



***Biodegradable Foam* dari Pati Sagu Terasetilasi dengan Penambahan *Blowing Agent* NaHCO₃**

Nanik Hendrawati*, Agung Ari Wibowo, Rosita Dwi Chrisandari

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta 9 Malang

*E-mail: nanik.hendrawati@polinema.ac.id

ABSTRAK

Biodegradable foam berbahan dasar pati merupakan kemasan alternatif pengganti *Styrofoam*. Namun foam berbahan pati mempunyai sifat rapuh, sensitive terhadap air dan membutuhkan tambahan perlakuan untuk meningkatkan kekuatan, fleksibilitas dan ketahanan terhadap air untuk bisa diaplikasikan secara komersial. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan NaHCO₃ dan asam sitrat pada pembuatan *biodegradable foam* dari pati sago alami dan terasetilasi. Proses modifikasi dilakukan dengan cara asetilasi yang bertujuan meningkatkan kemampuan termoplastis dan sifat hidrofobik. Proses pembuatan *biodegradable foam* menggunakan metode *baking process*. Variabel yang digunakan yaitu konsentrasi *blowing agent* dengan perbandingan NaHCO₃ dan asam sitrat (1,3:1). Variabel yang digunakan mulai 0; 10; 12; 15; s/d 18 % w/w dari pati sago. Hasil pengujian *biodegradable foam* dari pati sago terasetilasi didapatkan nilai *water absorbtion*, kuat tarik, dan densitas lebih rendah dan sebaliknya pada uji *biodegradability* mempunyai nilai yang lebih tinggi dari pati sago alami. Analisa SEM dilakukan pada *biodegradable foam* dengan penambahan *blowing agent* sebesar 12%, didapatkan bentuk morfologi *closed cell* dengan rata-rata ukuran partikel sebesar 32,02 µm pada *biodegradable foam* dari pati sago alami dan 39,34 µm pada *biodegradable foam* dari pati sago terasetilasi. Analisa FT-IR pada pati terasetilasi menghasilkan gugus C=O karbonil dengan bilangan gelombang sebesar 1650 cm⁻¹

Kata kunci: Biodegradable Foam, Pati Sagu Terasetilasi, Asam Asetat, Natrium Bikarbonat, Asam Sitrat, Blowing Agent

ABSTRACT

Biodegradable foam based on starch is an alternative packaging for styrofoam. However foams made from starch are brittle, sensitive to water and require further treatments to improve their strength, flexibility, and water resistance for commercial applications. The objective of this research to determine the effect of NaHCO₃ and citric acid addition to produce biodegradable foam from natural and acetylated sago starch. The modification process is carried out by acetylation, the aim of modification to improve thermoplastic capabilities and hydrophobic properties. Biodegradable foam production is carried out by using the baking process method. The variables used were the concentration of blowing agent with a ratio of NaHCO₃ and citric acid (1.3: 1). The various concentration were used 0; 10; 12; 15; 18% w / w of sago starch. The results showed that biodegradable foam based acetylated sago starch have lower of water absorption, tensile strength, density, however have higher biodegradability value than natural sago starch. SEM analysis was carried out on biodegradable foam with the addition of blowing agent by 12%, obtained closed cell morphology with an average particle size of 32.02 µm on biodegradable foam from native sago starch and 39.34 µm in biodegradable foam from acetylated sago starch. The FT-IR analysis of the acetylated starch produced a group C = O carbonyl with a wave number of 1650 cm⁻¹.

Keywords: Biodegradable Foam, Acetylated Sago Starch, Acetic Acid, Sodium Bicarbonate, Citric Acid, Blowing Agent

1. PENDAHULUAN

Ketergantungan manusia terhadap kemasan plastik termasuk *styrofoam* dalam kehidupan sehari-hari semakin tinggi. Terbukti pada tahun 2015 jumlah produksi plastik di dunia

mencapai 350 juta ton dan masih terus bertambah [1]. Mengingat luasnya penggunaan *styrofoam* dan besarnya dampak negatif dari penggunaannya, maka diperlukan bahan substitusi untuk menggantikannya. Bahan alami yang mempunyai prospek untuk

pembuatan *biodegradable foam* adalah pati. Salah satu sumber pati yang potensial di Indonesia adalah tanaman sagu. Pati sagu memiliki nilai kadar amilopektin paling tinggi yaitu 76,06% dan kadar amilosa paling rendah yaitu 23,94% dibandingkan dengan pati jagung dan singkong[2]. Semakin tinggi kadar amilopektin membuat produk *biodegradable foam* memiliki pori-pori yang lebih kecil serta densitas yang lebih rendah. Namun demikian, produk yang dihasilkan dari pati tersebut umumnya bersifat rapuh, kaku, dan hidrofilik maka harus dilakukan penambahan beberapa bahan aditif untuk menghasilkan produk kemasan sesuai dengan karakteristik yang diinginkan. Hal ini didukung dengan penelitian Glenn dkk (2001), bahwa tidak hanya ketahanan terhadap air yang rendah melainkan *biodegradable foam* dari bahan pati memiliki sifat mekanis yang rendah. Karakteristik sifat mekanis pati dapat ditingkatkan dengan melakukan modifikasi pati[3]. Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Hendrawati dkk (2018), modifikasi hidrolisis asam dan penambahan bahan aditif yaitu PVOH mampu memperbaiki sifat mekanik dari produk *biodegradable foam* yang dihasilkan, seperti terjadinya penurunan daya serap air, penurunan kemampuan degradasi, peningkatan nilai kuat tarik, penurunan nilai densitas, dan peningkatan kemampuan ekspansi dibandingkan pati alami. Namun dari hasil yang diperoleh ternyata masih memiliki kekurangan, yaitu nilai densitas yang tinggi $1,2 \text{ g/cm}^3$, sedangkan standar densitas untuk *Styrofoam* komersial sebesar $1,04 - 1,1 \text{ gr/cm}^3$ [4].

Upaya untuk memperbaiki karakteristik *biodegradable foam* dapat dilakukan dengan metode modifikasi pati secara asetilasi. Asetilasi merupakan salah satu jenis modifikasi pati yang dilakukan secara kimia dan tergolong pada proses esterifikasi. Penambahan reagen atau bahan kimia tertentu yaitu asam asetat bertujuan mengganti gugus hidroksil pada pati. Modifikasi ini bertujuan untuk meningkatkan karakteristik termoplastik pati, seperti sifat

hidrofobik dan kristalinitas. Pati terasetilasi memiliki nilai DS (derajat substitusi) yang beragam. DS adalah nilai yang digunakan untuk mengetahui berapa banyak gugus asetil yang tersubstitusi ke dalam pati sagu terasetilasi. Umumnya untuk produk pangan dibutuhkan DS yang rendah berkisar 0,01-0,2. Namun, untuk aplikasi sebagai bahan kemasan dibutuhkan pati asetat dengan nilai DS yang cukup tinggi. Menurut Guan dkk (2004), pati asetilasi bernilai DS tinggi (>1) umumnya bersifat hidrofobik sehingga dapat digunakan sebagai bahan kemasan seperti biofoam[5].

Upaya lain untuk memperbaiki karakteristik *biodegradable foam* adalah dengan penambahan natrium bikarbonat (NaHCO_3) sebagai *blowing agent* yang mampu melepaskan gas karbon dioksida selama reaksi dekomposisi dan menghasilkan rongga udara untuk meningkatkan nilai *swelling power* pada *biodegradable foam* yang dihasilkan. Menurut Najib dkk (2009), konsentrasi natrium bikarbonat sebagai *blowing agent* bervariasi untuk menghasilkan morfologi dan sifat *biodegradable foam* yang diinginkan[6]. Dalam penelitiannya konsentrasi natrium bikarbonat terbaik yaitu 12% terhadap jumlah pati. Penelitian yang dilakukan Lansing (2016), bersama natrium bikarbonat, asam sitrat dapat dimasukkan sebagai aktivator untuk membantu meningkatkan hasil gas. Penambahan asam sitrat dalam pembuatan *biodegradable foam* dapat menghasilkan dua kali lebih banyak gas CO_2 [7].

Berdasarkan uraian di atas, dapat diketahui bahwa produk *biodegradable foam* yang dihasilkan masih mempunyai kelemahan baik ketahanan terhadap air, kemampuan mengembang, dan densitasnya, sehingga pada penelitian ini akan dipelajari pengaruh penambahan NaHCO_3 sebagai *blowing agent* pada pembuatan *biodegradable foam* dengan bahan baku utama pati sagu dimodifikasi dan tidak dimodifikasi. Modifikasi dilakukan dengan metode asetilasi dengan asam asetat. Modifikasi secara asetilasi memberikan

keuntungan yaitu harga asam asetat yang jauh lebih murah dibandingkan dengan harga HCl pada metode hidrolisis. Selain itu, HCl merupakan larutan asam kuat yang memiliki tingkat bahaya lebih tinggi dari pada asam asetat. Penelitian ini diharapkan menghasilkan *biodegradable foam* mempunyai sifat mekanis yang baik yaitu ketahanan terhadap air yang baik dan ekspansi *foam* yang baik.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

- Modifikasi Pati sagu : pati sagu (lokal), Asam asetat glasial (Smartlab), NaOH 0.5 M (Merck), HCl 0.5 M (Merck), Etanol(Merck),KOH 0.5M(Merk), Indikator pp(Merck), Aquades.
- Pembuatan Biodegradable Foam: Pati sagu (local), Gliserol (Merck), Aquades, Magnesium stearate (Macron), Kitosan(lokal), Karagenan(lokal), Isolat protein (lokal), PVOH(Merck), NaHCO₃ (Pudak Scientific, 99%), Asam sitrat(MultiChem).

2.2. Modifikasi Pati Sagu Metode Asetilasi

Pembuatan pati asetat dengan melarutkan 300 gram pati sagu ke dalam 900 ml aquadest. pH larutan diatur 8 menggunakan NaOH 0,5 M disertai pengadukan selama 20 menit [3]. Setelah itu larutan asam asetat ditambahkan dalam larutan tersebut hingga nilai DS mencapai 1,5. Kemudian larutan dipanaskan hingga suhu 45 °C selama 90 menit di dalam *water bath* [8]. Pada suhu ruang pati tidak dapat larut dan membentuk suspensi. Proses ini membutuhkan waktu 90 menit agar gugus asetil yang menggantikan gugus hidroksil terjadi secara maksimal dan pH dikembalikan dari 3 ke 5 dengan menggunakan NaOH 0,5 M. Kemudian larutan difiltrasi dengan menggunakan kertas saring dan *vakum filter*. *Slurry* yang tertinggal dicuci dengan aquadest sebanyak 4

kali. Endapan pati tersebut kemudian dikeringkan pada suhu 40°C. Kemudian disimpan dalam plastik dan dimasukkan dalam desikator sampai digunakan. Kemudian dilakukan uji DS dan uji FT-IR.

2.3. Pembuatan *Biodegradable Foam*

Pati sagu termodifikasi dan pati sagu alami yang akan digunakan pada pembuatan *biodegradable foam* dikeringkan dalam oven dengan suhu 80 °C selama 24 jam untuk menghilangkan kandungan air dalam pati, setelah itu diletakkan dalam desikator. Selanjutnya dapat dilakukan proses pembuatan *biodegradable foam*. Isolat protein murni ditimbang sebanyak 30% (w/w) dari berat pati. 20 % kitosan ditimbang dan dilarutkan dalam asam asetat pekat. Larutan diaduk hingga homogen. Larutan kitosan, 5,56% magnesium stearat, 2,08% karagenan, 16,67% gliserol, 30% polivinil alkohol (PVOH), *blowing agent* (campuran NaHCO₃ dan Asam sitrat) dimasukkan dalam satu wadah kemudian dilakukan pengadukan cepat menggunakan *mixer*. Adonan ditunggu hingga mengembang. Pati sebanyak 36 gram yang telah kering dimasukkan kedalam adonan dan dilakukan pengadukan lambat selama 20 menit. Setelah semua tercampur rata, adonan dituang kedalam loyang hingga memenuhi setengah loyang. Adonan di oven pada suhu 125°C selama 1 jam. Setelah itu, didinginkan dalam suhu ruang dan disimpan di dalam desikator. Selanjutnya produk *biodegradable foam* dilakukan beberapa uji, seperti uji *water absorbtion*, uji *biodegradability*, uji tarik, uji densitas, dan uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

2.4. Analisa Hasil Percobaan

Uji DS (*Degree of Substitution*) pada pati sagu terasetilasi

Uji DS digunakan untuk mengetahui berapa banyak gugus asetil yang tersubsitusi ke dalam pati sagu terasetilasi. Pati terasetilasi ditimbang sebanyak 1 g dan dilarutkan dalam 50 mL etanol pada suhu 50°C selama 30

menit. *Slurry* pati didinginkan pada suhu ruang, ditambahkan 40 mL KOH 0,5 M dan disimpan selama 72 jam pada suhu ruang. *Excess* alkali dititrasi dengan 0,5 M HCl dengan menggunakan indikator *phenolphthalein*. Sampel selanjutnya dititrasi dengan 0,5 M HCl dan dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dan untuk derajat substitusi (DS) dihitung dengan persamaan (2) [9].

$$\%Asetil = \frac{V_0 - V_n \times N \times 43}{m} 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

V_0 = volume HCl untuk titrasi blanko

V_n = volume HCl untuk titrasi sampel

N = normalitas HCl

m = massa sampel kering

43 = berat molekul asetil (CH_3CO)

$$DS = \frac{162 \times \% Asetil}{4300 - (42 \times \% Asetil)} \quad (2)$$

Keterangan:

162 = berat molekul glukosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)

4300 = berat molekul asetil (CH_3CO) \times 100

42 = selisih antara berat molekul gugus asetil dengan gugus OH

Uji pada Produk *Biodegradable Foam*

Uji *Water Absorbtion*

Uji *Water Absorbtion* mengikuti acuan standar ABNT NBR NM ISO 535 (1999) yaitu sampel *biodegradable foam* dipotong dengan ukuran 2,5 x 5 cm. Sampel ditimbang sebagai berat awal kemudian dicelupkan ke dalam air selama 1 menit dan dikeringkan menggunakan tisu untuk menghilangkan sisa air yang menempel pada permukaan sampel foam. Sampel ditimbang kembali dan dilakukan perhitungan pertambahan berat sampel sehingga didapatkan % daya serap airnya. Persamaan % daya serap air sebagai berikut:

$$\% \text{Water Absorbtion} = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100\%$$

Keterangan:

M_0 = berat sampel awal (gram)

M_1 = berat sampel akhir (gram)

Uji Kuat Tarik

Analisis mengacu pada standar ASTM D-638, 1991. Uji tarik ini dilakukan menggunakan alat kuat tarik dengan tipe LY-1066A yang memiliki kemampuan beban maksimal (*load*) sebesar 2000 kg dengan kecepatan penarikan sampel (*stroke*) sebesar 0,1 - 500 mm/min. Adapun hasil uji tarik dapat diperoleh dalam PC antara lain beban maksimal yang diberikan tiap sampel (*max load*), pertambahan panjang (*elong peak*), dan nilai kuat tarik.

Uji *Biodegradability*

Uji *biodegradability* yang dilakukan mengikuti penelitian Hendrawati, dkk dengan memotong sampel *biodegradable foam* masing-masing berukuran 2,5 x 5 cm lalu ditimbang dengan menggunakan analytical balance Metler (ketelitian 0.0001 gram) sebagai berat awal sampel. Kemudian sampel *biodegradable foam* dipendam dalam tanah selama 14, 21, dan 28 hari [10]. Setelah itu sampel dibersihkan dari sisa-sisa tanah yang menempel dan timbang berat akhir sampel. Perhitungan persen kehilangan berat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Weight Loss (\%)} = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100\%$$

Keterangan:

M_0 = berat awal (gram)

M_1 = berat akhir (gram)

Uji Densitas

Massa diperoleh dari penimbangan sampel *biodegradable foam* dengan ukuran 2,5 cm x 2,5 cm pada timbangan analitik. Volume dihitung dengan cara mengalikan panjang, lebar, dan tebal sampel yang sebelumnya diukur dengan jangka sorong. Persamaan umum densitas sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Keterangan:

ρ = densitas (gram/ cm^3)

m = berat sampel (gram)

V = volume sampel (cm^3)

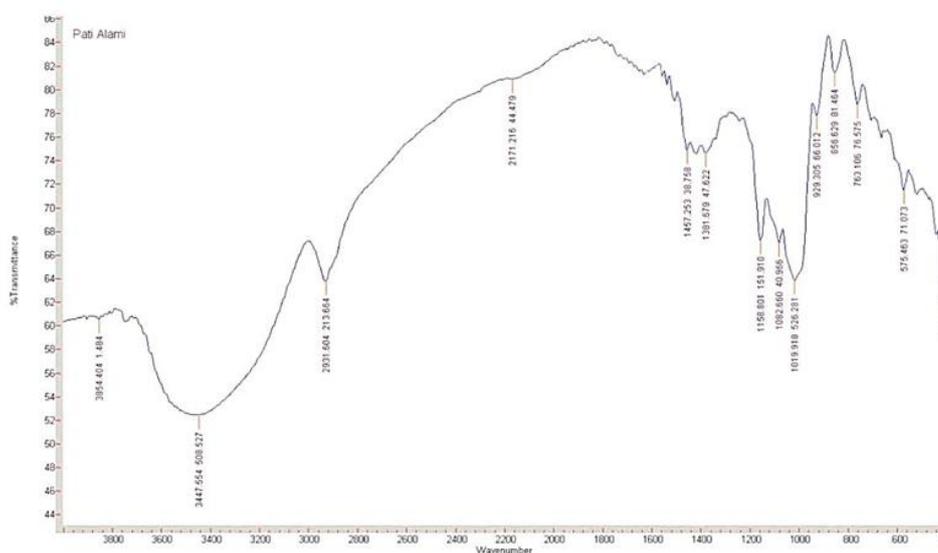
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa DS (Derajat Substitusi)

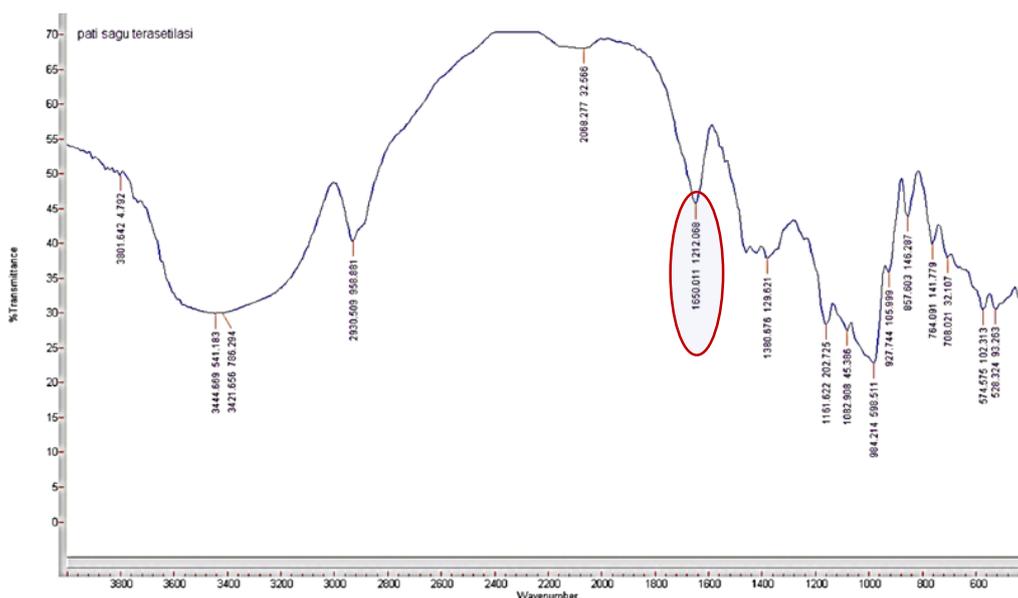
Pengujian pada pati sagu terasetilasi diperoleh nilai DS adalah 1,73. Pati tersebut dihasilkan dari penambahan asam asetat glasial sebesar 210 ml ke dalam 300 gram pati sagu. Hal ini menunjukkan hasil uji DS pada pati sagu terasetilasi memenuhi standar bahan baku kemasan *biodegradable foam* yaitu lebih dari satu. Nilai DS mempengaruhi kemampuan daya serap air pada pati. Peningkatan nilai DS pati asetat

mengakibatkan peningkatan sifat hidrofobiknya, sehingga mengurangi tingkat kelarutan pati asetat dalam air. Sebaliknya, pati alami menunjukkan kemampuan menyerap air relatif lebih besar dikarenakan terdapat gugus hidroksil yang dapat berikatan dengan molekul air. Hal ini sejalan dengan penelitian Yuliasih (2008), bahwa pada dasarnya penambahan gugus asetil dalam pati yang dinyatakan sebagai derajat substitusi (DS) dapat merubah sifat pati alami yang tadinya hidrofilik menjadi hidrofobik[11].

Analisa FT-IR



Gambar 1. Serapan FT-IR Pati Sagu Alami



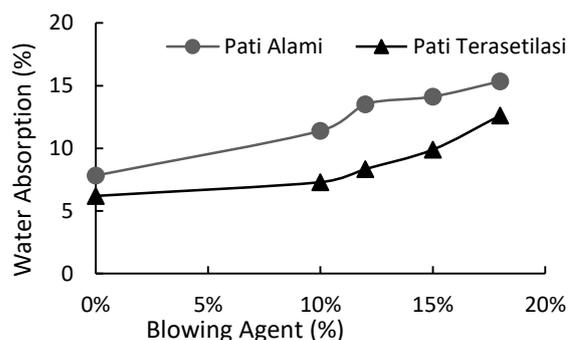
Gambar 2. Serapan FT-IR Pati Sagu Terasetilasi

Gambar 1 dan 2 menunjukkan serapan FTIR pati sagu alami dan terasetilasi. Puncak baru yang muncul pada pati terasetilasi adalah gugus karbonil. **Gugus C=O karbonil** memiliki bilangan gelombang **1600 -1820 cm^{-1}** . Pada pati terasetilasi memiliki bilangan gelombang **1650 cm^{-1}** . Serapan pada 1650 cm^{-1} mengindikasikan tersubstitusinya gugus asetil pada granula pati sagu. Jika dibandingkan dengan spektra FT-IR pati alami, tidak terdapat serapan khas gugus karbonil. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Singh *dkk* (2004) bahwa modifikasi pati *Xanthosoma violaceum* pada tingkat pemberian asetat anhidrida 7,2% menunjukkan terjadi pengaruh serapan molekul asetat pada 1733,25 cm^{-1} -1652,59 cm^{-1} . Intensitas pada bilangan gelombang tersebut merupakan kelompok karbonil dari gugus asetat[12].

Analisa Water Absorbtion

Ketahanan terhadap air pada *biodegradable foam* dapat diuji kualitasnya dengan uji *water absorbtion*. Besarnya *prosentase water absorbtion* menunjukkan banyaknya jumlah air yang terserap. Gambar 3. menunjukkan nilai % *water absorbtion* produk *biodegradable foam* berkisar 6,2019 - 15,3402 %. Nilai *water absorbtion* ini masih tinggi jika dibandingkan dengan standar *styrofoam* komersial dengan nilai % *water absorbtion* sebesar 0,02 % [13]. Semakin banyak *blowing agent* yang ditambahkan semakin besar daya serap airnya. Hal ini dikarenakan penambahan *blowing agent* menghasilkan tingginya porositas dan ekspansi dari *biodegradable foam* sehingga meningkatkan daya serap air. Gambar 3. juga menunjukkan bahwa pati alami memiliki nilai % *water absorbtion* lebih besar dibandingkan pati terasetilasi. Hal ini dikarenakan jumlah gugus hidroksil dalam molekul pati sangat besar, sehingga kemampuan menyerap air sangatlah besar pula. Penelitian Kaisangri *dkk*, menunjukkan bahwa *biodegradable foam* berbasis pati alami sangat rentan terhadap air karena memiliki sifat hidrofilik.

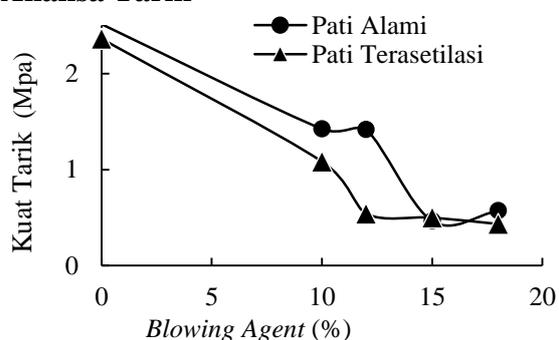
Selain itu, tingkat hidrofobisitas pati terasetilasi sangat dipengaruhi oleh nilai DS. pati hasil proses asetilasi dengan nilai DS >1 akan memiliki sifat hidrofobik karena gugus hidroksilnya yang bersifat hidrofilik digantikan dengan gugus asetil yang bersifat hidrofobik [14].



Gambar 3. Hubungan antara Penambahan Blowing Agent terhadap % Water Absorbtion

Selain itu, reaksi asetilasi pada pati terjadi dengan tersubstitusinya gugus asetil pada seluruh daerah amorf yang memiliki sifat hidrofilik dan hanya berlangsung pada lamela bagian luar dari daerah kristalin dalam granula pati. Menurut Chen *dkk*, reaktivitas amilosa lebih tinggi daripada amilopektin oleh karena amilosa ada di daerah amorf yang memiliki sifat hidrofilik, sedangkan amilopektin adalah penyusun daerah kristalin yang bersifat hidrofobik[9].

Analisa Tarik



Gambar 4. Hubungan antara Penambahan Blowing Agent terhadap Kuat Tarik

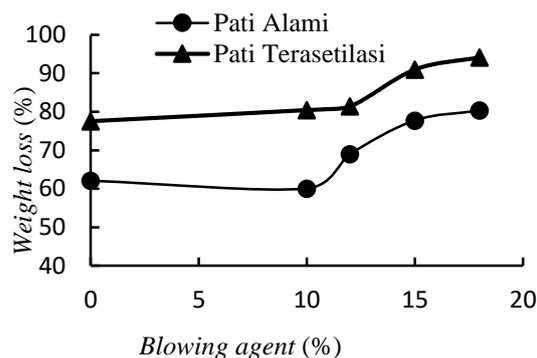
Gambar 4. menunjukkan *biodegradable foam* dengan bahan baku pati terasetilasi memiliki nilai kuat tarik sebesar 0,432 – 2,363 MPa, sedangkan dengan bahan baku pati alami memiliki nilai kuat tarik sebesar 0,572 – 2,515 MPa. Jika ditinjau dari nilai kuat tarik yang paling mendekati standar foam komersial (kuat tarik 0.23-0.34 MPa) adalah dengan penambahan blowing agent diatas 12 %[15].

Penurunan nilai kuat tarik berbanding lurus dengan meningkatnya jumlah *blowing agent* yang digunakan seperti terlihat pada Gambar 4. Penambahan *blowing agent* pada pembuatan *foam* berbasis pati akan mendorong terbentuknya porositas pada dinding sel sehingga sel mudah mengalami kerusakan (deformasi) yang menyebabkan nilai uji tarik semakin menurun[16].

Gambar 4 juga menunjukkan nilai kuat tarik *biodegradable foam* pada pati terasetilasi lebih kecil dibanding pati alami. Hal ini dikarenakan pembuatan *biodegradable foam* menggunakan pati terasetilasi menghasilkan struktur *biodegradable foam* lebih mengembang dibandingkan pati alami. Mengembangnya *biodegradable foam* karena pada reaksi asetilasi menghasilkan air yang berfungsi sebagai *blowing agent* alami dan pembentuk pori dari *biodegradable foam*. Pori *foam* yang terbentuk menyebabkan bertambahnya porositas pada *biodegradable foam* sehingga menurunkan sifat mekanik, salah satunya kekuatan tarik dari *biodegradable foam*. Hal ini sejalan dengan penelitian Iriani [17].

Analisa Biodegradability

Gambar 5. menunjukkan *biodegradable foam* dengan bahan baku pati alami memiliki nilai % *biodegradability* sebesar 62,0408 – 80,2878 % sedangkan dengan bahan baku pati terasetilasi memiliki nilai % *biodegradability* sebesar 77,5259 – 94,1076 %. *Biodegradable foam* pada penelitian ini yang memenuhi standar SNI kemasan *biodegradable* yaitu dengan penambahan blowing agent diatas 12 %[18].

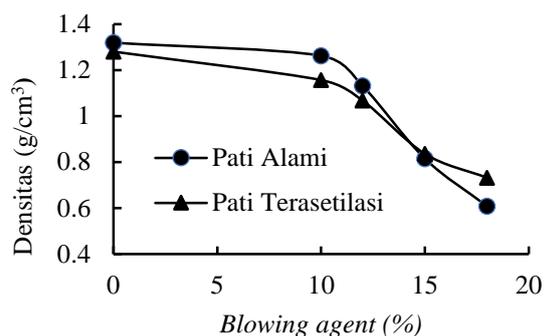


Gambar 5. Hubungan antara Penambahan *Blowing Agent* Terhadap % *Biodegradability* dengan waktu pemendaman 28 hari.

Gambar 5. juga menunjukkan kenaikan nilai % *biodegradability* berbanding lurus dengan meningkatnya jumlah *blowing agent* yang digunakan, baik *biodegradable foam* pati sagu alami maupun yang terasetilasi. Penambahan *blowing agent* berfungsi sebagai pembentuk pori pada sel sehingga porositas semakin besar. Porositas yang besar memudahkan mikroba untuk masuk ke dalam *biodegradable foam* sehingga *biodegradable foam* cepat terdegradasi di dalam tanah.

Penggunaan pati terasetilasi memiliki % *biodegradability* yang lebih tinggi dibandingkan dengan pati alami. Perlakuan modifikasi pada pati menyebabkan gugus hidroksil dari pati digantikan oleh gugus asetil dari asam asetat. Gugus asetil menyebabkan bertambahnya unsur karbon dalam pati terasetilasi. *Biodegradable foam* oleh mikroba dipecah menjadi molekul-molekul yang lebih kecil. Pecahan molekul-molekul ini cukup kecil hingga karbon dilepas sebagai CO₂ ke alam, kemudian dilepaskan ke atmosfer. Karbon dioksida di atmosfer merupakan sumber karbon bagi tumbuhan, terutama ketika melakukan fotosintesis dengan bantuan cahaya matahari. Karbon tersebut dapat berpindah ke hewan ketika hewan memakan tumbuhan. Selain itu, dekomposer yang berupa fungi toleran pada kondisi bahan organik yang asam sehingga mempercepat proses dekomposisi *biodegradable foam* [19]

Analisa Densitas



Gambar 6. Hubungan antara Penambahan Blowing Agent Terhadap Nilai Densitas

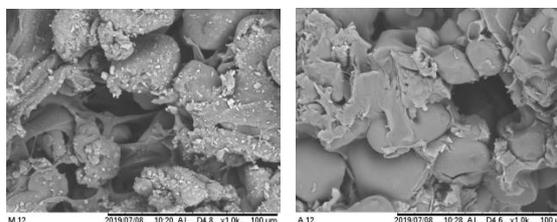
Gambar 6. menunjukkan *biodegradable foam* dengan bahan baku pati alami memiliki nilai densitas sebesar 0,6082 – 1,3186 g/cm³ sedangkan dengan bahan baku pati terasetilasi memiliki nilai densitas sebesar 0,7314 – 1,2801 g/cm³. Merujuk pada standar densitas *styrofoam* yang nilainya berada pada rentang 0.9-1,1 g/cm³, menunjukkan bahwa *biodegradable foam* yang memenuhi standar terjadi pada pati terasetilasi penambahan *blowing agent* 12 % dengan nilai densitas sebesar 1,0675 g/cm³[13].

Penurunan nilai densitas terjadi berbanding lurus dengan meningkatnya jumlah *blowing agent* yang digunakan, baik *biodegradable foam* yang berbahan dasar pati sagu alami maupun pati sagu terasetilasi. Semakin banyak *blowing agent* akan meningkatkan porositas pada *biodegradable foam* sehingga nilai densitas menjadi turun. Hal ini sesuai dengan penelitian *biodegradable foam* yang dilakukan oleh Najib dkk [6].

Hasil *biodegradable foam* menggunakan pati terasetilasi lebih mengembang dibanding pati alami. Hal ini disebabkan pada reaksi asetilasi menghasilkan air yang berperan sebagai *blowing agent* alami sehingga *biodegradable foam* yang dihasilkan memiliki banyak rongga dan densitas yang rendah. Menurut Cinelli dkk (2006), ekspansi yang tinggi akan menghasilkan porositas yang tinggi dan nilai densitas yang rendah. Selain itu, ikatan hidrogen intermolekuler diantara grup hidroksil pada rantai yang

berdekatan di dalam pati terasetilasi menghasilkan pembengkakan yang lebih besar dan meningkatkan ekspansi [20].

Analisa SEM (Scanning Electron Microscope)



(a)

(b)

Gambar 7. Morfologi *Biodegradable Foam* Perbesaran 1000x dengan Penambahan *Blowing Agent* 12 % w/w pada (a) Pati Sagu Terasetilasi dan (b) Pati Sagu Alami

Biodegradable foam yang dihasilkan pada penelitian ini termasuk *closed cell* karena ukuran sel yang terbentuk seragam sehingga terdapat celah antar dinding sel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Selain itu, struktur yang dihasilkan dari *biodegradable foam* ini bersifat *rigid* karena susunan sel yang terlihat berdekatan dan saat *biodegradable foam* diberi tekanan tidak mudah kembali ke keadaan semula.

Ukuran sel dari pati terasetilasi lebih besar dibandingkan dengan pati alami. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh nilai DS. Nilai DS yang tinggi pada pati terasetilasi menyebabkan gugus modifikasi (asetil) cenderung menyebabkan molekul pati merenggang satu sama lain dan menurunkan kekuatan ikatan intermolekuler antara amilosa dan amilopektin [21].

4. KESIMPULAN

Metode asetilasi dapat merubah struktur granula pati dari pati sagu alami yang menyebabkan *biodegradable foam* berbahan pati terasetilasi mempunyai kemampuan menyerap air yang rendah, kemampuan degradasi yang tinggi, dan kemampuan ekspansi yang baik sehingga memiliki nilai densitas dan kuat tarik yang lebih rendah dan ukuran sel yang besar pada uji SEM.

Peningkatan konsentrasi NaHCO₃ dan asam sitrat sebagai *blowing agent* dalam pembuatan *biodegradable foam* menyebabkan terjadinya peningkatan daya serap air, peningkatan kemampuan degradasi, penurunan nilai kuat tarik, penurunan nilai densitas, dan peningkatan kemampuan ekspansi pada *biodegradable foam* yang dihasilkan.

Penambahan *blowing agent* pada pati sagu teratilasi sebesar 12% memberikan hasil yang terbaik ditinjau dari nilai *biodegradability* sebesar 81,3716 %, kuat tarik sebesar 0,541 MPa, densitas sebesar 1,0675 gram/cm³ dan hasil SEM yang baik dengan rata rata ukuran sel sebesar 39,34 μ m, namun nilai water absorption yang masih jauh dari sterofom komersial

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri atas pemberian Hibah DIPA Swadana Riset Terapan yang dibiayai dengan Dana DIPA Nomor SP DIPA 023.18.2.677606/2020

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. M. Ritchie H., Plastic Pollution. (Online)., (<https://ourworldindata.org/plastic-pollution>)., 2008.
- [2] N. Hendrawati, Y. I. Lestari, dan P. A. Wulansari, Pengaruh Penambahan Kitosan Terhadap Sifat Biodegradable Foam Berbahan Baku Pati The Effect of Addition of Chitosan on the Property of Biodegradable Foam Prepared from Starch, *J. Rekayasa Kim. dan Lingkung.*, vol. 12, no. 1, hal. 1–7, 2017.
- [3] G. M. Glenn, W. J. Orts, dan G. A. R. Nobes, Starch, fiber and CaCO₃ effects on the physical properties of foams made by a baking process, *Ind. Crops Prod.*, vol. 14, no. 3, hal. 201–212, 2001.
- [4] N. Hendrawati, Wulansari, D; Prasetya CA, Pengaruh Penambahan Polivinil Alkohol (PVOH) pada Pembuatan Biodegradable Foam dari Pati Sagu Tidak Dimodifikasi dan Termodifikasi., Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, 2018.
- [5] J. Guan, Q. Fang, dan M. A. Hanna, Functional properties of extruded starch acetate blends, *J. Polym. Environ.*, vol. 12, no. 2, hal. 57–63, 2004.
- [6] N. Najib, Z. Ariff, N. Manan, A. Bakar, dan C. Sipaut, Effect of Blowing Agent on Cell Morphology and Acoustic Absorption of Natural Rubber Foam, *J. Phys. Sci.*, vol. 20, no. 1, hal. 13–25, 2009.
- [7] B. J. Lansing, Mechanical and Physical Characterization of Foams made of Gelatinized Starch and Prepolymer Polyurethane, Thesis, Dept. of Packaging Science Rochester Institute of Technology, New York 2016
- [8] P. A. Artiani dan Y. R. Avrelina, Modifikasi Cassava Starch dengan Proses Acetylasasi Asam Asetat untuk Produk Pangan, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Diponegoro, 2009.
- [9] Z. Chen, H. A. Schols, dan A. G. J. Voragen, Differently sized granules from acetylated potato and sweet potato starches differ in the acetyl substitution pattern of their amylose populations, *Carbohydr. Polym.*, vol. 56, no. 2, hal. 219–226, 2004.
- [10] N. Hendrawati, E. N. Dewi, dan S. Santosa, Karakterisasi Biodegradable Foam dari Pati Sagu Termodifikasi dengan Kitosan Sebagai Aditif, *J. Tek. Kim. dan Ling.*, vol. 3, no. 1, hal. 47,

- 2019.
- [11] I. Yuliasih, Fraksinasi dan Asetilasi Pati Sagu (*Metroxylon Sagu* Rottb.) serta Aplikasi Produknya sebagai Bahan Campuran Plastik Sintetik, Disertasi, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, 2008.
- [12] N. Singh, D. Chawla, dan J. Singh, Influence of acetic anhydride on physicochemical, morphological and thermal properties of corn and potato starch, *Food Chem.*, vol. 86, no. 4, hal. 601–608, 2004.
- [13] K. Gooider, Making and Using Expanded Plastic. *New Scientist* 240: 706, 2009.
- [14] N. Kaisangsri, O. Kerdchoechuen, dan N. Laohakunjit, Characterization of cassava starch based foam blended with plant proteins, kraft fiber, and palm oil, *Carbohydr. Polym.*, vol. 110, hal. 70–77, 2014.
- [15] S. Mahajan, *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, First ed. Pergamon: Elsevier Ltd, 2001.
- [16] S. K. Jeoung, Y. J. Hwang, H. W. Lee, S. B. Kwak, I. S. Han, dan J. U. Ha, Polypropylenes foam consisting of thermally expandable microcapsule as blowing agent, in *AIP Conference Proceedings*, 2016,
- [17] E. S. Iriani, Pengembangan produk Biodegradable Foam Berbahan Baku Campuran Tapioka dan Ampok, Disertasi, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, 2013.
- [18] SNI 7323.2008, Plastik - Wadah makanan dan minuman - polystyrene foam. Indonesia.
- [19] P. Lankinen, Ligninolytic Enzymes of The Basidiomycetous Fungi *Agaricus Bisporus* and *Phlebia Radiata* on Lignocellulose-containing Media, Disertasi, Department of Applied Chemistry and Microbiology, University of Helsinki, Finlandia, 2004.
- [20] H. Wattanachant, Saowakon, Dalya, K. Muhammad, dan A. R. Russly, Suitability of Sago Starch as a Base for Dual-Modification, *Songklanakarini J. Sci. Technol.*, vol. 24, no. 3, hal. 431-438, 2002.
- [21] F. J. Polnaya dan B. R. I. Puturuhi, Preparasi dan Karakterisasi Pati Sagu Asetil, *Bul. Penelit. BIAM*, vol. 6, no. 56, hal. 10–13, 2016.