

Karakterisasi sifat fungsional pati sagu (*Metroxylon sagu* Rottb) dengan modifikasi taut silang sebagai bahan cangkang kapsul
Characterization of sago starch (*Metroxylon sagu* Rottb) functional properties with cross linking modification as capsule shell

Desi Mustika Amaliyah dan Hamlan Ihsan
Balai Riset dan Standardisasi Industri Banjarbaru
Jl. Panglima Batur Barat No. 2 Banjarbaru, Indonesia
*Email: d351ma@gmail.com

Diterima 31 Desember 2021 Direvisi 22 Maret 2021 Disetujui 25 Mei 2021

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fungsional pati sagu alami dan termodifikasi sebagai pengganti bahan baku cangkang kapsul dari gelatin hewani. Pati rumbia (*Metroxylon sagu* Rottb) atau pati sagu memiliki sifat biodegradabilitas, edibilitas, biokompatibilitas, tampilan yang menarik, dan dapat menahan gangguan oksigen dan fisik. Pada penelitian ini dilakukan optimasi pengujian sifat fungsional dari gelatin, diantaranya viskositas, fraksi gel, transmisi uap air, dan uji derajat *swelling*. Tahapan dari penelitian ini adalah modifikasi pati sagu, pencetakan film dan pengujian viskositas, fraksi gel, transmisi uap air, dan uji derajat *swelling*. Hasil penelitian fraksi gel sebesar 51,8% (Pati sagu (PS)+Poli Vinil Alkohol (PVA)) – 81,6% (Pati Sagu Modifikasi (PSM)+kaolin), derajat *swelling* sebesar 1,41% (PS+kaolin) – 2,32% (PSM+kaolin), viskositas sebesar 2 cp (PS+PVA/kaolin) – 3220 cp (PSM+kaolin), dan transmisi uap air sebesar 58,33 g/m²h – 566,25 g/m²h. Hasil terbaik dari hasil modifikasi taut silang (*cross linking*) adalah aplikasi pati sagu modifikasi (PSM) ditambah kaolin yang memberikan nilai tertinggi untuk parameter fraksi gel, derajat *swelling* dan viskositas.

Kata Kunci : sifat fungsional; karakterisasi; modifikasi pati; taut silang

ABSTRACT

*This study aims to determine the functional properties of natural and modified sago starch as a substitute for raw material for capsule shells from animal gelatin. Rumbia starch (*Metroxylon sagu* Rottb) or sago starch has good biodegradability, edibility, biocompatibility, attractive appearance, and able to withstand oxygen and physical disturbances. In this study, the optimization of the functional properties of gelatin was carried out, including viscosity, gel fraction, water vapor transmission, and swelling degree test. The stages of this research were modification of sago starch, film printing and viscosity testing, gel fraction, water vapor transmission, and swelling degree test. The results showed that the gel fraction content was 51.8% (sago starch (PS) + Poly Vinyl Alcohol (PVA)) - 81.6% (modified sago starch (PSM) + kaolin), the swelling degree was 1.41% (PS) + kaolin - 2.32% (PSM+kaolin), viscosity of 2 cp (PS+PVA/kaolin) - 3220 cp (PSM+kaolin), and water vapor transmission of 58.33 g/m²h - 566.25 g/m²h. The best result from cross linking was the application of modified sago starch (PSM) plus kaolin which gave the highest value for the gel fraction, degree of swelling and viscosity parameters.*

Keywords: functional properties; characterization; starch modification; cross linking

I. PENDAHULUAN

Kapsul merupakan salah satu sediaan farmasi yang banyak digunakan

karena praktis dan dapat menghilangkan rasa tidak menyenangkan dari obat. Selain itu kapsul memiliki fungsi menjaga

stabilitas kandungan bahan aktif obat akibat pengaruh lingkungan (Ihsan, et al., 2019). Kapsul adalah salah satu bentuk sediaan farmasi yang terdiri dari dua jenis yaitu kapsul cangkang lunak dan kapsul cangkang keras. Bahan utama yang umum digunakan adalah gelatin. Kapsul cangkang keras dari gelatin digunakan sebagai kapsul komersial (Suptijah, Suseno, & Kurniawati, 2012). Gelatin yang bersumber dari kulit babi, kulit sapi serta tulang sapi, memiliki resiko kontaminasi virus dan adanya kekhawatiran akan kehalalan gelatin tersebut (Ihsan, Khairiah, & Rufida, 2018).

Pati merupakan biopolimer paling melimpah kedua setelah selulosa, pati dikonsumsi oleh masyarakat sebagai sumber kalori sekitar 90% di negara berkembang. Tanaman sagu di Indonesia luas areanya mencapai 60% dari total luas area lahan sagu di dunia (Fitria, Hariyadi, Andarwulan, & Triana, 2018). Akan tetapi, pati sagu mempunyai beberapa kekurangan dalam hal kualitas yaitu viskositas yang dimiliki tidak konsisten, bau yang tidak umum, warna pudar, tidak resisten terhadap *shear* dan suhu rendah, serta mudah mengalami retrogradasi (Fitria et al., 2018). Adanya kekurangan tersebut, maka pati sagu perlu dilakukan modifikasi, salah satunya dengan taut silang. Modifikasi taut silang dapat mengubah sifat fisikokimia pati sagu alami (Syafriyanti, Andarwulan, Hariyadi, & Laksana, 2018). Menurut Syafriyanti, Andarwulan, Hariyadi, & Laksana (2018) hasil modifikasi taut silang pati sagu menggunakan fosforil klorida (POCl_3) mampu menurunkan kelarutan, kejernihan pasta, dan derajat pembengkakan serta mampu meningkatkan viskositas, kekuatan gel, kadar amilosa, dan entalpi gelatinisasi. Dalam penelitian ini akan digunakan propilen oksida ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) sebagai agen modifikasi pati sagu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa sifat fungsional pati sagu alami maupun yang telah termodifikasi guna memaksimalkan potensi hasil hutan di Indonesia khususnya pohon sagu dalam pemanfaatannya sebagai pengganti bahan baku cangkang kapsul dari gelatin hewani.

II. BAHAN DAN METODE

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan antara lain pati sagu (merk Kuda Laut), batang rumbia (*Metroxylon sagu* Rottb) yang diambil dari Desa Margasari, Kabupaten Tapin, karagenan komersial, gelatin komersial, propilen oksida, air distilasi, kertas saring *Whatman No. 41*. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain erlenmeyer, gelas piala, *hot plate stirrer*, viskometer merk Brookfield, neraca analitik merk Memmert; oven merk Memmert, dan loyang.

2.2 Metode

Metode penelitian yang digunakan terdiri dari 2 (dua) tahapan, yaitu modifikasi pati sagu menggunakan metode taut silang dan tahapan pencetakan cangkang kapsul (Ihsan et al., 2019; Ihsan et al., 2020)

2.2.1. Modifikasi pati sagu

Tahapan modifikasi pati sagu (PS) dilakukan dengan melarutkan 100 g (bk) pati sagu dengan larutan natrium sulfat 10% sampai diperoleh 40% suspensi (b/v). Pengaturan pH dilakukan dengan penambahan NaOH 5% hingga tercapai pH= 10,5. Hidroksipropilasi dilakukan dengan penambahan propilen oksida ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) 8% (b/v). Suspensi yang terbentuk diaduk pada suhu (T)= 25°C selama waktu (t)= 30 menit. Pengadukan dilanjutkan menggunakan *hot plate stirrer* pada T = 40°C; kecepatan pengadukan (V)= 200 rpm; dan t = 24 jam. Pembilasan dengan air distilasi sebanyak 5 kali dilakukan pada endapan yang terbentuk. Endapan tersebut dikeringkan dalam oven pada T = 40°C selama t = 36 jam hingga tercapai kadar air 10-12%, kemudian pati sagu modifikasi (PSM) dihaluskan hingga 100 mesh.

2.2.2 Pencetakan *edible film* pati sagu

Perbandingan bahan pembentuk cangkang kapsul yang digunakan yaitu: 8% (b/b) bahan baku PS maupun PSM, 2% karagenan, 5% kaolin, serta 7% (b/b) PS maupun PSM dengan 2% (b/v) PVA T = 70°C. Komposisi penambahan kaolin dilakukan berdasarkan penelitian dari

Sunardi, Susanti, & Mustikasari (2019). Sedangkan penambahan PVA dilakukan sesuai penelitian Fehragucci (2012) yaitu sebagai penyeimbang agar memperoleh elastisitas yang baik saat pencetakan. Pengadukan dilakukan diatas *hot plate stirrer* dengan kecepatan pengadukan 1900 rpm, $t = 70-80^{\circ}\text{C}$. Air distilasi yang digunakan $T = 80^{\circ}\text{C}$. Setelah itu ditambahkan gliserol sebagai *plasticizer* 2%, setelah homogen dan didiamkan selama $t = 2$ menit sampai buih hilang. Pencetakan dilakukan pada $T = 80^{\circ}\text{C}$. Pengeringan *edible film* dilakukan dalam oven pada $T = 60^{\circ}\text{C}$ selama $t = 2$ jam, kemudian disimpan dalam desikator hingga pengujian dilakukan. Pengujian yang dilakukan antara lain viskositas, fraksi gel, transmisi uap air, dan derajat *swelling* dan dibandingkan dengan gelatin komersial (Wattimena, Ega, & Polnaya, 2016). Pencetakan film yang telah dibuat seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. *Edible film* yang telah terbentuk

2.2.3 Pengujian

a. Viskositas

Viskositas diuji di laboratorium Baristand Industri Banjarbaru. Viskositas larutan penyusun cangkang kapsul diukur menggunakan *brookfield viscometer* menggunakan spindel nomor 3/4 pada 30 rpm. Suhu yang digunakan untuk pengukuran viskositas adalah suhu pencetakan cangkang kapsul, yaitu 80°C .

b. Fraksi Gel (Erizal, Perkasa, Abbas, & Sulistioso, 2013)

Lembaran *edible film* yang telah dibuat dikeringkan pada $T = 60^{\circ}\text{C}$, kemudian ditimbang hingga berat konstan (W_0). Selanjutnya *edible film* direndam air

distilasi hingga terendam sempurna, dimasukkan dalam *shaker* dengan kecepatan 100 rpm selama 24 jam. Kemudian film dikeringkan kembali dalam oven dengan $T = 60^{\circ}\text{C}$, dan ditimbang kembali hingga berat konstan (W_1). Fraksi gel dihitung dengan Persamaan 1.

$$\text{Fraksi gel (\%)} = \frac{W_1}{W_0} \times 100\% \quad 1)$$

c. Transmisi Uap Air (Wahyuni M., 2017)

Gelas piala diisi menggunakan *silica gel* sebanyak 3 g, ditutup dengan film yang telah dibuat, kemudian ditimbang (W_t), selanjutnya diletakkan dalam desikator yang dilengkapi dengan thermohigrometer. Pertambahan berat (W_i) selama 10 jam diukur tiap jam untuk mengukur tingkat perpindahan uap air, dimana $A =$ luas area film (m^2). Transmisi uap air dihitung berdasarkan Persamaan 2.

$$\text{WVT (g/m}^2\text{h)} = \frac{W_i - W_t}{(A \times 24)} \times 10^6 \quad 2)$$

d. Derajat Swelling (Rokhati, Pramudono, Widiassa, & Susanto, 2012)

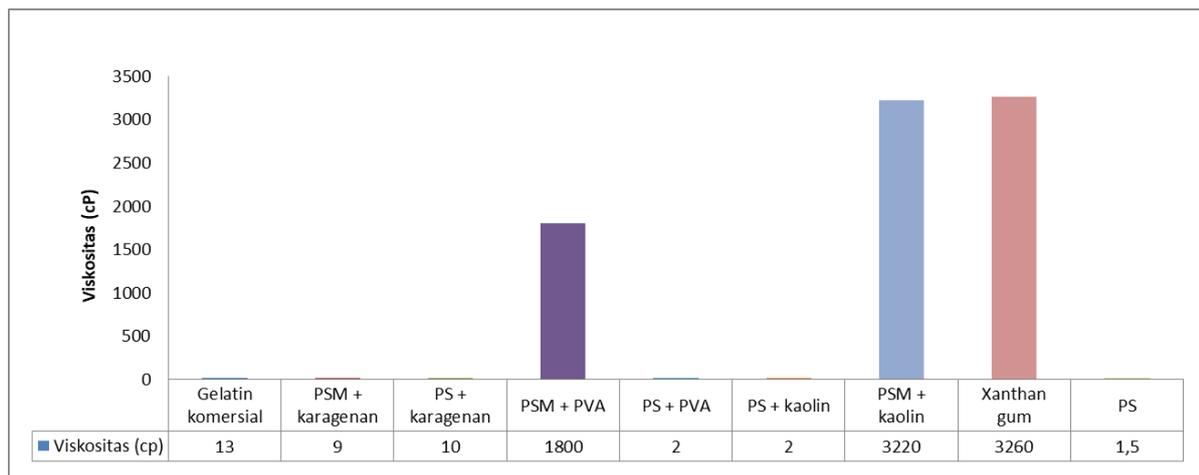
Pengukuran derajat *swelling* dilakukan dengan perendaman dalam air. Film yang telah dikeringkan, ditimbang (md), direndam air selama 2 jam. Permukaan film yang basah (*swollen*), diusap menggunakan tissue, kemudian ditimbang kembali (mw). Derajat *swelling* dihitung menggunakan Persamaan 3.

$$\text{Derajat swelling} = \frac{mw - md}{md} \quad 3)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Viskositas

Viskositas merupakan kemampuan menahan dari suatu cairan untuk mengalir. Berdasarkan Gambar 2, hasil pengukuran nilai viskositas yang diperoleh sangat tinggi untuk variasi pati sagu modifikasi (PSM) yang ditambahkan polivinil alkohol (PVA) dan kaolin, serta pada bahan xanthan gum. Hal ini disebabkan pati sagu yang memiliki sifat mudah mengental akibat pengaruh turunnya suhu campuran (Ihsan et al., 2019). Salah satu faktor yang berpengaruh



Gambar 2. Hasil pengujian viskositas pada 10% larutan bahan gelatin, PS, PSM, dan xanthan gum (PS: pati sagu; PSM: pati sagu modifikasi; PVA: polivinil alkohol)

besar terhadap tingginya hasil pengujian nilai viskositas adalah suhu proses gelatinasi. Gelatinasi memperbesar ikatan yang terjadi sehingga meningkatkan nilai viskositas. Sedangkan pada campuran sagu modifikasi dengan kaolin, sagu modifikasi dengan PVA, serta xanthan gum memiliki nilai viskositas yang sangat tinggi melebihi dari gelatin komersial.

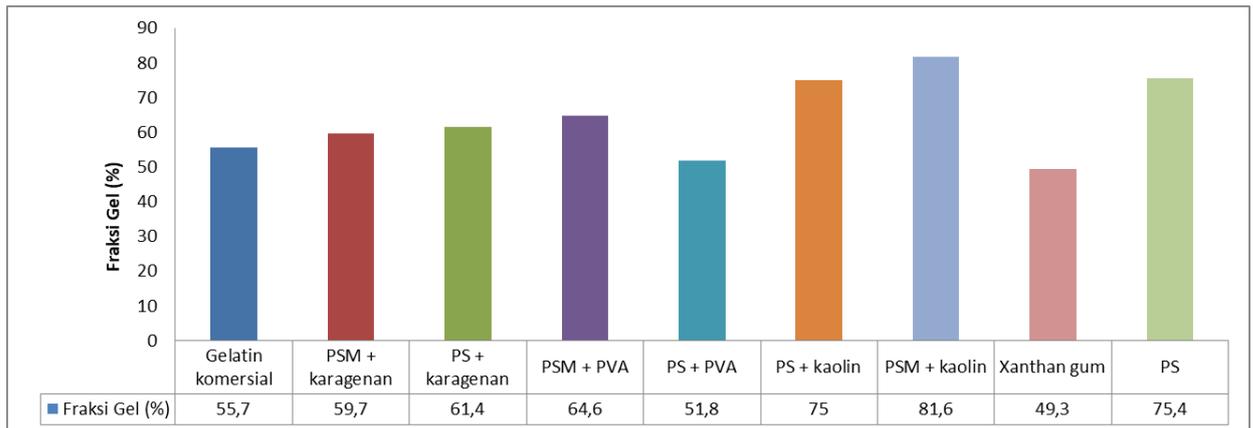
Kadar amilosa dan amilopektin mempengaruhi sifat fungsional pati. Pati sagu alami mengandung amilosa 20%, amilopektin 39,5%. Sedangkan setelah mengalami modifikasi *heat moisture treatment (HMT)* mengalami kenaikan kadar amilosa 25% dan penurunan amilopektin 36,55% (Mandei, 2016). Menurut Syafriyanti et al. (2018), pati sagu alami mengandung amilosa 36,37% dan amilopektin 63,62%, setelah dilakukan modifikasi taut silang kadar amilosa meningkat menjadi 38,05% dan amilopektin menurun menjadi 61,95%. Viskositas menjadi lebih tinggi karena reaksi ikatan silang yang diberikan menyebabkan terbentuknya ikatan silang antara struktur amilosa dan amilopektin pada pati sehingga ikatan hydrogen pada rantai pati menjadi semakin kuat. Hal ini sesuai dengan Syafriyanti et al. (2018) yang menyatakan bahwa pati sagu termodifikasi dengan taut silang memiliki nilai viskositas akhir lebih tinggi dibandingkan dengan pati alami, serta suhu gelatinisasi cenderung mengalami

peningkatan pada pati sagu termodifikasi dibandingkan pati sagu alami.

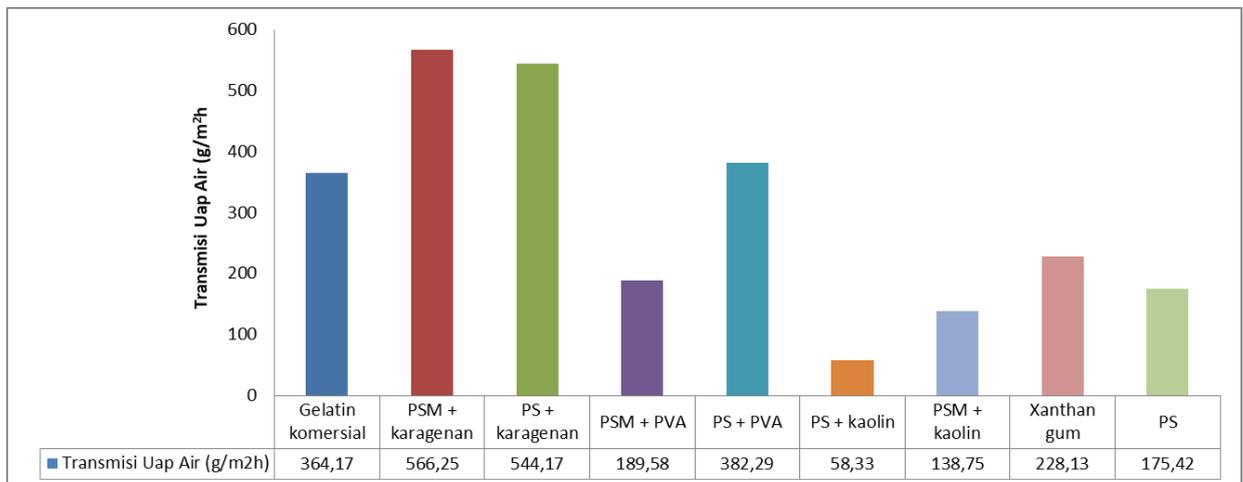
Meningkatnya nilai viskositas ini juga disebabkan oleh sifat dari kaolin dan PVA sebagai pengisi yang berikatan dengan pati sagu termodifikasi lebih baik dibandingkan dengan pati sagu alami. PVA yang berwujud padat, menjadi lunak ketika dipanaskan dan menjadi elastis dalam proses tersebut (Irmaya, 2018). Sedangkan xanthan gum yang mudah mengental pada saat dilarutkan di air digunakan sebagai pembanding. Pada dua variasi yaitu sagu termodifikasi dengan karagenan, dan sagu alami dengan karagenan memiliki nilai viskositas yang mendekati dengan gelatin komersial.

3.2 Fraksi gel (%)

Fraksi gel adalah parameter yang cukup penting dalam proses sintesis monomer/polimer dalam menghasilkan produk guna menentukan terjadinya tautan silang atau degradasi (Erizal et al., 2013). Fraksi gel digunakan dalam penentuan jumlah tautan silang antar rantai molekul polimer dalam satuan persen (Ediningsih, Pitono, Mardiana, & Erizal, 2018). Pada Gambar 3 dapat dilihat antara film berbahan PS dengan PSM terjadi sedikit peningkatan nilai fraksi gel. Hal ini berarti adanya modifikasi pati sagu mengakibatkan adanya tautan silang. Nilai fraksi gel yang baik adalah mencapai 99%. Nilai fraksi gel yang tidak mencapai 100%



Gambar 3. Nilai fraksi gel untuk film berbahan PS maupun PSM dengan penambahan k-karagenan, PVA dan kaolin (PS: pati sagu; PSM: pati sagu modifikasi; PVA: polivinil alkohol)



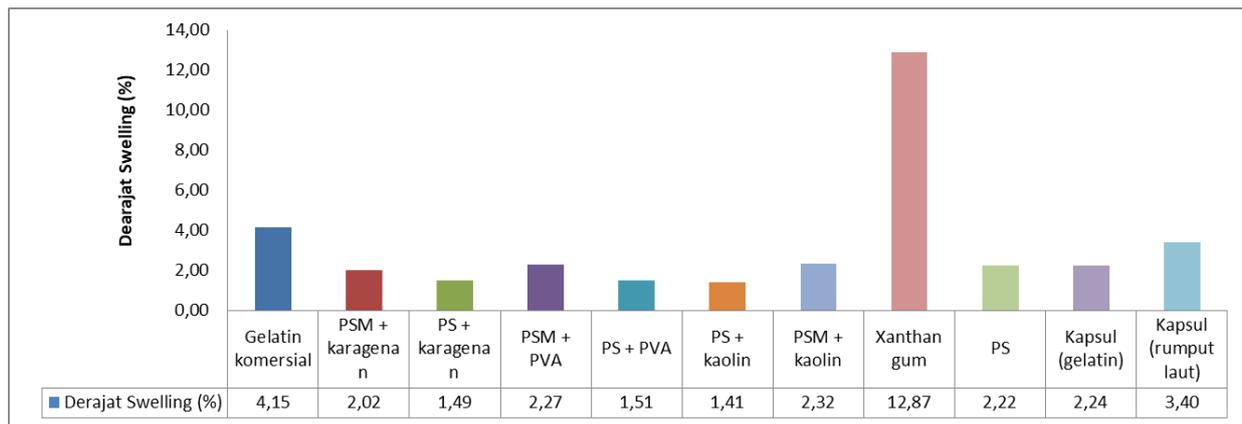
Gambar 4. Laju transmisi uap air pada film berbahan PS maupun PSM dengan penambahan k-karagenan, PVA dan kaolin (PS: pati sagu; PSM: pati sagu modifikasi; PVA: polivinil alkohol)

kemungkinan disebabkan terbentuknya homopolimer atau peroksida terlarut dalam air (Erizal, 2010).

3.3 Transmisi uap air

Laju transmisi uap air merupakan kecepatan proses menembusnya uap air atau kemampuan *film* dalam menghambat laju transmisi uap air. Semakin kecil nilai laju transmisi uap air, maka edible film yang terbentuk semakin baik. Oleh karena itu, nilai permeabilitas *film* terhadap uap air harus seminimal mungkin (Gontard et al., 1993 dalam Hasdar, Erwanto, & Triatmojo, 2011). Hasil uji pada penelitian ini, nilai laju

transmisi uap air terendah adalah pada perlakuan PS+kaolin (58,33 g/m²h) dan PSM+kaolin (138,75 g/m²h). Nilai ini masih lebih tinggi dibandingkan dengan edible film yang dihasilkan Wattimena et al., 2016 yaitu dengan kisaran nilai 7,79 – 14,87 g/m²h yang artinya dengan penambahan kaolin masih kurang baik dalam memperbaiki struktur lapisan *film* dan sifat fisiknya terutama dalam menurunkan laju transmisi uap air. Variasi PSM+karagenan (566,25 g/m²h) dan PS+karagenan (544,17 g/m²h) memiliki laju transmisi uap air yang jauh lebih tinggi dikarenakan diantara kedua bahan *edible film* tersebut memiliki



Gambar 5. Derajat *swelling* pada film berbahan PS maupun PSM dengan penambahan k-karagenan, PVA dan kaolin (PS: pati sagu; PSM: pati sagu modifikasi; PVA: polivinil alkohol)

ikatan hidrofilik sehingga tidak mampu bersatu dalam penyusunan edible film karena mengubah sifat pati yang telah mengalami proses gelatinasi. Gliserol menurunkan ikatan dan tegangan antar molekul pembentuk edible film dan mengakibatkan adanya jarak antar molekul semakin membesar dan uap air lebih mudah menembus edible film (Wattimena et al., 2016). Hal ini berpengaruh terhadap struktur air dalam edible film, sehingga sifat fisiknya menjadi menurun (Hasdar et al., 2011). Gliserol yang digunakan sebagai *plasticizer* merupakan faktor lain yang mempengaruhi laju transmisi uap air *edible film*. Penggunaan gliserol menyebabkan film yang dihasilkan lebih halus dan lebih lentur. Gliserol adalah salah satu *plasticizer* yang memiliki sifat hidrofilik yang mudah digabungkan diantara rantai protein dalam pembentukan ikatan hidrogel diantara protein gluten dan gugus amida (Cao et al., 2007 dalam Hasdar et al., 2011).

3.4 Derajat *Swelling*

Derajat *swelling* menggambarkan daya serap film terhadap cairan (Rokhati et al., 2012). Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa adanya modifikasi pati sagu mampu meningkatkan nilai derajat *swelling* dan nilai ini mendekati nilai derajat *swelling* pada kapsul komersial yang berbahan baku gelatin. Nilai derajat *swelling* sampel uji yang paling mendekati nilai kapsul komersial (2,24%) adalah PSM+karagenan (2,02%), PSM+PVA (2,27%), dan

PSM+kaolin (2,32%). Modifikasi PSM+kaolin mampu meningkatkan derajat *swelling* sebesar 4,5%

Menurut Purwaningsih, Irawadi, Mas'ud, & Fauzi (2012), pati tanpa modifikasi jika ditambahkan bahan penaut silang dengan jumlah makin meningkat dapat meningkatkan kerapatan jaring (*network*) dan tautan silang produk, sehingga struktur rangka polimer menjadi kaku dan sulit menyerap air. Reaksi dari modifikasi yang telah dilakukan dapat meningkatkan daya serap air. Modifikasi pati taut silang dengan trinitrium trimetafosfat (Zuhra, Ginting, Marpongahtun, & Syufiatun, 2016) menghasilkan bahwa semakin tinggi pembentukan tautan silang senyawa fosfat dengan molekul amilosa dari pati, maka dapat menyebabkan pengembangan/pembengkakan menjadi terbatas. Terbentuknya pori dalam pati fosfat yang terbentuk dari tautan silang, menyebabkan molekul air terikat pada pori tersebut. Oleh karena itu produk pati termodifikasi dapat digunakan sebagai bahan cangkang kapsul karena dapat meningkatkan penyerapan air dan mempermudah kelarutan kapsul ketika diminum.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil uji berdasarkan sifat fungsional variasi sampel penelitian berbahan pati sagu, jika dibandingkan dengan sifat fungsional gelatin menunjukkan

beberapa parameter seperti fraksi gel, derajat swelling, viskositas, dan transmisi uap air yang memberikan nilai uji hampir sama dengan gelatin. Nilai terbaik dari hasil modifikasi taut silang (*cross linking*) adalah aplikasi pati sagu modifikasi (PSM) ditambah kaolin. Untuk penelitian lanjutan, perlu dilakukan optimalisasi variabel penelitian agar hasil uji bisa lebih maksimal dan bisa sesuai dengan baku mutu yang berlaku.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan sebesar-besarnya kepada Badan Standardisasi dan Kebijakan Jasa Industri (BSKJI) Kementerian Perindustrian RI yang telah mendanai kegiatan penelitian ini. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada keseluruhan anggota Tim Penelitian Baristand Industri Banjarbaru yang terdiri dari para peneliti, perekayasa dan penguji mutu barang yang telah banyak mendukung dan membantu pelaksanaan kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ediningsih, Pitono, J., Mardiana, E., & Erizal. (2018). Sintesis dan karakterisasi hidrogel poli (vinil alkohol) maleat (PVAM) dengan pati tapioka termodifikasi ekstrak jahe. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 40(2), 117.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24817/jkk.v40i2.3562>
- Erizal. (2010). Sintesis hidrogel superabsorben poli (akrilamida-kalium akrilat) dengan teknik radiasi dan karakteristiknya. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 6(2), 105–116.
- Erizal, Perkasa, D. P., Abbas, B., & Sulistioso G.S. (2013). Sintesis kopolimer ikatan silang gelatin sisik ikan-kitosan menggunakan iradiasi gamma. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 9(2), 101–112.
- Fehragucci, H. (2012). *Pengaruh penambahan plasticizer dan kitosan terhadap karakter edible film Ca-alginat*. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Fitria, E., Hariyadi, P., Andarwulan, N., & Triana, R. N. (2018). Sifat fisikokimia pati sagu termodifikasi dengan metode oksidasi menggunakan Natrium Hipoklorit. *Jurnal Mutu Pangan*, 5(2), 100–108.
- Hasdar, M., Erwanto, Y., & Triatmojo, S. (2011). Karakteristik edible film yang diproduksi dari kombinasi gelatin kaki kulit ayam dan soy protein isolate. *Buletin Peternakan*, 35(3), 188–196.
- Ihsan, H., Amaliyah, D. M., Harsono, D., Hidayati, S., Yuliati, F., & Miyono. (2020). Morfologi dan keamanan pati sagu rumbia (*Metroxylon Sagu Rottb*) untuk gelatin dalam aplikasinya sebagai cangkang kapsul. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 14(2), 188–199.
- Ihsan, H., Amaliyah, D. M., Harsono, D., Miyono, Hidayati, S., & Yuliati, F. (2019). *Modifikasi tepung pati sagu dari pohon rumbia (Metroxylon sagu Rottb) sebagai bahan baku cangkang kapsul*. Banjarbaru.
- Ihsan, H., Khairiah, N., & Rufida. (2018). Karakteristik Sifat Fisik dan Kimia Edible Film Pati Sagu Rumbia (*Metroxylon sagu Rattb*) untuk Bahan Baku Cangkang Kapsul. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 10(2), 55–62.
- Ihsan, H., Prabawa, I. D. G. P., Harsono, D., Nintasari, R., Apriani, R., & Nurcahyo, A. B. (2019). Pengujian sifat fisik dan cemaran mikroba pada cangkang kapsul pati sagu rumbia (*Metroxylon sagu Rottb*) dan karagenan. *Jurnal Riset Industri*, 11(1, Juni), 13–22.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24111/jrihh.v11i1.4802>
- Irmaya, R. (2018). Karakteristik polivinil alkohol yang dimodifikasi dengan asam adipat (Universitas Sumatera Utara). Retrieved from chrome-extension://oemmnadbldboiebnladdac bdfmadadm/http://repositori.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/4787/160822034.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mandei, J. H. (2016). Penggunaan pati sagu termodifikasi dengan heat

- moisture treatment sebagai bahan substitusi untuk pembuatan mi kering. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*, 8(1), 57–72.
- N., A. F. K. (2017). *Karakterisasi sifat mekanik, morfologi dan persentase ikat silang dari hasil modifikasi polivinil alkohol (PVA) dengan asam maleat* (Universitas Sumatera Utara). Retrieved from chrome-extension://oemmdcbldboiebfnladdac bdfmadadm/http://repositori.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/4787/160822034.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Purwaningsih, H., Irawadi, T. T., Mas'ud, Z. A., & Fauzi, A. M. (2012). Rekayasa biopolimer jerami padi dengan teknik kopolimerisasi cangkok dan taut silang. *Jurnal Kimia Valensi*, 2(4), 489–500.
<https://doi.org/10.15408/jkv.v2i4.266>
- Rokhati, N., Pramudono, B., Widiasta, I. N., & Susanto, H. (2012). Karakterisasi film komposit alginat dan kitosan. *Reaktor*, 14(2), 158–164.
- Sunardi, Susanti, Y., & Mustikasari, K. (2019). Sintesis dan karakterisasi bioplastik dari pati ubi nagara (*Ipomoea batatas* L) dengan kaolin sebagai penguat. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 11(2), 65–76.
- Suptijah, P., Suseno, S. H., & Kurniawati. (2012). Aplikasi karagenan sebagai cangkang kapsul keras alternatif pengganti kapsul gelatin. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 15(3), 223–231.
- Syafriyanti, D. K., Andarwulan, N., Hariyadi, P., & Laksana, A. J. (2018). Karakteristik pati sagu (*Metroxylon* sp.) hasil modifikasi ikat silang. *Jurnal Mutu Pangan*, 5(1), 25–33.
- Wahyuni M., T. (2017). *Pengaruh konsentrasi kasein dan volume larutan edible yang berbeda terhadap karakteristik edible film*. Universitas Hasanuddin.
- Wattimena, D., Ega, L., & Polnaya, F. J. (2016). Karakteristik edible film pati sagu alami dan pati sagu fosfat dengan karakteristik edible film pati sagu alami dan pati sagu fosfat dengan penambahan gliserol. *AGRITECH*, 36(Agustus), 3.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22146/agritech.16661>
- Zuhra, C. F., Ginting, M., Marpongahtun, & Syufiatun, A. (2016). modifikasi pati sukun dengan metode ikat silang menggunakan trinitrium trimetaphosfat. *Chimica et Natura Acta*, 4(3), 142–146.
<https://doi.org/10.24198/cna.v4.n3.10925>