



Optimasi Penambahan Gliserol sebagai *Plasticizer* pada Sintesis Plastik *Biodegradable* dari Limbah Nata de Coco dengan Metode Inversi Fasa

Claudia Candra Setyaningrum, Kholisoh Hayati, Siti Fatimah*

Jurusan Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. Ahmad Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Kartasura, Sukoharjo, Indonesia

*E-mail: sf120@ums.ac.id

ABSTRAK

Limbah nata de coco merupakan nata yang tidak dapat dijadikan sebagai produk setelah proses sortasi sehingga menghasilkan limbah padat dan jarang dimanfaatkan. Kandungan selulosa pada limbah padat nata de coco sebesar 42,57%. Tujuan penelitian ini membuat plastik *biodegradable* dengan hasil limbah nata de coco dengan penambahan *plasticizer*. Metode yang digunakan pada pembuatan plastik *biodegradable* ini adalah metode inversi fasa dengan variasi berat selulosa 2%; 2,5%; dan 3% (b/v), variasi volume gliserol sebesar 2%, 3%, dan 5% (v/v), dan penambahan kitosan sebagai penguat. Karakteristik plastik *biodegradable* diuji menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*) dan FTIR (*Fourier-Transform Infrared Spectroscopy*). Plastik *biodegradable* yang dihasilkan dari berbagai perbandingan berat selulosa dan volume gliserol memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Plastik *biodegradable* dengan karakteristik optimal memiliki nilai kuat tarik optimal sebesar 4,34 MPa, nilai elongasi optimal sebesar 4,44% dan nilai ketahanan air optimal sebesar 65,20%. Pada analisis gugus fungsi menggunakan FTIR menunjukkan tidak ditemukan adanya gugus fungsi baru dalam plastik *biodegradable* selain gugus fungsi bahan pembentuknya. Pada uji biodegradabilitas, diperoleh nilai biodegradabilitas sebesar 80% – 100% setelah ditimbun di dalam tanah selama 14 hari.

Kata kunci: Gliserol, limbah nata de coco, metode inversi fasa, plastik *biodegradable*.

ABSTRACT

Nata de coco waste is nata that cannot be used as a product after the sorting process so that it produces solid waste and is rarely utilized. The cellulose content in nata de coco solid waste is 42.57%, the purpose of this study is to make biodegradable plastic with the results of nata de coco waste by adding plasticizers. The method used in the manufacture of biodegradable plastics is the phase inversion method with cellulose weight variation; 2%; 2.5%; and 3% (w / v), variations in the volume of glycerol by 2%, 3%, and 5% (v/v), and the addition of chitosan as an amplifier. The biodegradable plastic characteristics were tested using UTM (Universal Testing Machine) and FTIR (Fourier-Transform Infrared Spectroscopy). Biodegradable plastics that are produced from various weight cellulose and glycerol volume ratios have different characteristics. Biodegradable plastic with optimal characteristics has an optimal tensile strength value of 4.34 MPa, optimal elongation value of 4.44% and an optimal water resistance value of 65.20%. In the analysis of functional groups (FTIR) no new functional groups were found in biodegradable plastics in addition to the functional groups forming materials. In the biodegradability test, a biodegradability value of 80% - 100% is obtained after being buried in the ground for 14 days.

Keywords: Biodegradable plastic, glycerol, nata de coco waste, phase inversion method.

1. PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan lingkungan di dunia terutama di Indonesia adalah sampah plastik.

Menurut data statistik persampahan di Indonesia dari Deputi Pengendalian Pencemaran Kementerian Negara Lingkungan

Hidup (KLH) pada tahun 2008, menyebutkan bahwa berdasarkan estimasi terhadap 26 kota metropolitan dengan total penduduk 40,1 juta jiwa menghasilkan 14,1 juta ton sampah. Berbagai upaya penanggulangan sampah plastik telah dilakukan, salah satunya dengan mengembangkan plastik *biodegradable* [1]. Plastik *biodegradable* merupakan plastik yang dapat terurai oleh mikroorganisme. Plastik *biodegradable* dapat terbuat dari bahan alam yang memiliki kandungan selulosa/pati [2]. Plastik *biodegradable* dari selulosa memiliki sifat *biodegradable* dan dapat terurai hingga 67% dalam waktu 2 – 3 minggu pada media *sludge* aktif pengolahan air limbah [3]. Dalam penelitian ini, sumber selulosa yang digunakan berasal dari limbah nata de coco, dikarenakan adanya kandungan selulosa 42,57% dalam limbah nata de coco. Limbah nata de coco merupakan nata yang tidak dapat dijadikan sebagai produk setelah proses sortasi sehingga menghasilkan limbah padat [4].

Metode yang digunakan adalah teknik inversi fasa, yaitu dengan menguapkan pelarut yang telah dicetak pada plat kaca. Teknik inversi fasa merupakan proses perubahan terkendali polimer dari fasa cair menjadi fasa padat. Prinsip perubahan ini didasarkan pada prinsip termodinamika larutan yang pada keadaan awal larutan stabil kemudian terjadi ketidakstabilan pada tahap perubahan fasa (*demixing*) dari cair menjadi padat. Perubahan fasa diawali dengan perubahan pada satu lapisan larutan menjadi dua lapisan. Salah satu lapisan yang berkonsentrasi tinggi (polimer) akan menjadi padat sedangkan lapisan yang berkonsentrasi rendah (pelarut) akan menguap [5]. Dalam proses pembuatannya, ditambahkan kitosan dan *plasticizer* gliserol. *Plasticizer* gliserol berfungsi untuk meningkatkan elastisitas dengan mengurangi derajat ikatan hidrogen dan meningkatkan jarak antara molekul dari polimer [4]. Penggunaan kitosan sebagai

penguat dari plastik *biodegradable* bertujuan untuk memperbaiki sifat fisik, sifat mekanik dan melindungi film plastik dari mikroorganisme yang dapat merusak film plastik [6].

Terdapat beberapa penelitian yang sudah dilakukan dengan menggunakan metode inversi fasa. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Andiayani, dkk. (2018) menyatakan bahwa metode yang digunakan untuk pembuatan plastik ramah lingkungan adalah metode inversi fasa yaitu teknik pengupuan pelarut (*solvent casting*). Teknik ini dipilih karena sederhana [7].

Yuspitasari, dkk. (2018) menyatakan bahwa pembuatan membran menggunakan teknik inversi fasa, yaitu suatu proses perubahan bentuk polimer dari fasa cair menjadi padat dengan kondisi tertentu. Kelebihan dari metode ini yaitu pembentukan pori dapat dikendalikan, mudah dilakukan dan dapat menggunakan berbagai macam polimer. Membran selulosa asetat dibuat dengan teknik inversi fasa yaitu pengubahan bentuk polimer dari fasa cair menjadi fasa padat dengan kondisi terkendali. Kondisi terkendali yang dimaksud disini adalah waktu penguapan pelarut saat pembuatan membran [8].

Inayati, dkk (2019) menyatakan bahwa pembuatan bioplastik menggunakan inversi fasa dengan konsentrasi gliserol yang lebih tinggi meningkatkan pembengkakan air tetapi mengurangi pembengkakan minyak. Penambahan konsentrasi gliserol yang lebih tinggi dapat membuat bioplastik lebih fleksibel (perpanjangan tinggi saat putus), lebih lemah (kekuatan tarik rendah), dan lebih mudah terdegradasi di bawah tanah basah atau kering [9].

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Jami'an, dkk. (2015) menyatakan bahwa pada pembuatan membran melalui proses inversi fase kering atau basah memiliki struktur asimetris dengan kulit tipis lapisan di

bagian atas dan struktur berpori di bagian bawah. Porositas permukaan membran berkurang dengan meningkatkan waktu penguapan. Peningkatan waktu penguapan, pembentukan struktur pendukung lapisan bawah menjadi lebih kompak, sehingga mengurangi porositas membran [10].

Pada pembuatan plastik *biodegradable*, perlu perbandingan dan perhitungan dalam takaran bahan yang akan digunakan untuk pembuatan plastik *biodegradable* sehingga menghasilkan produk bioplastik yang baik, maka perlu dilakukan penelitian tentang optimasi pemanfaatan limbah nata de coco dalam pembuatan plastik *biodegradable* dengan *plasticizer* gliserol. Produk ini diharapkan dapat memberikan inovasi baru untuk plastik *biodegradable* yang ramah lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode RAL-faktorial (Rancangan Acak Lengkap yang disusun faktorial) dengan dua perlakuan. Faktor perlakuan pertama adalah berat selulosa limbah nata de coco yang terdiri dari tiga variasi 2%, 2,5%, dan 3% (b/v). Faktor perlakuan ke-dua adalah penambahan volume gliserol 2%, 3%, dan 5% (v/v). Kandungan selulosa didapatkan melalui pengujian berdasarkan SNI 14-0444-1989. Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah: persiapan bahan baku, pembuatan plastik *biodegradable*, dan pengujian hasil film plastik.

2.1 PERSIAPAN BAHAN BAKU

Pada penelitian ini, bahan baku yang digunakan berupa selulosa limbah padat nata de coco. Selulosa limbah padat nata de coco diperoleh dengan cara limbah nata de coco yang berbentuk *slurry* dicuci menggunakan air mengalir hingga bersih kemudian dikeringkan dengan cara dijemur di bawah

sinar matahari. Limbah padat nata de coco yang telah kering disamakan ukurannya dengan cara disaring menggunakan pengayak 100 mesh lalu disimpan kedalam botol selai untuk penggunaan lebih lanjut.

2.2 PEMBUATAN PLASTIK BIODEGRADABLE

Pembuatan plastik *biodegradable* dilakukan dengan metode inversi fasa. Orientasi dilakukan terlebih dahulu terhadap jumlah *pulp* yang dicampurkan dengan 2,5% (b/v) kitosan. Variasi selulosa limbah nata de coco yang digunakan adalah 2%, 2,5%, dan 3% (b/v). Kitosan terlebih dahulu dilarutkan dalam asam asetat 1% agar pada saat dicampurkan dengan *pulp* akan lebih mudah homogen. Larutan selulosa dan larutan kitosan dicampurkan dan dipanaskan pada suhu 60°C - 70°C menggunakan *hot plate* dan diaduk menggunakan *magnetic stirer* dengan kecepatan pengadukan 1500 rpm selama 15 menit. Larutan tersebut ditambahkan gliserol dengan variasi 2%, 3%, dan 5% (v/v), kemudian dipanaskan kembali selama 60 menit. Setelah waktu pemanasan selesai, larutan dicetak di atas plat kaca dan diratakan agar memiliki ketebalan yang sama kemudian dikeringkan dengan udara bebas. Apabila ketebalan yang dihasilkan tidak sama maka akan mempengaruhi hasil uji yang akan dilakukan.

2.3. PENGUJIAN PLASTIK BIODEGRADABLE

Plastik *biodegradable* ini kemudian di uji dengan beberapa pengujian diantaranya uji kuat tarik, uji elongasi, uji ketahanan air, uji biodegradasi, uji FTIR dan uji statistika.

Uji kuat tarik dan uji elongasi menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*) dengan mengikuti standar ASTM-D882. Uji ketahanan air dilakukan dengan cara film plastik dipotong ukuran 3 x 3 cm ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam wadah berisi aquades selama 10 detik. Angkat sampel dari wadah lalu ditimbang. Langkah ini diulangi hingga berat konstan. Nilai

ketahanan air (%) dihitung menggunakan rumus berikut:
water uptake (%)

$$= \frac{\text{berat akhir} - \text{berat awal}}{\text{berat awal}} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

ketahanan air (%)

$$= (100 - \text{water uptake}) \dots \dots \dots (2)$$

Uji FTIR dilakukan dengan menggunakan alat untuk mengetahui gugus fungsi pada senyawa penyusun plastik *biodegradable* yang dihasilkan. Uji biodegradabilitas dilakukan dengan menimbun plastik *biodegradable* ke dalam tanah selama 5 hari dan 14 hari. Nilai ketahanan air (%) dihitung menggunakan rumus berikut:

biodegradabilitas (%)

$$= \frac{\text{berat awal} - \text{berat akhir}}{\text{berat akhir}} \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

Uji statistik yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji manova (*Multivariate Analysis of Variance*) menggunakan spss statistik 17.0. Uji manova bertujuan untuk mengetahui apakah variasi jumlah gliserol berpengaruh terhadap hasil uji kuat tarik, elongasi, dan ketahanan air.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian yang telah dilakukan, kandungan selulosa pada limbah nata de coco sebanyak 42,57%. Film plastik *biodegradable* yang dihasilkan pada semua variasi berwarna coklat muda, memiliki tekstur plastik dengan permukaan yang halus (Gambar 1).



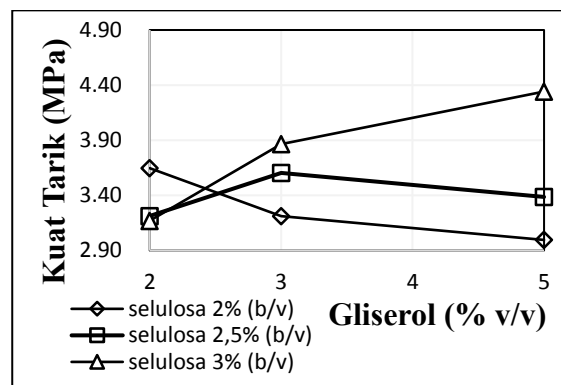
Gambar 1. Foto permukaan film plastik *biodegradable* setelah dikeringkan

Film plastik *biodegradable* ini kemudian di uji dengan beberapa pengujian diantaranya uji kuat tarik, uji elongasi, uji ketahanan air (Tabel 1), uji biodegradasi (Gambar 5) dan uji FTIR (Tabel 2).

Tabel 1. Hasil uji kuat tarik, elongasi, dan ketahanan air dari plastik *biodegradable*.

| Selulosa : Gliserol | Kuat Tarik (MPa) | Elongasi (%) | Ketahanan air (%) |
|---------------------|------------------|--------------|-------------------|
| 2 : 2 | 3,65 | 3,33 | 60,24 |
| 2 : 3 | 3,21 | 1,67 | 59,84 |
| 2 : 5 | 3,00 | 2,78 | 59,12 |
| 2,5 : 2 | 3,21 | 2,78 | 61,20 |
| 2,5 : 3 | 3,60 | 4,44 | 60,82 |
| 2,5 : 5 | 3,39 | 2,78 | 60,46 |
| 3 : 2 | 3,17 | 2,22 | 65,20 |
| 3 : 3 | 3,86 | 2,78 | 63,84 |
| 3 : 5 | 4,34 | 3,89 | 63,51 |

3.1 UJI KUAT TARIK



Gambar 2. Hubungan pengaruh penambahan gliserol dan berat selulosa terhadap uji kuat tarik (MPa) plastik *biodegradable*.

Dari Gambar 2, nilai kuat tarik optimal terbesar pada komposisi selulosa : gliserol (3 : 5) dengan nilai kuat tarik sebesar 4,34 MPa. Pada selulosa 2% (b/v) nilai kuat tarik mengalami penurunan hal ini disebabkan oleh banyaknya ruang kosong akibat penambahan gliserol. Penambahan gliserol mengakibatkan penurunan nilai kuat tarik

bioplastik, hal ini dikarenakan adanya ruang kosong yang terjadi karena ikatan antar polisakarida yang diputus oleh gliserol dan menyebabkan ikatan antar molekul dalam bioplastik melemah [11]. Akan tetapi, pada selulosa 2,5% (b/v) dan 3% (b/v) nilai kuat tarik mengalami kenaikan hal ini disebabkan karena ikatan polisakarida dalam selulosa limbah nata de coco semakin banyak sehingga menutupi ruang kosong akibat penambahan gliserol.

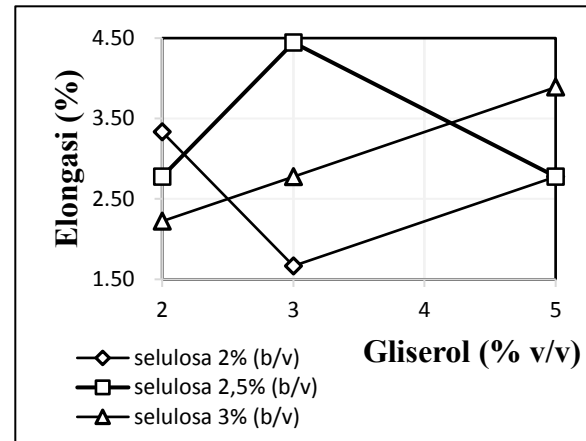
Plastik *biodegradable* dari limbah nata de coco diharapkan memenuhi sifat mekanik golongan *Moderate Properties* untuk nilai kuat tarik yaitu 1-10 Mpa [12]. Dalam penelitian ini, nilai kuat tarik dari plastik *biodegradable* telah memenuhi golongan tersebut.

3.2 UJI ELONGASI

Dari Gambar 3, nilai elongasi optimal terdapat pada komposisi selulosa : gliserol (2,5 : 3) dengan nilai elongasi sebesar 4,44%. Gliserol yang berfungsi sebagai *platicizer* ini akan terletak diantara rantai biopolimer sehingga jarak antar kitosan dan selulosa akan meningkat. Hal ini membuat ikatan hidrogen antara kitosan-selulosa berkurang dan digantikan interaksi hidrogen antara kitosan-gliserol dan gliserol-selulosa, dengan demikian bioplastik akan semakin elastis sehingga elongasi cenderung meningkat waktu ditarik dengan tekanan yang kecil [12].

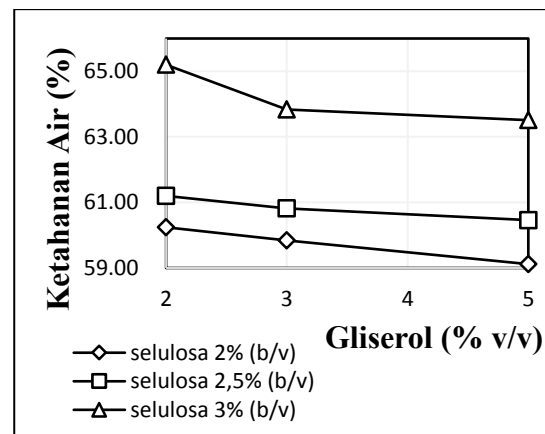
Bila dibandingkan dengan nilai elongasi plastik yang memenuhi golongan *moderate properties* yaitu 10-20%, maka persen elongasi plastik *biodegradable* dari limbah nata de coco belum memenuhi. Dapat disimpulkan bahwa persen perpanjangan film plastik *biodegradable* berbanding lurus terhadap komposisi gliserol. Semakin banyak gliserol yang digunakan maka nilai elongasinya akan semakin besar, tetapi jika gliserol yang ditambahkan terlalu sedikit

maka bioplastik yang dihasilkan kurang elastis. Penambahan gliserol akan meningkatkan mobilitas molekuler rantai poimer yang ditunjukkan dengan bioplastik semakin elastis sehingga perpanjangan saat putus cenderung akan meningkat.



Gambar 3. Hubungan pengaruh pembahan gliserol dan berat selulosa terhadap uji elongasi (%) plastik *biodegradable*.

3.3 UJI KETAHANAN AIR



Gambar 4. Hubungan pengaruh penambahan gliserol dan berat selulosa terhadap uji ketahanan air (%) plastik *biodegradable*.

Gambar 4 menunjukkan nilai ketahanan air terdapat pada komposisi selulosa : gliserol (3 : 2) dengan nilai ketahanan air sebesar 65,20%. Gliserol sebagai *plasticizer* dapat

menambah kelenturan plastik tetapi jumlah ruang kosong (*free volume*) akan semakin bertambah seiring bertambahnya gliserol, maka akan meningkatkan celah untuk dapat ditempati oleh molekul-molekul air [13]. Kandungan selulosa limbah nata de coco dapat mempengaruhi matriks polimer yang dihasilkan. Semakin seragam komponen penyusun suatu matriks film maka akan menghasilkan permukaan film yang homogen dan rapat. Kerapatan film plastik mempengaruhi penyerapan air. Semakin rapat suatu plastik *biodegradable* maka penyerapan airnya rendah, begitu pula sebaliknya [14]. Kadar selulosa yang tinggi memberikan kerapatan film yang tinggi, karena strukturnya linier [15].

3.4 UJI BIODEGRADABILITAS

Uji biodegradabilitas bertujuan untuk mengetahui apakah suatu bahan dapat terdegradasi dengan baik di lingkungan. Plastik yang terbuat dari bahan-bahan alami umumnya mempunyai tingkat kerusakan yang lebih cepat. Berdasarkan SNI 7818:2014, Plastik *biodegradable* akan terdegradasi <60 % selama seminggu.



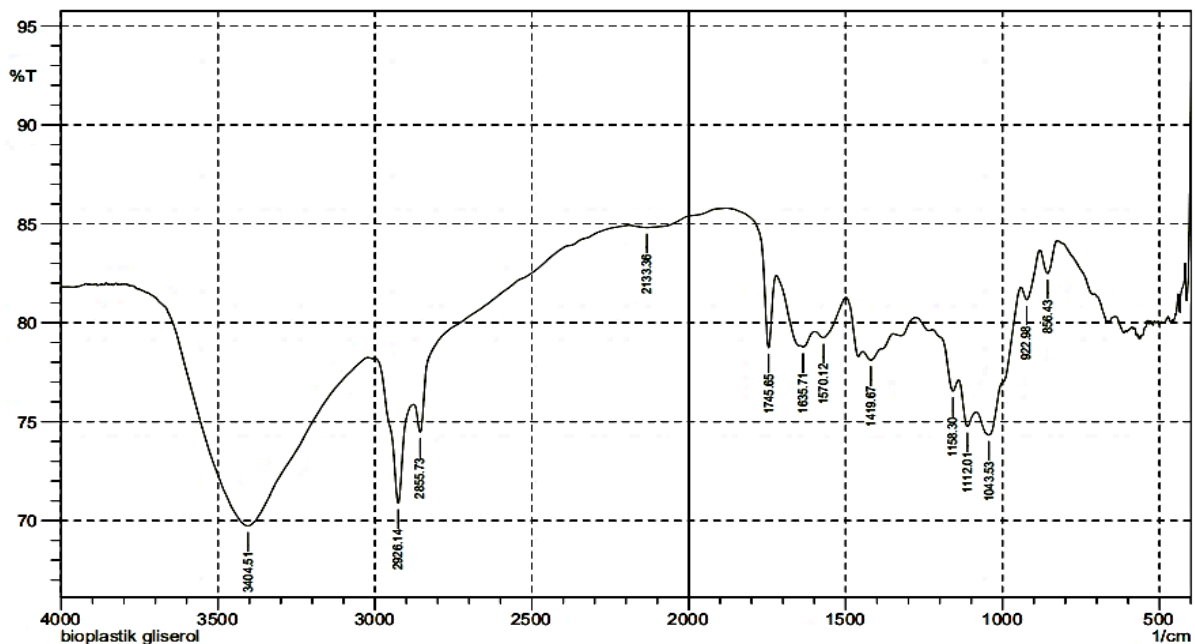
(a) (b)

Gambar 5. Degradasi plastik *biodegradable* dengan cara ditimbun di dalam tanah. (a) plastik *biodegradable* yang belum ditimbun di dalam tanah dan (b) plastik *biodegradable* setelah ditimbun di dalam tanah selama 14 hari.

Pada penelitian ini, pengujian biodegradabilitas dilakukan dengan menimbun plastik *biodegradable* ke dalam tanah selama 5 hari dan 14 hari. Setelah 5 hari diperoleh hasil 35 – 65% dan setelah 14 hari diperoleh hasil bahwa plastik telah terdegradasi 80 – 100% (Gambar 5b).

3.5 UJI FTIR

Analisis FTIR sampel bioplastik dapat dilihat dari Gambar 6, sumbu x menunjukkan gelombang serapan (cm^{-1}) sementara sumbu y menyatakan % transisi. Hasil analisa pada tabel 2:



Gambar 6. Hasil Uji FTIR plastik *biodegradable*.

Tabel 2. Hasil uji FTIR plastik *biodegradable*.

| Panjang Gelombang (cm ⁻¹) | Jenis Ikatan | Tipe Senyawa | Daerah Frekuensi |
|---------------------------------------|--------------|---|------------------|
| 3404,51 | O-H | Alkohol ikatan hidrogen, fenol | 3200 – 3600 |
| 2926,14 | C-H | Alkana | 2850 – 2970 |
| 2855,73 | C-H | Alkana | 2850 – 2970 |
| 2133,36 | C≡H | Alkana | 2100 – 2260 |
| 1745,65 | C=O | Aldehid, Keton, Asam Karboksilat, Ester | 1690 – 1760 |
| 1635,71 | C=C | Alkena | 1610 – 1680 |
| 1570,12 | C=C | Cincin Aromatik | 1500 – 1600 |
| 1419,67 | C-H | Alkana | 1340 – 1470 |
| 1158,30 | C-O | Alkohol, Eter, Asam Karboksilat, Ester | 1050 – 1300 |
| 1112,01 | C-O | Alkohol, Eter, Asam Karboksilat, Ester | 1050 – 1300 |
| 922,98 | C-H | Alkana | 675 – 995 |
| 856,43 | C-H | Alkana | 675 – 995 |

Hasil FTIR menunjukkan bahwa pada panjang gelombang yang terbaca pada campuran selulosa limbah nata de coco, kitosan, dan gliserol tidak menunjukkan pembentukan gugus fungsi baru. Hal ini menunjukkan bahwa proses pembuatan plastik *biodegradable* merupakan proses pencampuran tanpa ada reaksi pada bahan penyusun. Hal ini menyebabkan plastik *biodegradable* memiliki sifat-sifat seperti komponen penyusunnya yaitu plastis dan mudah terurai. Berdasarkan hasil analisis di atas, dapat diperoleh kesimpulan bahwa plastik *biodegradable* dari limbah nata de coco aman digunakan karena tidak mengandung bahan yang berbahaya.

3.6 UJI STATISTIKA

Dari hasil uji manova yang telah dilakukan, pada multivariate test diperoleh nilai sig.<0,05 yang artinya terdapat pengaruh penambahan gliserol terhadap hasil uji kuat tarik, elongasi, dan ketahanan air pada plastik *biodegradable*.

4. KESIMPULAN

Dari hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa uji selulosa yang diperoleh sebesar 42,567%. Pada uji kuat tarik, diperoleh komposisi nilai kuat tarik optimal terdapat pada perbandingan selulosa dan gliserol (3 : 5) sebesar 4,34 MPa, penambahan gliserol mengakibatkan penurunan nilai kuat tarik bioplastik. Pada uji elongasi, diperoleh nilai elongasi terbesar pada perbandingan selulosa dan gliserol (2,5 : 3) sebesar 4,44%, semakin banyak gliserol yang digunakan maka nilai elongasinya akan semakin besar. Pada uji ketahanan air, diperoleh nilai ketahanan air tertinggi pada perbandingan selulosa dan gliserol (3 : 2) sebesar 65,20%, semakin banyak penambahan gliserol maka ketahanan airnya semakin turun. Semakin banyak selulosa limbah nata de coco yang digunakan maka ketahanan airnya semakin tinggi. Pada uji biodegradabilitas, diperoleh nilai biodegradabilitas 80% - 100% setelah ditimbun di dalam tanah selama 14 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Septiosari, Latifah, dan E. Kusumastuti, Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik Limbah Biji Mangga dengan Penambahan Selulosa dan Gliserol, *Indonesian Journal of Chemical Science*, vol. 3, no. 2, hal. 157–162, 2014.
- [2] S. Aripin, B. Saing, E. Kustiyah, Studi Pembuatan Bahan Alternatif Plastik Biodegradable dari Pati Ubi Jalar dengan Plasticizer Gliserol dengan Metode Melt Intercalation, *J. Tek. Mesin*, vol. 06, no. 2, hal. 79–84, 2017.
- [3] D. P. Dewanti, Potensi Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Bahan Baku Bioplastik Ramah Lingkungan, *Teknol. Lingkung.*, vol. 19, no. 1, hal. 81–88, 2018.
- [4] S. Puspitasari, Pemanfaatan Limbah Padat Nata de Coco untuk Produksi Bioetanol menggunakan *Zymomonas mobilis*, *Skripsi*, Departemen Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Indonesia, 2014.
- [5] I. G. Sanjaya M.H and T. Puspita, Pengaruh Penambahan Khitosan dan Plasticizer Gliserol pada Karakteristik Plastik Biodegradable dari Pati Limbah Kulit Singkong, Undergraduate Paper, Jurusan Teknik Kimia FTI, Institut Teknologi Sepuluh November, Indonesia, 2012.
- [6] P. Coniwanti, L. Laila, dan M. R. Alfira, Pembuatan Film Plastik Biodegradable dari Pati Jagung dengan Penambahan Kitosan dan Pemplastis Gliserol, *J. Tek. Kim.*, vol. 20, no. 4, hal. 22–30, 2014.
- [7] U. Andriyani, Harlia, I. Syahbanu, Pembuatan Polyblend dari Limbah Styrofoam dan α -Selulosa Serat Daun Nanas sebagai Bahan Dasar Plastik Ramah Lingkungan, *J. Kim. Khatulistiwa*, vol. 7, no. 3, hal. 40–46, 2018.
- [8] M. Yuspitasi, I. Syahbanu, dan P. Ardiningsih, Studi Waktu Penguapan pada Pembuatan Blend Membran Polisulfon/Selulosa Asetat dari Nata de Coco, *J. Kim. Khatulistiwa*, vol. 7, no. 4, hal. 16–24, 2018.
- [9] Inayati, D. J. Pamungkas, dan M. Matovanni, Effect of Glycerol Concentration on Mechanical Characteristics of Biodegradable Plastic from Rice Straw Cellulose, *AIP Conf. Proc.*, vol. 030110, no. April, hal. 030110-1–7, 2019.
- [10] W. N. R. Jami'an, H. Hasbullah, F. Mohamed, W. N. Wan Salleh, N. Ibrahim, R. R. Ali, Biodegradable Gas Separation Membrane Preparation by Manipulation of Casting Parameters, *Chem. Eng. Trans.*, vol. 43, hal. 1105–1110, 2015.
- [11] A. Sofia, A. T. Prasetya, dan E. Kusumastuti, Komparasi Bioplastik Kulit Labu Kuning-Kitosan dengan Plasticizer dari Berbagai Variasi Sumber Gliserol, *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 6, no. 2, hal. 111–116, 2017.
- [12] I. Nafiyanto, Pembuatan Plastik Biodegradable dari Limbah Bonggol Pisang Kepok dengan Plasticizer Gliserol dari Minyak Jelantah dan Komposit Kitosan dari Limbah Cangkang Bekicot (*Achatina fullica*),

- Integr. Lab J.*, vol. 07, no. 1, hal. 75–89, 2019.
- [13] I. Wardah dan E. Hastuti, Pengaruh Variasi Komposisi Gliserol dengan Pati dari Bonggol Pisang, Tongkol Jagung, dan Enceng Gondok Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Plastik Biodegradable, *J. Neutrino*, vol. 7, no. 2, hal. 77–85, 2015.
- [14] L. Nurdini, Hendriyana, H. Fansyuri, dan T. Wibowo, Pengaruh Penambahan Pati Ubi kayu dalam Pembuatan Bioplastik dari Pati Sukun, *Pros. Semin. Nas. Tek. Kim. "Kejuangan"*, Yogyakarta, April 2018, hal. K8-1–5.
- [15] A. B. Dias, C. M. O. Müller, F. Larotonda, dan J. B. Laurindo, Biodegradable Films Based on Rice Starch and Rice Flour, *Journal of Cereal Science*, vol. 51, no. 2 hal. 213–219, 2010.