0.379	0.347	0.155	59.23%
15	0.405	0.372	0.173	57.21%

Berdasarkan Tabel 1 laju degradasi bioplastik paling cepat terdapat pada *run* ke 5 dengan laju degradasi 93.10 % pada hari ke-16. Sedangkan laju degradasi bioplastik paling lama terdapat pada *run* ke-15 dengan laju degradasi 57.21 % pada hari ke-16. Menurut Widyaningsih dkk (2012), bahwa degradasi polimer digunakan untuk menyatakan perubahan fisik akibat reaksi kimia yang mencakup pemutusan ikatan dalam molekul. Reaksi degradasi kimia dalam polimer linier menyebabkan turunnya berat molekul atau pemendekan panjang rantai yang dikatalisis oleh mikroorganisme. Laju degradasi juga dipengaruhi oleh tingkat absorpsi air oleh bahan polimer, karena air dapat memberikan ruang kondusif bagi mikroorganisme yang ada pada lingkungan untuk memasuki matriks plastik. Berdasarkan Tabel 1 laju degradasi semakin cepat pada *run* ke-1 sampai 10 dengan adanya variasi penambahan limbah cair tahu (*whey*) dan *carboxymethyl cellulose* (CMC) pada komposisi bioplastik. Hal ini terjadi karena limbah cair tahu (*whey*) dan *carboxymethyl cellulose* (CMC) memiliki sifat hidrofilik sehingga dengan penambahan bahan tersebut tingkat absorpsi air semakin tinggi dan dapat memberikan ruang kondusif untuk perkembangan mikroorganisme.

Sedangkan respon yang berbeda diberikan saat penambahan serat daun nanas. Hasil uji degradasi pada variasi penambahan serat daun nanas mengalami penurunan kecepatan degradasi. Hal ini sesuai dengan hasil hidrofobisitas yang meningkat dengan penambahan serat daun nanas. Dengan meningkatnya nilai hidrofobisitas maka bioplastik yang dihasilkan memiliki tingkat absorpsi yang rendah terhadap air. Tingkat absorpsi yang rendah terhadap air mengakibatkan berkurangnya ruang bagi mikroorganisme untuk berkembang. Jika dilihat dari struktur kimia serat daun nanas, serat daun nanas merupakan polimer yang memiliki ikatan kompleks mulai dari selulosa, hemiselulosa dan adanya lignin pada komponen

polimernya. Semakin kompleknya struktur sebuah polimer maka pemutusan rantai polimer oleh bakteri yang terdapat dalam tanah terjadi semakin lama.

Selanjutnya pengujian dilakukan untuk mengetahui lama waktu degradasi bioplastik yang memiliki spesifikasi terbaik. Penelitian ini dilakukan pada sampel bioplastik dengan variasi penambahan limbah cair tahu (*whey*) 30 %, *carboxymethyl cellulose* (CMC) 3.5 % dan serat daun nanas 1 gr. Hasil uji menunjukkan bioplastik 100 % terdegradasi pada hari ke 23, dengan penurunan susut bobot paling cepat pada hari ke-6 sampai hari ke-16 dan mengalami penurunan laju degradasi pada hari ke 16 sampai 23. Sedangkan untuk bioplastik yang tidak mengalami perlakuan, disimpan dalam map pada suhu ruangan tidak mengalami degradasi selama 2 bulan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai karakteristik bioplastik dari komposit limbah cair tahu (*whey*) dan serat daun nanas (*Ananas comosus*) dengan hidrokoloid *carboxymethyl cellulose* (CMC) dapat disimpulkan bahwa, bioplastik dapat disintesis dari limbah cair tahu (*whey*), serat daun nanas dan *carboxymethyl cellulose* (CMC).

Komposisi masing - masing variabel memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan nilai karakteristik bioplastik. Penambahan limbah cair tahu (*whey*) dan *carboxymethyl cellulose* (CMC) dapat mempercepat waktu biodegradabilitas, menaikkan nilai kuat tarik (*tensile strength*) pada konsentrasi optimum, menaikkan nilai kemuluran (*Elongasi*) pada konsentrasi optimum, menaikkan nilai elastisitas (*modulus young*) dan menurunkan nilai hidrofobisitas.

Penambahan serat daun nanas menaikkan nilai kuat tarik (*tensile strength*) pada konsentrasi optimum, menaikkan nilai kemuluran (*Elongasi*)

pada konsentrasi optimum, menaikkan nilai elastisitas (*modulus young*) dan menaikkan nilai hidrofobisitas.

Bioplastik dengan karakteristik terbaik diperoleh pada bioplastik dengan variasi limbah cair tahu (*whey*) 30 %, serat daun nanas 1 gr dan *carboxymethyl cellulose* (CMC) 3.5 % dimana diperoleh waktu biodegradabilitas selama 23 hari, nilai kuat tarik (*tensile strength*) 15.85 MPa, nilai kemuluran (*Elongasi*) 18.24 %, nilai elastisitas (*modulus young*) 86.9 MPa, nilai kuat sobek (*tear strength*) 6.906 kgf dan nilai hidrofobisitas 6.818 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Adryani, R. Maulida. 2014. Pengaruh Ukuran Partikel dan Komposisi Abu Sekam Padi Hitam Terhadap Sifat Kekuatan Tarik Komposit Poliester Tidak Jenuh. *Jurnal Teknik Kimia USU* 3(4): 31-36.
- Darni, Y., dan H. Utami. 2010. Studi Pembuatan dan Karakteristik Sifat Mekanik dan Hidrofobisitas Bioplastik dari Pati Sorgum. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 7(4): 88-93.
- Fransisca, D. Zulferiyenni, dan Susilawati. 2013. Pengaruh Konsentrasi Tapioka Terhadap Sifat Fisik Biodegradable Film dari Bahan Komposit Selulosa Nanas. *Skripsi*. Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Kaplan, D., J. M. Mayer, D., Ball, McMassie, J., A. L. Allen, dan Stenhouse. 1994. *Fundamental of Biodegradable Polymer*. Tchnomic Publishing Company Inc. Pennsylvania USA.
- Syamsu, K., S. Krisnani, dan A. K. Arban. 2008. Pengaruh Penambahan Pelmastis (Polietilen Glikol 400, Dietil Glikol Dan Dimetil Ftalat) Terhadap Proses Biodegradasi Bioplastik Poli-B-Hidroksialkanoat Pada Media Cair Dengan Udara

- Tereliminasi. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 4(1): 1-15.
- Tanaga, N. 2010. Analisis Kelayakan Ekspansi Investasi Mesin Pengolah Limbah Plastik Pada PT. MIKE MEILINDO TANAGA. *Skripsi*. Fakultas Ekonomi dan Bisnis. Jurusan Manajemen. Universitas Bina Nusantara. Jakarta: 96.
- Widyaningsih, S., K. Dwi, dan T. Yuni, N. 2012. Pengaruh Penambahan Sorbitol dan Kalsium Karbonat Terhadap Karakteristik dan Sifat Biodegradasi Film dari Pati Kulit Pisang. *Jurnal Teknologi dan Industri Hasil Pertanian*. 14(1): 61-67.
- Zuwanna, I. Fitriani, dan Hesti, M. 2017. Pengemasan Makanan Ramah Lingkungan Berbasis Limbah Cair Tahu (Whey) Sebagai Edible Film. *Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana*. Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh.