

## PENGARUH PENAMBAHAN BERBAGAI MODIFIKASI SERAT TANDAN KOSONG SAWIT PADA SIFAT FUNGSIONAL *BIODEGRADABLE FOAM*

Etikaningrum<sup>1</sup>, Joko Hermanianto<sup>1</sup>, Evi Savitri Iriani<sup>2</sup>, Rizal Syarief<sup>1</sup>, Asep Wawan Permana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknologi Pangan dan Gizi, Fakultas Teknologi Pertanian  
Institut Pertanian Bogor, Bogor-Indonesia

<sup>2</sup>Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian  
Jl. Tentara Pelajar No. 12, Cimanggu Bogor, Indonesia 16114  
Email: etikaningrum1112@gmail.com

(Diterima 15-08-2016; Disetujui 30-11-2016)

### ABSTRAK

Pengembangan *biofoam* sebagai alternatif pengganti *styrofoam* telah banyak dilakukan. Bahan utama dalam pembuatan *biofoam* adalah pati murni, namun *biofoam* yang dihasilkan masih bersifat rapuh dan mudah menyerap air. Oleh karena itu adonan *biofoam* perlu ditambahkan bahan lain diantaranya *plasticizer*, pati modifikasi, polimer sintetis dan serat. Salah satu serat alam yang cukup potensial yaitu tandan kosong sawit (TKS). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pembuatan *biofoam* dari serat yang dimodifikasi dengan beberapa metode yang berbeda serta dengan konsentrasi yang berbeda sehingga dapat menghasilkan *biofoam* dengan karakteristik terbaik. Proses pembuatan *biofoam* dilakukan menggunakan teknik *thermopressing* dengan mencampurkan tapioka, *Polivinil alcohol* (PVA) dan jenis modifikasi STKS (selulosa tandan kosong sawit), NSTKS (nanoselulosa tandan kosong sawit) dan SATKS (selulosa asetat tandan kosong sawit) dengan konsentrasi serat (1%, 3% dan 5%). Karakterisasi *biofoam* meliputi daya serap air, kuat tekan, densitas, kristalinitas, titik leleh ( $T_m$ ) dan morfologi. Jenis modifikasi NSTKS dan SATKS pada konsentrasi tinggi menghasilkan nilai daya serap air tinggi, kuat tekan rendah dan densitas rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa STKS 5% dapat menurunkan daya serap air, meningkatkan densitas dan kuat tekan.

Kata kunci: biodegradable foam, nanoselulosa, selulosa asetat, selulosa, tandan kosong sawit.

### ABSTRACT

Etikaningrum, Joko Hermanianto, Evi Savitri Iriani, Rizal Syarief, and Asep Wawan Permana. 2016. Effect of Addition Various Modification Empty Fruit Bunches Fiber on-Functional Properties of Biodegradable Foam

Biodegradable foam as alternative to styrofoam has been developed with pure starch as the main ingredient, but biofoam produced is still fragile and easily absorbs water. Therefore, other materials such as plasticizer, modified starch, synthetic polymers and fiber need to be added into dough formulation. One of the natural fibers of considerable potential is oil palm empty fruit bunches (EFB). The purpose of this study was determine the effect of incorporation of different concentration of fibers modified with several different methods on the biofoam characteristics. Biofoam was prepared by mixing tapioca, polyvinyl alcohol (PVA), and various modification of EFB, namely STKS (empty fruit bunches cellulose), NSTKS (empty fruit bunches nanocellulose) and SATKS (empty fruit bunches cellulose acetate) by thermopressing technique. Each type of cellulose was added in three different concentration (1%, 3%, and 5%). Biofoam characterization included water absorption capacity, compressive strength, density, crystallinity, melting point ( $T_m$ ) and morphology. Biofoam made from NSTKS and SATKS with high concentration have high water absorb capacity, low compressive strength and density. The results showed that the addition of STKS at a concentration of 5% decreased water absorption capacity and, increased density and compressive strength.

Key words: biodegradable foam, cellulose, cellulose acetate, empty fruit bunches, nanocellulose

## PENDAHULUAN

Gaya hidup manusia yang serba praktis menyebabkan meningkatnya penggunaan plastik *styrofoam* sebagai kemasan makanan atau minuman. *Styrofoam* banyak digunakan oleh produsen makanan sebagai bahan pengemas produk makanan ataupun minuman sekali pakai, baik makanan siap saji, segar maupun siap olahan<sup>1</sup>. Hal tersebut dikarenakan keunggulan *styrofoam* yaitu tidak mudah bocor, praktis, ringan, memiliki kemampuan menahan panas dan dingin yang baik serta lebih ekonomis<sup>2</sup>. Namun ternyata *styrofoam* memiliki banyak dampak negatif karena bahaya dari migrasi monomer berupa stirena dalam jangka waktu panjang dapat membahayakan kesehatan<sup>1</sup>. *Styrofoam* juga dapat mencemari lingkungan karena tidak bisa terurai di alam.

Untuk mengurangi bahaya negatif dari *styrofoam*, saat ini telah dilakukan upaya pengembangan produk *bio-based* polimer yang berasal dari bahan alami sehingga lebih aman dan tidak mencemari lingkungan<sup>3</sup>. Salah satu kemasan bioplastik yang digunakan sebagai alternatif pengganti *styrofoam* adalah *biofoam*. Bahan yang banyak digunakan dalam pembuatan *biofoam* adalah pati, namun *biofoam* yang dihasilkan dari pati murni masih bersifat mudah menyerap air dan rapuh<sup>4</sup>. Oleh karena itu adonan *biofoam* perlu ditambahkan bahan lain diantaranya *plasticizer*, pati modifikasi, polimer sintetis dan serat<sup>5</sup>. Salah satu serat alam yang cukup potensial dan ketersediaannya melimpah adalah tandan kosong sawit (TKS) yang merupakan limbah industri kelapa sawit dengan kandungan serat, komposisi bahan organik dan mineral yang cukup tinggi. Kandungan selulosa yang tinggi pada TKS dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan *biofoam* untuk meningkatkan sifat fisik dan mekaniknya.

Kekuatan mekanik pada serat selulosa sangat dipengaruhi oleh ukuran diameter serat. Semakin besar diameter serat maka semakin rendah nilai kekuatan tarik dan modulus elastisitas, demikian pula sebaliknya<sup>6</sup>. Menurut Iriani *et al*<sup>7</sup>, nanoselulosa yang dibuat dengan metode *grinding* dari serat nanas dapat meningkatkan kuat tarik dan elongasi pada biofilm berbasis PVA. Penelitian tentang penambahan nanoselulosa yang dibuat dengan metode *grinding* pada *biofoam* belum pernah dilakukan. Selulosa yang berukuran nano diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanik pada *biofoam* yaitu kuat tekan yang lebih baik daripada *biofoam* yang terbuat dari serat alami, selain itu *biofoam* juga sangat mudah menyerap air karena sifat bahannya yaitu pati bersifat hidrofilik<sup>4</sup>. Upaya untuk meningkatkan hidrofobisitas dapat dilakukan dengan proses asetilasi. Selulosa asetat memiliki banyak kelebihan yaitu kualitas

transparansi yang baik, kekuatan tarik yang baik, tahan panas, daya serap air rendah dan mudah terbiodegradasi<sup>8</sup>. Beberapa penelitian tentang proses asetilasi dalam pembuatan bioplastik untuk meningkatkan hidrofobisitas diantaranya pati asetat jagung dan pati jagung pada pembuatan *biofoam*<sup>9</sup>, serta *biofoam* dari campuran pati asetat dan serat jagung<sup>10</sup>. Penambahan selulosa asetat diharapkan dapat menurunkan daya serap air sehingga *biofoam* tidak mudah bocor dan dapat digunakan sebagai bahan pengemas makanan.

Penelitian bertujuan untuk mengetahui jenis modifikasi STKS (selulosa tandan kosong sawit), NSTKS (nanoselulosa tandan kosong sawit) dan SATKS (selulosa asetat tandan kosong sawit) serta konsentrasi selulosa (1%, 3% dan 5%) yang tepat sehingga dapat menghasilkan sifat fungsional *biofoam* dengan karakteristik terbaik. Serta mengetahui karakteristik *biofoam* yang dihasilkan seperti daya serap air, kuat tekan, densitas, kristalinitas, titik leleh dan morfologi.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan untuk pembuatan *biofoam* adalah serat tandan kosong sawit (TKS) yang diperoleh dari PTPN 7 Lampung. Serat TKS tersebut kemudian dimodifikasi dengan *pulping process* (STKS), *grinding process* (NSTKS), serta asetilasi (SATKS). Tapioka yang diperoleh dari pasar, *Polivinil alcohol* (PVA) komersial Celvol TM Sekisui Chemical Co.ltd, Mg Stearat teknis. Alat utama yang digunakan dalam pembuatan *biofoam* adalah *Thermopressing machine*, baskom, timbangan digital, dan sudip. Alat untuk analisis terdiri dari timbangan analitik, jangka sorong, *Texture analyzer* dengan probe TA18, *X-ray Diffraction* (XRD) Bruker D8, *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) Perkin Elmer, dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) Zeiss EVO M10 USA.

### Metode Penelitian

#### *Produksi dan karakterisasi serat termodifikasi*

##### 1. STKS dengan Pulping process<sup>11</sup>

STKS dihasilkan dari beberapa tahap yaitu preparasi, prehidrolisis atau pemasakan, delignifikasi, dan bleaching. Pertama-tama serat dibersihkan lalu potongan serat dipanaskan untuk menghilangkan komponen minyak, lemak dan kotoran pada serat sehingga mempermudah proses selanjutnya. Delignifikasi dilakukan untuk melarutkan lignin menggunakan NaOH 10% (b/v) selama 15 menit pada suhu 121 °C dan

bleaching dilakukan untuk menghilangkan sisa lignin yang masih tersisa dan mencerahkan warna pulp dengan larutan hipoklorit.

2. NSTKS dengan grinding process<sup>7</sup>

NSTKS diproduksi menggunakan *ultrafine grinder* (Masuko crop, Japan) dilakukan dengan mencampur STKS sebanyak 50 gram (2% dari bobot keringnya) dilarutkan dalam 2,34 liter aquades (98% air). Campuran dimasukkan dalam *Ultra Fine Grinder* dengan beberapa kali putaran *gap*. *Gap* merupakan pengaturan jarak antara kedua batu gerinda yang bergesekan pada perangkat *ultrafine grinder*. Posisi (+) merupakan jarak kedua batu gerinda yang semakin menjauh, sementara posisi (-) menunjukkan jarak batu gerinda yang semakin rapat. Penggilingan dilakukan dengan kecepatan 1500 rpm pada *gap* 10, *gap* 5, *gap* 0, *gap* -5 dan *gap* -10 secara berurutan dan diulang sebanyak 10-15 kali pada masing-masing tingkat *gap*. Nanoselulosa yang dihasilkan berupa gel berwarna putih dengan diameter 92,07nm. Karena kadar air NSTKS terlalu tinggi (97%), sebelum dicampurkan pada adonan *biofoam*, NSTKS di sentrifugasi terlebih dahulu kemudian air yang terpisah dikurangi sesuai dengan kebutuhan air pada campuran adonan.

3. SATKS dengan asetilasi<sup>12, 13</sup>

Produksi SATKS dilakukan dengan beberapa tahap yaitu aktivasi, asetilasi, hidrolisis, penyaringan dan pengeringan. Pembuatan selulosa asetat dilakukan dengan perlakuan waktu asetilasi 30, 60 dan 90 menit dan rasio perbandingan selulosa dan asetat anhidrat

(1:3), (1:4) dan (1:5). Kadar asetil yang sesuai untuk pembuatan bioplastik menurut Bahmid<sup>13</sup> berkisar antara 36,5-42,2%, dihasilkan pada perlakuan waktu asetilasi 90 menit dan rasio 1:5 dengan kadar asetil 41,61% dan nilai derajat substitusi (DS) 2,64.

**Pembuatan biofoam<sup>14</sup>**

Pembuatan *biofoam* menggunakan metode rekomendasi Iriani<sup>14</sup>. Campuran bahan-bahan seperti serat modifikasi (STKS, NSTKS dan SATKS), tapioka, PVA 10%, Mg stearat 5% dan air diaduk dengan tangan hingga bahan tercampur rata. Perbandingan bahan padat dan cair adalah (60:40). Selanjutnya adonan dicetak dengan alat *thermopressing* selama 4 menit dengan suhu mesin bagian atas 177 °C dan bagian bawah 166 °C (±50 gram untuk satu cetakan *biofoam*). Formula bahan yang digunakan pada pembuatan *biofoam* dapat dilihat pada Tabel 1. Kemudian *biofoam* yang dihasilkan dianalisis sesuai dengan parameter uji.

**Analisis daya serap air**

Daya serap air dihitung dengan prosedur ABNT NBR NM ISO 535 mengikuti metode Iriani<sup>14</sup>. Potongan *biofoam* ukuran 25 x 50 mm<sup>2</sup> ditimbang lalu dicelupkan ke dalam air selama 1 menit dan sisa air pada permukaan dikeringkan menggunakan tisu. Sampel ditimbang kembali dan dihitung pertambahan berat sampel.

$$DSA (\%) = (\text{berat sampel setelah dicelup-berat sampel awal}) / \text{berat sampel awal} \times 100\%$$

Tabel 1. Formula adonan *biofoam*  
Table 1. Formulation of biodegradable foam dough

Kode sampel/ Sampel code	Bahan kering/ dry material				Bahan basah/ wet material
	Tapioka/ Tapioca (g)	Selulosa/ Cellulose (g)	PVA/ PVA (g)	Mg Stearat/ Mg Stearat (g)	Air/ water (ml)
STKS 1%	84	1	10	5	40
STKS 3%	82	3	10	5	40
STKS 5%	80	5	10	5	40
NTKS 1%	84	1	10	5	40
NTKS 3%	82	3	10	5	40
NTKS 5%	80	5	10	5	40
SATKS 1%	84	1	10	5	40
SATKS 3%	82	3	10	5	40
SATKS 5%	80	5	10	5	40

Keterangan / Remarks :

STKS : Selulosa tandan kosong sawit / empty fruit bunches cellulose

NTKS : Nanoselulosa tandan kosong sawit/ empty fruit bunches nanocellulose

SATKS : Selulosa asetat tandan kosong sawit/ empty fruit bunches cellulose acetate

\*formula untuk 100 gram adonan/ formulation for 100 gram of dough

### **Analisis Densitas**

Densitas dihitung mengikuti metode Polat<sup>15</sup> dilakukan dengan cara menghitung massa dan volume sampel. Pengukuran massa dilakukan dengan menimbang sampel *biofoam* yang telah dipotong dengan ukuran 3cm x 3cm pada timbangan analitik sedangkan volume dihitung dengan cara mengalikan panjang, lebar dan tebal potongan sampel *biofoam* dengan jangka sorong :

$$\rho = m/v$$

Keterangan :

$\rho$  = massa jenis (gram/cm<sup>3</sup>, m = massa (gram), v = volume (cm<sup>3</sup>)

### **Analisis kuat tekan**

Pengukuran kuat tekan dilakukan dengan menggunakan *texture analyzer* (TA) mengikuti metode Iriani dan Rahmatunisa<sup>14,16</sup>. Potongan *biofoam* ukuran 1cm x 5cm ditekan dengan menggunakan probe TA18 pada kecepatan 1mm/s. pengukuran kuat tekan adalah besarnya gaya tekan yang diterima sampel per satuan luas dan dinyatakan dalam N/mm<sup>2</sup>.

### **Analisis Kristalinitas**

Kristalinitas *biofoam* diuji menggunakan XRD Bruker D8. Sampel dipotong sesuai dengan bentuk *holder* dengan diameter 4cm lalu ditembak dengan sinar-X (panjang gelombang  $K\alpha$  Cu = 1,54060 Å) sehingga diperoleh gambaran pada difraksi sinar-X dalam grafik hubungan antara intensitas dengan  $2\theta$ . Penentuan indeks kristalinitas dihitung dengan persamaan Segal seperti yang dilakukan pada penelitian Yue<sup>17</sup>:

$$Crl (\%) = I_c / (I_c + I_a) \times 100\%$$

Keterangan:

Crl = Indeks kristalinitas dalam persen

$I_c$  dan  $I_a$  = Indeks pada daerah puncak kristalin dan amorf

### **Analisis sifat termal**

Analisis sifat termal dilakukan dengan menggunakan DSC Perkin Elmer. Analisis thermal dilakukan untuk mengetahui perubahan fisik seperti titik transisi gelas

(Tg), titik leleh (Tm), dan entalpi. Sampel ditempatkan pada DSC *pan* sebanyak 5-6 mg. Analisa dilakukan dengan pemanasan sampel pada suhu 25-200°C dengan kecepatan pemanasan 10°C/menit pada atmosfer nitrogen. *Pan* kosong digunakan sebagai referensi.

### **Analisis Sifat Morfologi**

Analisis morfologi mengikuti metode yang dilakukan Rahmatunisa<sup>16</sup>. Sampel *biofoam* dipotong menjadi potongan kecil (2mm x 2mm) dan dipasang pada penampang visualisasi perunggu dengan menggunakan *double side tipe* kemudian dilapisi dengan lapisan emas dengan waktu coating  $\pm$  30 detik. Sampel dimasukkan ke dalam alat SEM dan gambar permukaannya diambil menggunakan *detector SE (Secondary Electron)*, WD (*Working Distance*) 11,5-12 mm dan EHT (*Extra High Tension*) dengan tegangan 5-15 kV.

### **Analisis Statistik**

Penelitian ini menggunakan rancangan acak faktorial 3x3 dengan 9 perlakuan dan terdiri dari 2 faktor yaitu jenis modifikasi selulosa terdiri dari 3 taraf (STKS, NSTKS, SATKS) dan konsentrasi serat modifikasi (1%, 3%, dan 5%) dengan ulangan sebanyak 3 kali, kemudian dianalisis sesuai dengan parameter uji dengan analisis sidik ragam ( $\alpha = 5\%$ ) dan dilanjutkan dengan uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) menggunakan bantuan program perhitungan IBM SPSS Statistics (*Statistical Package for service solutions*) versi 22.0.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Karakteristik daya serap air, kuat tekan, densitas, kristalinitas, titik leleh dan morfologi *biofoam***

Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa jenis modifikasi memberikan pengaruh nyata terhadap daya serap air, kuat tekan dan densitas, sedangkan konsentrasi serat hanya berpengaruh nyata terhadap kuat tekan *biofoam*. Pengaruh interaksi antara lain jenis modifikasi dan konsentrasi serat hanya terdapat pada perlakuan kuat tekan *biofoam*. Data hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter daya serap air, kuat tekan, densitas, kristalin dan titik leleh *biofoam*

Table 2. Water absorption capacity parameters, compressive strength, density, crystallinity and melting point of *biofoam*

Kode Sampel/Sampel code		Daya serap air/ Water absorption	Kuat tekan/ Compressive strength	Densitas/ Density	*Kristalin/ Crystallinity	*Titik leleh/ Melting Point (Tm)
Jenis / type	(%)	(%)	N/mm <sup>2</sup>	g/cm <sup>3</sup>	(%)	(°C)
STKS	1	27,50 <sup>Aa</sup> ± 7,13	11,26 <sup>Bb</sup> ± 0,99	0,27 <sup>Ba</sup> ± 0,04	34,7	75,93
	3	24,61 <sup>Aa</sup> ± 1,02	12,64 <sup>Bb</sup> ± 1,54	0,27 <sup>Ba</sup> ± 0,03	37,1	75,36
	5	23,40 <sup>Aa</sup> ± 3,05	13,92 <sup>Ba</sup> ± 3,22	0,28 <sup>Ba</sup> ± 0,02	31,3	76,29
NSTKS	1	36,41 <sup>Ba</sup> ± 1,39	9,69 <sup>Ab</sup> ± 0,78	0,23 <sup>Aa</sup> ± 0,03	27,4	80,09
	3	37,56 <sup>Ba</sup> ± 3,21	8,74 <sup>Ab</sup> ± 3,20	0,23 <sup>Aa</sup> ± 0,02	33,4	74,84
	5	45,54 <sup>Ba</sup> ± 5,01	4,34 <sup>Aa</sup> ± 0,69	0,16 <sup>Aa</sup> ± 0,01	34,2	78,90
SATKS	1	24,66 <sup>Aa</sup> ± 0,72	11,14 <sup>Ab</sup> ± 1,94	0,27 <sup>Ba</sup> ± 0,005	41,3	73,70
	3	24,70 <sup>Aa</sup> ± 0,68	9,59 <sup>Ab</sup> ± 2,54	0,28 <sup>Ba</sup> ± 0,03	39,7	77,42
	5	26,68 <sup>Aa</sup> ± 8,75	6,12 <sup>Aa</sup> ± 1,19	0,25 <sup>Ba</sup> ± 0,05	36,7	81,77

Keterangan / Remarks:

- Huruf besar (A, B, C) yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata pada jenis modifikasi STKS, NSTKS dan SATKS / Capital letters (A, B, C) are different in the same column indicate significant differences in the types of modifications STKS, NSTKS and SATKS

- Huruf kecil (a, b) yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata pada konsentrasi penambahan serat 1%, 3%, dan 5% / Lowercase letters (a, b), which differ in the same column indicate significant differences in the addition of fiber concentration of 1%, 3%, and 5%

\* Tidak dilakukan pengujian statistik karena hanya satu ulangan / no statistical analysis involved because the test was only conducted one time.

**Daya serap air**

Pengujian daya serap air dilakukan untuk mengetahui ketahanan *biofoam* terhadap penyerapan air. *Biofoam* berbasis pati sangat rentan terhadap air karena memiliki sifat hidrofilik. Molekul air akan menyerang ikatan hidrogen pati, sehingga dapat melemahkan dan menurunkan sifat fungsional dari *foam*<sup>18</sup>. Uji water absorption dilakukan dengan cara menghitung perubahan berat akibat banyaknya air yang diserap *biofoam* setelah dicelupkan ke dalam air selama satu menit. Jumlah air yang diserap dituliskan sebagai persen air yang terserap<sup>14</sup>. Daya serap air *biofoam* yang dihasilkan pada penelitian ini adalah antara 23,40-45,54%.

Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa jenis modifikasi serat berpengaruh nyata terhadap daya serap air namun konsentrasi serat tidak berpengaruh terhadap daya serap air, serta tidak ada interaksi antara kedua faktor. Berdasarkan uji duncan jenis modifikasi NSTKS berbeda nyata dengan STKS dan SATKS. Untuk menyesuaikan kondisi bahan basah pada perlakuan STKS dan SATKS, sebelum dicampurkan dalam adonan NSTKS dengan kadar air 97% terlebih dahulu di sentrifugasi, kemudian air yang terpisah dikurangi sesuai dengan kebutuhan bahan basah dalam adonan. Kadar air STKS adalah 4,4%, kadar air SATKS adalah 4,69%, sedangkan kadar air NSTKS setelah di sentrifugasi yaitu 86,48%. Kadar air yang masih tinggi pada NSTKS

menyebabkan semakin encernya adonan *biofoam* ketika semakin banyak NSTKS yang ditambahkan. Kadar air pada adonan *biofoam* berfungsi sebagai *blowing agent* untuk meningkatkan ekspansi adonan sehingga menghasilkan struktur berongga. Adonan yang terlalu encer akan menyebabkan ekspansi yang berlebihan sehingga struktur *biofoam* yang dihasilkan memiliki banyak rongga, dinding yang tipis dan daya serap air yang tinggi<sup>14</sup>.

**Kuat tekan**

Tujuan pengamatan kuat tekan adalah untuk mengetahui kekuatan *biofoam* sehingga dapat melindungi produk yang dikemas. *Biofoam* dengan nilai kuat tekan yang cukup tinggi diharapkan dapat menjadi bahan pengemas yang kuat, tidak mudah patah dan dapat mempertahankan bentuk selama digunakan sebagai wadah pengemas<sup>14</sup>. Pengamatan kuat tekan *biofoam* dilakukan dengan menggunakan *texture analyzer* dengan probe TA<sup>18</sup>. Berdasarkan uji keragaman, jenis modifikasi serat dan konsentrasi serat berpengaruh secara nyata terhadap kuat tekan dari *biofoam* dan terdapat interaksi antara kedua faktor tersebut (Tabel 2). Penambahan jenis modifikasi STKS dapat meningkatkan nilai kuat tekan *biofoam*. Hal ini sejalan dengan pendapat Salgado *et al*<sup>5</sup> dan Kaisangsri *et al*<sup>4</sup> bahwa penambahan serat dapat meningkatkan kuat tekan *biofoam* karena serat dapat

mengisi celah pada matriks pati sehingga mempunyai nilai kuat tekan yang besar.

*Biofoam* jenis modifikasi NSTKS mengalami penurunan kuat tekan dengan meningkatnya penambahan konsentrasi serat. Berbeda dengan penelitian Iriani *et al*<sup>1</sup> pada pembuatan film berbasis PVA dengan nanoselulosa yang dibuat dengan *grinding process* dari serat nanas dapat meningkatkan kekuatan mekanis. Pada film, kadar air dalam adonan film nanoselulosa akan menguap pada saat pemanasan dengan oven. Sedangkan pada *biofoam*, kadar air nanoselulosa berpengaruh pada proses ekspansi. Air dalam adonan *biofoam* berfungsi sebagai blowing agent untuk meningkatkan ekspansi adonan sehingga menghasilkan struktur berongga<sup>14</sup>. Adonan yang terlalu encer akan menyebabkan ekspansi yang berlebihan sehingga struktur *biofoam* yang dihasilkan memiliki banyak rongga, dinding yang tipis dan daya serap air yang tinggi, hubungan tersebut dapat dijelaskan dengan struktur morfologinya<sup>19</sup>. Penurunan nilai kuat tekan juga terjadi pada *biofoam* jenis modifikasi SATKS. Pada penelitian Hu<sup>20</sup> penambahan selulosa asetat pada *biofoam* sebagai *reinforcement filler* dan agen nukleasi pada campuran PBS (*poly butylene siksinat*) dapat meningkatkan sifat mekanik secara bertahap kemudian menurun pada konsentrasi penambahan yang terlalu banyak. Penurunan kuat tekan pada *biofoam* SATKS dapat dikarenakan tidak adanya *compatibilizer* yang berfungsi sebagai penghubung antara selulosa asetat yang bersifat hidrofobik dan pati yang bersifat hidrofilik sehingga membuat campuran adonan kurang *compatible*. *Compatibilizer* berfungsi untuk meningkatkan adhesi permukaan dan menurunkan tegangan permukaan antara dua bahan yang berbeda sifat<sup>21</sup>. Kemudian pada peningkatan selulosa asetat yang semakin banyak menghasilkan kuat tekan yang semakin rendah dikarenakan rendahnya adhesi dan kurang homogen antara dua polimer yang berbeda polaritas.

### Densitas

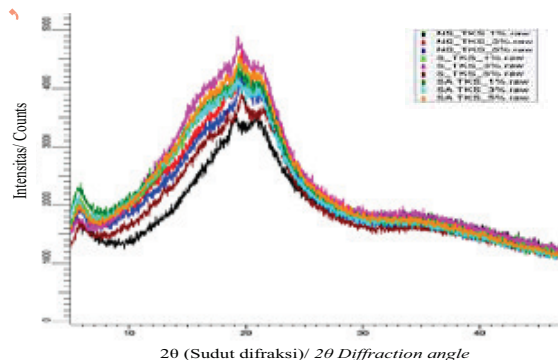
Sebagai produk kemasan, densitas *biofoam* berpengaruh pada bobot produk, daya serap air, dan sifat mekanisnya<sup>14</sup>. Nilai densitas yang kecil menandakan *biofoam* memiliki berat yang kecil selain itu densitas yang rendah diinginkan karena dapat mengurangi biaya transport<sup>22</sup>. Nilai densitas *biofoam* pada penelitian ini sekitar 0,16-0,28 g/cm<sup>3</sup>, nilai ini lebih rendah jika dibandingkan dengan *biofoam* pati, PVA, kitosan dan serat batang tebu pada penelitian Debiagi *et al*<sup>23</sup> (0,20-0,34 g/cm<sup>3</sup>), Salgado *et al*<sup>5</sup> dari tapioka, bunga matahari dan serat selulosa (0,456-0,587 g/cm<sup>3</sup>), dan Kaisangsri *et al*<sup>18</sup> dari tapioka dan serat kraft (0,22-0,71 g/cm<sup>3</sup>).

Analisis keragaman menunjukkan, jenis modifikasi

berpengaruh terhadap densitas, namun konsentrasi tidak berpengaruh terhadap densitas serta tidak ada interaksi antara kedua faktor. Berdasarkan uji duncan *biofoam* NSTKS berbeda nyata dengan STKS dan SATKS yang menghasilkan nilai densitas yang cenderung kecil. Menurut Cinelli *et al*<sup>24</sup> kemampuan ekspansi yang tinggi akan menghasilkan porositas yang tinggi dan nilai densitas rendah. Adonan *biofoam* NSTKS yang cenderung encer dengan kadar air tinggi kemungkinan menyebabkan terjadinya ekspansi yang berlebihan sehingga *biofoam* yang dihasilkan memiliki banyak rongga yang tidak beraturan dengan nilai densitas yang rendah. Film nanocellulose telah dilaporkan memiliki sifat unik seperti densitas rendah, porous, transparan, dan kekuatan mekanis tinggi<sup>25</sup>. Densitas *biofoam* yang semakin menurun juga terjadi pada penelitian Svagan *et al*<sup>26</sup> dengan semakin banyaknya penambahan MFC (*micro fibrillated cellulose*).

### Kristalinitas

Kristalinitas merupakan sifat penting pada *biofoam* yang menunjukkan keteraturan ikatan antara rantai molekul dalam material. Grafik difraktogram sampel *biofoam* ditunjukkan pada Gambar 1. Nilai kristalinitas pada penelitian ini berkisar antara 27,4% - 41,3% (Tabel 2).



Gambar 1. Analisis XRD *biofoam*

Figure 1. XRD analysis of *biofoam*

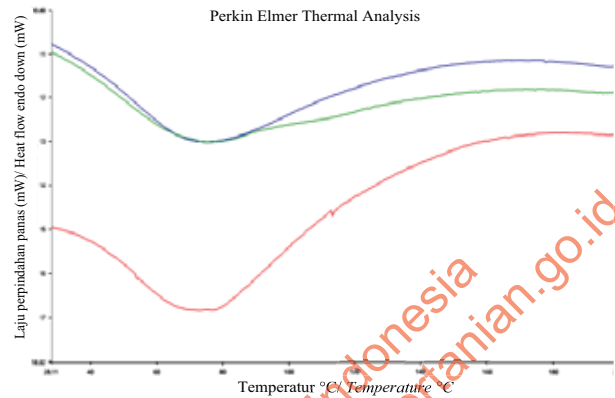
Kristalinitas serat jenis modifikasi STKS, NSTKS dan SATKS tidak diukur, namun menurut literatur proses delignifikasi (dilakukan pada tahap pembuatan STKS) dapat meningkatkan kristalinitas serat murni TKS dari 13,2% menjadi 29,5%<sup>27</sup>. Penambahan STKS pada *biofoam* mengalami peningkatan kristalinitas pada konsentrasi 3% kemudian menurun pada konsentrasi 5%. Menurut Iriani<sup>14</sup> penambahan serat mampu meningkatkan kristalinitas *biofoam* karena selulosa memiliki daerah kristalin yang lebih besar dibandingkan dengan pati. Penurunan kristalinitas diduga karena

komposisi adonan biofoam lebih banyak mengandung pati daripada serat. Struktur selulosa memiliki gaya tarik intermolekuler yang lebih besar dari pada pati. Pencampuran selulosa yang semakin banyak dengan pati dalam adonan membuat gaya tarik intermolekul selulosa tidak terdispersi dengan merata sehingga homogenitas adonan semakin berkurang<sup>28</sup>. Homogenitas yang rendah menandakan campuran adonan tidak terikat satu sama lain dan memiliki keteraturan yang kurang sehingga kristalinitas menurun.

Semakin banyaknya NSTKS semakin mengalami peningkatan kristalinitas. Hasil ini sejalan dengan Rathnayake *et al*<sup>29</sup> bahwa nanopartikel seng oksida pada biofoam dari karet latex alami dapat meningkatkan bagian kristalin. Hal tersebut juga didukung oleh pendapat Panthapulakkal dan Sain<sup>30</sup> bahwa studi kristalinitas menunjukkan tidak ada degradasi pada kristalinitas serat *pulp* selama proses mekanik dengan metode *grinding*. Kristalinitas *biofoam* jenis modifikasi SATKS mengalami penurunan dengan semakin banyaknya konsentrasi serat. Hal ini sejalan dengan penelitian Morgado *et al*<sup>31</sup> yang juga mengalami penurunan kristalinitas pada film selulosa asetat dengan nilai derajat substitusi yang semakin tinggi (0,8- 2,9), penelitian ini menggunakan selulosa asetat dengan nilai DS yang cukup tinggi yaitu 2,64. Kemungkinan nilai DS yang tinggi pada selulosa asetat menyebabkan tegangan permukaan yang tinggi antara tapioka dan konsentrasi selulosa asetat yang semakin banyak, hal tersebut menyebabkan campuran tidak *compatible* dan tidak berikatan dengan baik sehingga menghasilkan nilai kristalinitas yang menurun ketika semakin banyaknya selulosa asetat.

#### Analisis Termal

Pengukuran analisis termal dilakukan dengan menggunakan DSC untuk mengetahui titik transisi gelas ( $T_g$ ) dan titik leleh ( $T_m$ ). Hasil analisis sifat termal biofoam pada Gambar 2 tidak ditemukan peak yang menunjukkan adanya  $T_g$  pada semua perlakuan. Menurut penelitian Iriani<sup>14</sup> nilai  $T_g$  tapioka adalah 61,15°C, berdasarkan penelitian Rahmatunisa<sup>16</sup> nilai  $T_g$  *biofoam* pada *biofoam* campuran tapioka, PVA, dan serat ampok jagung menghasilkan nilai  $T_g$  38,35°C. Tidak terdeteksinya  $T_g$  pada termogram diduga karena perubahan kapasitas panas yang sangat rendah dalam transisi gelas<sup>32,33</sup>. Kemungkinan suhu start pada penelitian ini terlalu tinggi, karena selang temperatur pengujian yang digunakan adalah antara 25°C- 200°C.



Gambar 2. Analisis DSC *biofoam* (a) *Biofoam* STKS 3% (b) *Biofoam* NSTKS 3% (c) *Biofoam* SATKS 3%

Figure 2. DSC analysis of *biofoam* (a) *Biofoam* STKS 3% (b) *Biofoam* NSTKS 3% (c) *Biofoam* SATKS 3%

Titik leleh ( $T_m$ ) yang terukur berkisar antara 73,70–81,77°C. Nilai  $T_m$  (*melting point*) pada sampel *biofoam* STKS dan NSTKS mengalami penurunan kemudian peningkatan secara fluktuatif (Tabel 2). Nilai  $T_m$  pada sampel *biofoam* jenis modifikasi STKS dan NSTKS menunjukkan nilai yang fluktuatif. Nilai  $T_m$  yang fluktuatif pada *biofoam* dimungkinkan karena adanya interaksi pada matriks polimer serta adanya pengaruh ukuran partikel dan kehomogenan partikel<sup>33</sup>. Nilai  $T_m$  pada SATKS mengalami peningkatan dengan bertambahnya konsentrasi selulosa asetat. Nilai  $T_m$  selulosa asetat komersial mendekati PVC yaitu 170-240°C<sup>35</sup>. Semakin meningkat kadar asetil selulosa asetat maka titik leleh akan meningkat, begitu juga sebaliknya. Hal ini dikarenakan ketahanan terhadap panas selulosa asetat lebih tinggi dari pada selulosa, sehingga semakin banyak gugus asetil yang disubstitusikan terhadap gugus hidroksil selulosa maka *melting point* bahan tersebut akan semakin tinggi<sup>35</sup>.

#### Hubungan keterkaitan antar parameter

Menurut Iriani<sup>14</sup> densitas berhubungan dengan parameter lain seperti kuat tekan dan daya serap air. Untuk mengetahui keterkaitan hubungan antara parameter densitas *biofoam* dengan nilai kuat tekan dan daya serap air dilakukan perhitungan korelasi *pearson*. Nilai korelasi *pearson* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai korelasi *pearson* antar parameter  
 Table 3. *Pearson correlation between parameter value*

Nilai R/ <i>R Value</i>	Densitas/ <i>Density</i>	Kristalinitas/ <i>Crystallinity</i>
Kuat tekan/ <i>Compressive strength</i>	0,791*	-0,026
Daya serap air/ <i>Water absorption</i>	-0,968**	-0,457
Titik leleh/ <i>Melting Point (Tm)</i>	-	-0,363

Ket \* Berkorelasi nyata ( $p < 0,05$ ) / Significantly correlated ( $p < 0,05$ )

\*\* Berkorelasi nyata ( $p < 0,01$ ) / Significantly correlated ( $p < 0,01$ )

Densitas memiliki nilai korelasi *pearson* yang sangat kuat terhadap kuat tekan ( $R = 0,791$ ,  $p < 0,05$ ) yang menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai densitas, maka nilai kuat tekan juga tinggi. Densitas yang semakin tinggi artinya memiliki kepadatan yang tinggi, sehingga dapat menopang *biofoam* dari tekanan dan memiliki kekuatan tekan yang besar. Nilai densitas yang rendah dapat berpengaruh pada penurunan nilai kekuatan mekanis, begitu pula sebaliknya<sup>36</sup>. Sedangkan korelasi densitas dengan daya serap air menunjukkan hasil yang negatif. Hubungan korelasi antara densitas dan daya serap air menghasilkan nilai korelasi *pearson* negatif yang sangat kuat ( $R = -0,968$ ,  $p < 0,01$ ) menunjukkan hubungan yang berlawanan arah. Hal ini menandakan bahwa semakin rendah densitas maka daya serap airnya akan semakin meningkat. Densitas yang rendah menandakan sifat *biofoam* yang rapuh, ringan dan *porous* dengan banyak rongga. Struktur yang *porous* menyebabkan air mudah menyerap sehingga nilai daya serap air meningkat<sup>14</sup>.

Kristalinitas dapat menentukan parameter lain seperti kuat tekan, daya serap air dan  $T_m$ <sup>14</sup>. Kristalinitas terhadap daya serap air dan  $T_m$  menghasilkan nilai korelasi *pearson* negatif yang cukup kuat. Daya serap air menunjukkan korelasi *pearson* negatif dengan nilai ( $R = -0,457$ ,  $p > 0,05$ ). Nilai negatif menandakan semakin tinggi nilai kristalinitas, maka semakin rendah daya serap air. Semakin tinggi kadar serat maka daya serap air akan menurun karena adanya serat pada adonan *biofoam* membuat struktur mikrofibrilnya lebih rapat dan penyerapan akan terhambat<sup>14</sup>.  $T_m$  menunjukkan korelasi *pearson* dengan nilai negatif yang cukup kuat ( $R = -0,363$ ,  $p > 0,05$ ). Menurut Mutiah dan Surida<sup>37</sup> semakin tinggi kristalinitas maka  $T_m$  juga tinggi, namun analisis korelasi menunjukkan nilai negatif yang menandakan hubungan berlawanan arah, yaitu semakin tinggi kristalinitas maka semakin rendah nilai  $T_m$ . Sedangkan nilai korelasi *pearson* kristalinitas terhadap kuat tekan menghasilkan nilai yang sangat lemah ( $R =$

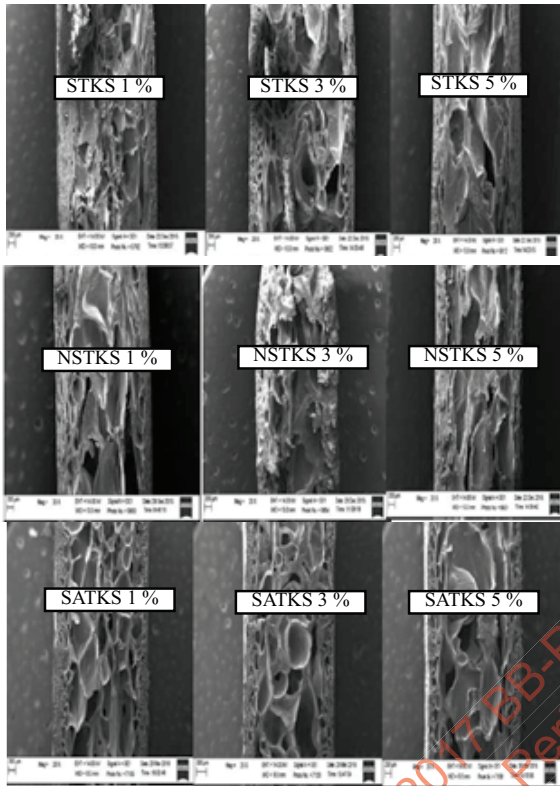
$0,026$ ,  $p > 0,05$ ) yang menunjukkan hampir tidak adanya hubungan antara kristalinitas dan kuat tekan. Menurut Iriani<sup>14</sup> kristalinitas *biofoam* dapat meningkat dengan penambahan serat karena daerah kristalin selulosa pada serat lebih besar dibandingkan dengan pati, namun nilai kristalinitas pada penelitian ini mengalami kenaikan dan penurunan secara fluktuatif pada setiap perlakuan jenis modifikasi dan konsentrasi serat. Kristalinitas *biofoam* STKS mengalami peningkatan dan penurunan secara fluktuatif. Kristalinitas *biofoam* NSTKS semakin mengalami peningkatan nilai kristalinitas dengan bertambahnya konsentrasi serat. Kristalinitas *biofoam* SATKS mengalami penurunan dengan semakin banyaknya konsentrasi serat. Kemungkinan perbedaan jenis modifikasi menyebabkan nilai kristalinitas yang fluktuatif sehingga berdampak pada berlawanannya nilai korelasi antara kristalinitas dengan  $T_m$  serta rendahnya nilai korelasi antara kristalinitas dengan kuat tekan.

### Morfologi

Pengujian morfologi dilakukan untuk mendukung analisis korelasi antara densitas dengan kuat tekan dan daya serap air serta keterkaitan antara sifat morfologi dengan densitas, kuat tekan dan daya serap air. Berdasarkan hasil SEM perbesaran 20x (Gambar 3).

Pada *biofoam* jenis STKS terlihat ukuran lubang tidak homogen dan terlihat dinding pori yang lebih tebal. Hal ini sesuai dengan nilai densitas dan kuat tekan yang besar serta daya serap air yang kecil. Jenis modifikasi NSTKS memiliki dinding yang lebih tipis dan ukuran pori yang tidak beraturan serta memiliki nilai densitas rendah dan kuat tekan yang sangat rendah serta daya serap air yang besar. Pada jenis modifikasi SATKS menghasilkan sel yang lebih jelas, *homogeny* dengan dinding sel yang tebal pada konsentrasi rendah, namun pada konsentrasi penambahan selulosa asetat yang tinggi menghasilkan rongga yang semakin besar dan tidak beraturan. Hal ini sebanding dengan nilai densitas dan kuat tekan yang semakin menurun serta daya serap air yang meningkat.

Menurut Iriani<sup>14</sup> dan Soykeabkaew *et al*<sup>19</sup> struktur morfologi berpengaruh terhadap densitas, kuat tekan dan daya serap air. Struktur dengan ukuran rongga yang besar dan banyak serta porositas yang tinggi akan menghasilkan *biofoam* dengan densitas yang rendah dan kuat tekan yang rendah karena umumnya rongga yang terbentuk memiliki dinding pori-pori yang tipis sehingga akan mudah hancur bila diberi tekanan, begitu pula sebaliknya. Selanjutnya menurut Soykeabkaew *et al*<sup>19</sup> semakin tinggi porositas *biofoam* makin banyak air yang akan terserap untuk mengisi rongga-rongga pada *biofoam*, sehingga daya serap air *biofoam* akan cenderung meningkat.



Gambar 3. Hasil analisis morfologi *biofoam* dengan SEM

Figure 3. Morphology analysis of *biofoam* with SEM

## KESIMPULAN

Karakteristik sifat fungsional *biofoam* terbaik dihasilkan pada jenis modifikasi STKS. Jenis modifikasi NSTKS berbentuk gel dengan diameter 92,07 nm belum mampu memperbaiki sifat mekanik *biofoam*, dipengaruhi oleh kadar air adonan yang terlalu encer. Pemuatan nanoselulosa dengan *grinding process* kurang sesuai jika diaplikasikan pada *biofoam*. Jenis modifikasi SATKS dengan kadar asetil 41,61% dan DS 2,64 juga belum mampu meningkatkan hidrofobisitas *biofoam* serta memiliki kekuatan mekanis yang semakin rendah disebabkan adonan kurang compatible. *Biofoam* terbaik dihasilkan pada perlakuan STKS 5% dinilai berdasarkan nilai daya serap air terendah (23,40%), kuat tekan tertinggi (13,92 N/mm<sup>2</sup>) dan densitas tertinggi 0,28 g/cm<sup>3</sup>. Jenis modifikasi STKS mampu menurunkan daya serap air, meningkatkan nilai densitas dan kuat tekan *biofoam*. Dengan meningkatnya sifat fungsional tersebut diharapkan *biofoam* yang dihasilkan dapat menjadi alternatif kemasan ramah lingkungan dan diaplikasikan sebagai kemasan pangan.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Kegiatan penelitian ini didanai oleh Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pasca Panen Pertanian, sebagai salah satu proyek penelitian tahun 2015.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Khalid KAT, Moorthy R, Saad S. Environmental Ethics in Governing Recycled Material Styrofoam for Building Human Habitat. American Journal Environmental Science. 2012; 8(6):591-596.
2. Sulchan M, Endang NW. Keamanan Pangan Kemasan Plastik dan Styrofoam. Majalah Kedokteran Indonesia. 2007; 57(2): 54-59.
3. Qiu JF, Zhang MQ, Rong MZ, Wu SP, Karger-Kocsis J. Rigid bio-foam plastics with intrinsic flame retardancy derived from soybean oil. Journal of Materials Chemistry A. 2013; 1:2533-2542.
4. Kaisangsri N, Kerdchoechuen O, Laohakunjit N. Biodegradable Foam Tray From Cassava Starch Blended With Natural Fiber And Chitosan. Journal Industrial Crops. 2012; 37:542-546.
5. Salgado PR, Schmidt VC, Ortiz SEM, Mauri AN, Laurindo JB. Biodegradable foams based on cassava starch, sunflower proteins and cellulose fiber obtained by a baking process. Journal of Food Engineering. 2008; 85(3):435-443.
6. Subyakto, Hermiati E, Yanto DHY, Fitria, Budiman I, Ismadi, Masruchin N, Subiyanto B. Proses pembuatan serat selulosa berukuran nano dari sisal (*Agave sisalana*) dan bambu betung (*Dendrocalamus asper*). Berita Selulosa. 2009; 44(2): 57-65.
7. Iriani ES, Wahyuningsih K, Sunarti TC, Permana AW. Sintesis nanoselulosa dari serat nenas dan aplikasinya sebagai nanofiller pada film berbasis polivinil alcohol. Jurnal Penelitian Pasca Panen Pertanian. 2015; 12: 11-19.
8. Puls J, Wilson SA, Holter D. Degradation of cellulose acetate-based materials : Review. Journal of Polymers and the Environment. 2011; 19: 152-165.
9. Guan J, Fang Q, Hanna MA. Functional properties of extruded starch acetate blends. Journal of Polymers and Environment. 2004; 12(2):57-63.
10. Ganjyal GM, Reddy N, Yang YQ, Hanna MA. Biodegradable Packaging Foam of starch Acetate Blended with Corn Stalk Fibers. Journal of Applied Polymer Science. 2004; 93(2004):2627-2633.
11. Sumada K, Erka P, Alqani F. Kajian proses isolasi  $\alpha$  selulosa dari limbah batang tanaman Manihot esculenta crantz yang efisien. Jurnal Teknik Kimia. 2011; 5(2): 434-438.
12. Syamsu K, Kuryani T. Pembuatan biofilm asetat dari selulosa miktobial nata de cassava. E- Jurnal Agroindustri Indonesia. 2014; 3(1):126-133.

13. Bahmid NA. Pengembangan nanofiber selulosa asetat dari selulosa tandan kosong kelapa sawit untuk pembuatan bioplastik. [tesis]. Bogor : Fakultas Teknologi Pertanian IPB; 2014.
14. Iriani ES. Pengembangan produk biodegradable foam berbahan baku campuran tapioka dan ampok [disertasi]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian IPB; 2013.
15. Polat S, Uslu M.K, Aygun A, Certel M. The effects of the addition of corn husk fiber, kaolin and beeswax on cross-linked corn starch foam. *Journal of Food Engineering*. 2013; 116(2): 267-276.
16. Rahmatunisa R. Pengaruh penambahan nanopartikel ZnO dan etilen glikol pada sifat fungsional kemasan Biodegradable Foam dari tapioka dan ampok jagung ampok [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor; 2015.
17. Yue Y. A Comparative Study of Cellulose I and II Fibers and Nanocrystals [tesis]. Louisiana: Heilongjiang Institute of Science and Technology; 2007.
18. Kaisangsri N, Kerdchoechuen O, Laohakunji N. Characterization of cassava starch based foam blended with plant, proteins, kraft fiber, and palm oil. *Carbohydrate Polymers*. 2014; 110:70-77.
19. Soykeabkaew N, Supaphol P, Rujiravanit R. Preparation and characterization of jute and flax reinforced starch-based composite foams. *Carbohydrate Polymer*. 2004; 58(1):53-63.
20. Hu F, Lin N, Chang PR, Huang J. Reinforcement and nucleation of acetylated cellulose nanocrystals infoamed polyester composites. *Carbohydrate Polymers*. 2015; 129 (2015):208–215.
21. Waryat, Romli M, Suryani A, Yuliasih I, Nasiri S. Karakteristik mekanik, permeabilitas dan biodegradabilitas berbahan baku komposit pati termoplastik-LLDPE. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 2013; 23(2): 153-163.
22. Warsiki E, Iriani ES, Swandaru R. Physical characteristics of microwave assisted moulded foam cassava starch-corn hominy. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*. 2012; 10(2):108-115.
23. Debiagi F, Mali S, Grossmann MVE, Yamashita F. Biodegradable foams based on starch, polyvinyl alcohol, chitosan, and sugarcane fibers obtained by extrusion. *Brazilian Archives Biology and Technology*. 2011; 54(5):1043-1052.
24. Cinelli P, Chiellini E, Lawton JW, Imam SH. Foamed articles based on potato starch, corn fibers and poly(vinylalcohol). *Polymer Degradation and Stability*. 2006; 91(5):1147-1155.
25. Moon RJ, Martini A, Nairn J, Simonsen J, Youngblood J. Cellulose nanomaterials review:structure, properties and nanocomposites. *Chemical Society Reviews*. 2011; 40:3941–3994.
26. Svagan AJ, My AS, Samir S, and Berglund LA. Biomimetic Foams of High Mechanical Performance Based on Nanostructured Cell Walls Reinforced by Native Cellulose Nanofibrils. *Advanced Material*. 2008; 20(7):1263–1269.
27. Rodiansono, Utami UBL, Widyastuti N, Wulandari PC, Risnawati I. Hidrolisis lignoselulosa dari tandan kosong kelapa sawit menggunakan katalis asam karboksilat. *Sains dan Terapan Kimia*. 2013; 7(1):60-71.
28. Odian G. Principles of Polymerization [4th Edition]. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons Inc; 2004.
29. Rathnayake WGIU, Ismail H, Baharin A, Bandara IMCCD, Rajapakse S. Enhancement of the antibacterial activity of natural rubber latex foam by the incorporation of zinc oxide nanoparticles. *Journal of Applied Polymer Science*. 2014; 131(1):1-8.
30. Panthapulakkal S, Sain M. Preparation and Characterization of Cellulose Nanofibril Films from Wood Fibre and Their Thermoplastic Polycarbonate Composites. *International Journal of Polymer Science*. 2012; 2012:1-6.
31. Morgado DL, Rodrigues BVM, Almeida EVR, El Seoud OA, Frollini E. Bio- based Films from Linter Cellulose and Its Acetates: Formation and Properties. *Materials*. 2013; 6(6): 2410-2435.
32. Ghanbarzadeh B, Almasi H. Physical properties of edible emulsified films based on carboxymethyl cellulose and oleic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2011; 48(1):44-49.
33. Chiumarelli M, Hubinger MD. Evaluation of edible films and coatings formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid. *Journal of Food Hydrocolloids*. 2014; 38:20-27.
34. Ratnasari E. Pencirian Bioplastik tepung singkong dengan penambahan natrium alginate, selulosa dan limonene [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam IPB; 2014.
35. Gaol MRLL, Sitorus R, Yanthi S, Surya I, Manurung R. Pembuatan  $\alpha$ -selulosa asetat dari selulosa tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 2013; 2(3):33-39. Schmidt VC dan Laurindo JB. Characterization of foam obtained from cassava starch, cellulose fiber and dolomitic limestone by a thermopressing process. *Brazilian Archives of Biology Technology*. 2010; 53(1):185-192.
37. Mutiah dan Surida N. Karakteristik kekuatan Tarik dan derajat kristalinitas poliprolilena teriradiasi. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*. 2001; 11(1):1-11.