

STABILITAS EDIBLE FILM PATI SAGU (METROXYLON SAGU ROTTB.) ASETAT SELAMA PENYIMPANAN PADA BERBAGAI SUHU

STABILITY OF SAGO (METROXYLON SAGU ROTTB.) STARCH ACETATE EDIBLE FILM DURING STORAGE UNDER VARIOUS TEMPERATURES

Rosniyati Suwarda^{1,2}, Tun Tedja Irawadi³*, Prayoga Suryadarma⁴, Indah Yuliasih⁴

¹Program Studi Teknologi Industri Pertanian, SPs – Institut Pertanian Bogor.

²Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Maluku. Jl. Chr Soplanit-Rumah Tiga Ambon, Maluku

³Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam – IPB

E-mail : tun_tedja@yahoo.com

⁴Departemen Teknologi Industri, Fakultas Teknologi Pertanian – IPB

Makalah: Diterima 25 April 2019; Diperbaiki 11 November 2019; Disetujui 30 November 2019

ABSTRACT

The degree of stability of starch-based edible films during storage varies greatly compared to synthetic films. This work aimed to study the effect of storage temperatures on the stability of sago starch acetate edible film during storage. Edible films produced by casting and storage at 5, 30 and 40 °C temperatures for 34 days. The observed characteristics were crystallinity, contact angle, physical, mechanical and barrier (WVTR) film properties. Sago starch acetate edible films presented lower relative crystallinity (10,10%) and highest contact angle (51,04°) when compared with native starch edible films. The results indicated that sago starch acetate edible films were relatively stable when stored at low (5 °C) and high (30 and 40 °C) temperatures. Storage temperatures did not affect physical properties (solubility, transparency) and mechanical (elongation at break / EAB) of sago starch acetate edible films except tensile strength (TS) and water vapor transmission rate (WVTR). TS values increased at temperatures 30 and 40 °C and WVTR values increased at temperature 30 °C. Changes in physical and mechanical properties occur at the beginning of storage, but then tend to be stable until the end of storage. Sago starch acetate edible films had low physical and mechanical characteristics, that was TS (2.25–4.90 MPa), elongation at break (29.65–89.62%), solubility (15.01–29.61%), transparency (0.91–1.87) and very low WVTR value (0.07–0.33 g/m².hour) and Ea (-8.6E-04 kJ/mol). Sago starch acetate edible films had good physical and mechanical properties and resistant to moisture, can be used for applications as edible films and coatings for foods that contain high water content.

Keywords: edible film, mechanical and physical properties, sago starch acetate, water vapor transmission rate.

ABSTRAK

Tingkat kestabilan *edible film* berbasis pati selama penyimpanan sangat bervariasi dibandingkan dengan *film* sintesis. Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji pengaruh suhu penyimpanan terhadap stabilitas *edible film* selama penyimpanan. *Edible film* dicetak (*casting*) dan disimpan pada suhu 5, 30 dan 40 °C selama 34 hari. Karakteristik yang diamati adalah kristalinitas, *contact angle*, sifat fisik, mekanik dan *barrier* (WVTR) *film*. *Edible film* pati sagu asetat menghasilkan kristalinitas rendah (10,10%) dan *contact angle* tinggi (51,04°) bila dibandingkan dengan *edible film* pati sagu alami. *Edible film* pati sagu asetat relatif stabil ketika disimpan pada suhu rendah (5°C) maupun tinggi (30 dan 40 °C). Suhu penyimpanan tidak mempengaruhi sifat fisik (kekarutan, transparansi) dan mekanis (*elongasi at break*/EAB) *edible film* pati sagu asetat kecuali kekuatan tarik (TS) dan laju transmisi uap air (WVTR). Nilai TS meningkat pada suhu 30 dan 40 °C dan Nilai WVTR meningkat pada suhu 30 °C. Perubahan sifat fisik dan mekanis terjadi pada awal penyimpan, namun selanjutnya cenderung stabil sampai akhir penyimpanan. *Edible film* pati sagu asetat memiliki karakteristik sifat fisik dan mekanis yang rendah yaitu, TS (2,25-4,90 MPa), *elongasi at break* (29,65–89,62%), kelarutan (15,01–29,61%), dan transparansi (0,91–1,87). *Edible film* pati sagu asetat relatif stabil sampai akhir penyimpanan. *Edible film* pati sagu asetat mempunyai sifat mekanis yang baik dan resisten terhadap uap air, dapat digunakan untuk aplikasi sebagai bahan kemasan terutama pada lingkungan yang lembab.

Kata kunci: *edible film*, laju transmisi uap air, pati sagu asetat, sifat fisik dan mekanik

PENDAHULUAN

Pati sagu mempunyai potensi yang besar untuk dieksplorasi dalam pengembangan *edible film* dan *coating* karena kelimpahan bahan, mudah diperoleh, harga relatif murah, dapat dimakan

(*edible*), dan mudah di daur ulang (*renewable*) serta kemudahannya untuk dimodifikasi (*versatile compound*) secara fisikokimia. Selain itu, komposisi amilosa yang tinggi pada pati sagu yaitu 27% (Ahmad *et al.*, 1999) memiliki potensi sebagai bahan pembentuk *film* yang kuat (Rodriguez *et al.*, 2006).

Pati dengan kadar amilosa tinggi dapat membentuk sifat lapisan tipis (film) yang sangat baik dibandingkan dengan pati yang kandungan amilosanya rendah (Mali *et al.*, 2005). Film berbasis pati mempunyai sifat penghalang yang tinggi terhadap O₂ dan CO₂ (Forssell *et al.*, 2002). Namun film berbasis pati seperti pati sagu memiliki sifat penghalang yang rendah terhadap uap air akibat dari sifat hidrofiliknya (Wu *et al.*, 2001; Mali *et al.*, 2005; Karbowiak *et al.*, 2007).

Sifat *edible film* dan *coating* berbasis pati secara umum bervariasi tingkat kestabilannya selama waktu penyimpanan dibandingkan dengan *film-film* sintesis. Variasi ini dapat mempengaruhi fungsi pada makanan yang dilapisi sehingga stabilitas *film* yang tinggi untuk waktu yang lama umumnya diinginkan. Ketika *film* atau lapisan terpapar pada kondisi lingkungan tertentu selama waktu penyimpanan, akan mempengaruhi sifat fisik dan kimia. Perubahan kimia, seperti oksidasi kelompok protein sulfhidril dapat menyebabkan degradasi rantai polimer (Micard *et al.*, 2000).

Perubahan fisik termasuk rekristalisasi polimer yang disebabkan oleh migrasi komponen dengan berat molekul rendah seperti *plasticizer* yang digunakan dalam formulasi *film* (Anker *et al.*, 2002). Pemanfaatan pati alami sebagai bahan pengemas masih terbatas karena *film* yang dihasilkan rapuh, menurunnya sifat mekanik pada kondisi lingkungan lembab, kemampuan prosesnya berkurang karena viskositasnya yang tinggi dan ketidakcocokan dengan beberapa pelarut dan polimer (Garcia *et al.*, 2004; Zamudio-Folres *et al.*, 2007). Selain itu sifat hidrofilik *edible film* berbahan pati menyebabkan rendahnya stabilitas ketika terpapar pada kondisi lingkungan yang berbeda (Galdeano *et al.*, 2009). Untuk meningkatkan karakteristiknya, beberapa modifikasi pati telah dilakukan antara lain dengan proses asetilasi.

Pati modifikasi dapat secara signifikan meningkatkan sifat hidrofobik dan mengubah sifat kimia, fisik, dan reologi. Substitusi kelompok ester pada polisakarida memungkinkan perubahan sifat hidrofilik dan menghasilkan perubahan signifikan dalam sifat mekanik dan termal (BeMiller dan Whistler, 1984). Pati asetat memiliki beberapa keunggulan sebagai polimer pembentuk film dibandingkan dengan pati alami. Pati asetat jauh lebih hidrofobik daripada pati alami dan telah terbukti memiliki sifat kekuatan tarik yang lebih baik dalam lingkungan berair. Keuntungan lainnya pati asetat meningkatkan kelarutan, *swelling power*, tingkat kejernihan pasta, resistensi terhadap retogradasi, dan stabilitas *freeze-thaw* yang tinggi serta memiliki stabilitas penyimpanan dan pemasakan lebih baik dari pati alami serta mudah di *cast* dalam pembentukan film (Sodhi dan Singh, 2005; Parandoosh dan Hudson, 1993; Agboola *et al.*, 1991).

Sifat fungsional *edible film* dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu faktor ekstrinsik seperti kelembaban relatif (RH) dan suhu, dan faktor intrinsik seperti komposisi, terutama *plasticizer* dan biopolimer (Nisperos-Carriedo, 1994). Untuk melihat daya tahan atau kestabilan *edible film* pati sagu hasil asetilasi maka perlu dilakukan pengujian terhadap *edible film* tersebut pada suhu yang berbeda dengan kelembaban ruangan atau RH lingkungan dikondisikan pada 75%. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh suhu penyimpanan terhadap stabilitas *edible film*.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan mulai Agustus sampai dengan November 2019 di laboratorium Teknologi Industri Pertanian IPB.

Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah pati sagu asetat varietas Molat (*Metroxylon sagu* Rottb.). Bahan-bahan kimia yang digunakan antara lain H₂SO₄, NaOH, HCl, K₂SO₄, NaCl, larutan *Luff Schoorl*, KI, Na₂S₂O₃, *methyl blue*, asam asetat, asam asetat anhidrat, etanol, KOH, *indicator phenol red*, gliserol dan akuades.

Alat-alat yang digunakan antara lain kertas saring, cawan porselin, erlemeyer, tabung reaksi, gelas ukur, gelas piala, termometer, pipet volumetrik, spektrofotometer, timbangan kasar, timbangan analitik, mikroskop polarisasi (Olympus model BHB, Nippon Kogaku, Jepang) dilengkapi dengan kamera (Olympus model C-35 A), *hot plate*, *magnetic stirrer*, *vacuum filter*, *freezer*, *penangas*, *micrometer* dan *hygrometer*, SEM (EVOMA10), *Rapid Visco Analyzer* (RVA), desikator, *centrifuge*, *water bath*, *Chun Yen tensile testing Machine*, dan *contact angle analyzer* (Phoenix 300-Touch, Seo Co., Suwon, Korea).

Karakterisasi Pati Sagu dan *Edible Film*

Analisis sifat fisikokimia pati sagu dilakukan terhadap pati sagu alami dan pati sagu asetat meliputi kadar air, kadar abu, protein dan lemak mengikuti metode AOAC (2006), kadar pati menggunakan metode *Luff Schoorl* (AOAC, 1997), kadar Amilosa metode IRRI (AOAC, 1995), warna menggunakan *colourimeter* untuk mengevaluasi warna visual. Warna ditunjukkan sebagai *L*, *a*, dan *b* (berturut-turut untuk *luminosity*, merah, dan kuning, pada skala Hunter), kristalinitas relatif diamati dengan sinar-X difraktometer XRD dan nilai pH ditentukan secara elektrometris (Sokhey dan Chinnaswamy, 1993).

Analisis sifat fungsional pati sagu alami dan pati sagu asetat meliputi kelarutan dalam air, *swelling power*, kejernihan pasta, *freeze-thaw stability* (Perez *et al.*, 1999) dan analisis sifat

amilografi diukur menggunakan *Rapid Visco Analyzer* (RVA, Model *Tecmaster, Newport Scientific*, Australia).

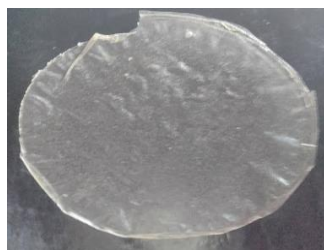
Karakterisasi *edible film* dilakukan terhadap *edible film* pati sagu alami dan pati sagu asetat pada awal penyimpanan meliputi kristalinitas relatif diamati dengan sinar-X difraktometer XRD, sudut kontak (*contact angle*, CA), kuat tarik (*tensile strength*, TS) dan morfologi permukaan *edible film* dengan SEM.

Preparasi Pati Sagu Asetat

Proses asetilasi menggunakan metode Wurzburg (1978). Kondisi proses asetilasi (konsentrasi asam asetat anhidrid, pH reaksi, waktu reaksi) ditentukan berdasarkan penelitian Suwarda *et al.* (2019). Prosedur proses asetilasi adalah 50 g pati sagu dimasukkan ke dalam 75 mL akuades, campuran tersebut diaduk selama 30 menit menggunakan *thermostatic bath* pada suhu ruang dengan kecepatan 200 rpm. Selanjutnya dilakukan pengaturan pH sampai nilai tertentu (8,24) dengan penambahan NaOH 3%. Setelah 5 menit, asam asetat anhidrid dengan konsentrasi 44% (% v/v) ditambahkan secara perlahan ke dalam campuran reaksi. pH campuran dijaga ke kondisi awal dengan penambahan NaOH 3%. Reaksi dibiarkan berlangsung sesuai dengan waktu yang diinginkan (60 menit). Reaksi dihentikan dengan penambahan HCl 0,5 N sampai pH 4,5. Pati sagu terasetilasi kemudian disaring dan dicuci dengan 150 mL akuades sebanyak 3 kali. Pati dikeringkan pada suhu 40°C dan digiling halus hingga 80 mesh. Parameter yang diamati adalah persen asetil dan derajat substitusi (DS) (Whistler dan Daniel, 1995).

Preparasi Edible Film

Proses pembuatan *edible film* menggunakan metode Lopez *et al.* (2008) dan Parra *et al.* (2004) yang dimodifikasi Suwarda *et al.* (2019). Pati sagu 5 g didispersi dalam 80 mL akuades, larutan diaduk dengan *stirrer* selama 15 menit. Pati terdispersi dipanaskan pada suhu 80 – 85°C selama 15 menit sambil diaduk dengan *stirrer*. Gliserol (1%, b/b) dan 20 mL akuades ditambahkan sebagai *plasticizer*, selanjutnya suspensi tersebut dipanaskan kembali pada suhu 80 – 85°C selama 15 menit. Larutan *coating* (18 g) dicetak (*casting*) pada *acrylic plates* (Ø 8,5 cm) dan dikeringkan pada suhu 40°C selama 24 jam.



(a)



Gambar 1 *Edible film* : (a) pati sagu alami dan (b) pati sagu asetat

Uji Stabilitas Spesimen *Edible Film*

Spesimen film disimpan dalam desikator pada suhu 5, 30, dan 40°C selama 34 hari. RH dipertahankan konstan pada 75% dalam setiap desikator dengan menggunakan natrium klorida (NaCl) jenuh (ASTM, 1995). Sampel diamati dan diuji setiap 3 hari sekali untuk mengetahui perubahan sifat fisik dan mekanik yang terjadi selama penyimpanan. Karakterisasi sifat fisik dan mekanik *edible film* pati sagu asetat selama penyimpanan meliputi, analisis kuat tarik (*tensile strength*, TS), *elongasi* (*elongation at break*, EAB) (ASTM D638, 2005), kelarutan dalam air selama 24 jam (Gontard *et al.*, 1992), laju transmisi uap air (WVTR) (Huri dan Nisa, 2014) *transparansi film* (Bao *et al.*, 2009) dan sudut kontak (*contact angle*, CA) (ASTM D5946-04, 2005).

Analisis Statistik

Data hasil penelitian dianalisis dengan *two-way variance* ANOVA menggunakan Minitab 18, dengan tingkat kepercayaan $\alpha = 0,05$. Faktor perlakuan yang diberikan adalah suhu penyimpanan 5, 30, dan 40°C dan lama waktu penyimpanan selama 34 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Pati Sagu dan *Edible Film*

Bahan baku pembuatan *edible film* adalah pati sagu asetat dengan karakteristik nilai DS 0,14, warna bubuk pati lebih cerah, kelarutan dalam air pada suhu 70°C tinggi, *swelling power* tinggi, kejernihan pasta tinggi, dan *freeze-thaw stability* rendah dibandingkan dengan pati alaminya. Karakteristik pati sagu asetat dapat dilihat pada Tabel 1.

Bubuk pati asetat lebih putih yang ditunjukkan dengan tingginya nilai L dan $^{\circ}$ Hue serta rendahnya nilai *chroma*. Warna bubuk yang semakin cerah (putih) diperoleh dari proses pemurnian pati asetat yaitu dengan cara menuangkan larutan pati asetat kedalam akuades disertai dengan pengadukan cepat agar bercampur merata atau homogen. Warna bubuk yang putih ini akan berdampak pada *transparansi edible film* yang tinggi (Gambar 1b) dengan indikasi tingginya kejernihan pasta.

Reaksi asetilasi menyebabkan kandungan amilosa yang lebih rendah dari pati alami. Rendahnya kandungan amilosa pati hasil asetilasi kemungkinan disebabkan karena adanya gugus asetil yang mensubstitusi gugus hidroksil maka kandungan amilosa menjadi menurun. Molekul amylosa terlarut dapat dengan mudah menyesuaikan diri, sehingga gugus hidroksil di sepanjang salah satu rantai cenderung lebih mudah tersubstitusi oleh gugus asetil (Thirathumthavorn dan Charoenrein, 2005).

Tabel 1 menunjukkan sifat fungsional pati sagu hasil asetilasi lebih baik dari pati sagu alami dengan nilai kelarutan dan *swelling power* yang tinggi. Perubahan nilai *freeze-thaw stability* yang tidak signifikan. Hal ini disebabkan adanya substitusi gugus asetil yang menggantikan gugus hidroksil sehingga ikatan hidrogen menjadi lemah dan struktur granula pati menjadi kurang rapat, selain itu, menurunnya kandungan unsur minor (abu, protein dan lemak). Menurut González dan Perez (2002), adanya gugus asetil dalam pati beras dapat memfasilitasi akses air ke daerah amorf, karena disorganisasi struktur intragranular yang disebabkan oleh efek sterik dan gangguan ikatan hidrogen dalam granula pati. Selanjutnya menurut Yuliasih (2008) pati sagu asetat dengan nilai DS < 1,0 menyebabkan peningkatan kelarutan dan *swelling power*.

Nilai kelarutan yang tinggi diperlukan dalam pembuatan *edible film* yang berhubungan dengan transparansi *film*, kelarutan yang rendah menghasilkan *edible film* pati alami berwarna buram (*opaque*) (Gambar 1a). Kelarutan juga berhubungan dengan menurunnya kandungan amilosa pati asetat. Semakin rendah kandungan amilosa menyebabkan struktur gel yang terbentuk semakin lemah dan menghasilkan padatan terlarut yang lebih besar sehingga kelarutan pati dalam air semakin besar dan menghasilkan kejernihan pasta yang tinggi (Lii dan Chang, 1981; Winarno, 2002).

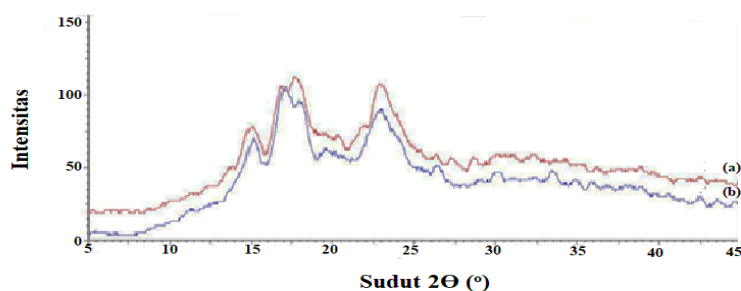
Kristalinitas

Hasil analisis kristalinitas pati sagu dengan *X-Ray Diffraction (XRD)* (Gambar 2) menunjukkan bahwa pati sagu alami memiliki puncak pada 17,69°, 16,86°, 23,09° dan pati sagu asetat memiliki puncak pada 17,08°, 17,94° dan 23,09° (2 teta). Kristalinitas pati alami sebesar 25,83% dan pati asetat sebesar 20,37%. Hasil tersebut sama dengan yang dilaporkan Ahmad *et al.* (1999) bahwa pati sagu alami adalah tipe C yang merupakan gabungan dari tipe A dan B, untuk tipe A puncak 2 θ berada pada 17°, 18°, dan 22°, 23°, 24° untuk tipe B.

Tabel 1 Sifat fisikokimia, fungsional pati sagu alami dan pati sagu asetat

Sifat fisikokimia dan fungsional	Pati alami ¹⁾	Pati asetat ²⁾
Kadar air (% bb)	11,96 ± 0,05	11,20 ± 0,21
Kadar abu (% bk)	0,28 ± 0,02	0,23 ± 0,01
Kadar protein (% bk)	0,40 ± 0,07	0,33 ± 0,01
Kadar lemak (% bk)	0,41 ± 0,03	0,15 ± 0,01
Kadar amilosa (%)	38,79 ± 0,04	29,56 ± 0,04
Kadar asetil (%)	-	3,54 ± 0,25
Derajat Substitusi (DS)	-	0,14 ± 0,01
pH	6,03 ± 0,82	6,10 ± 0,57
Warna : L	72,71 ± 3,97	91,64 ± 0,61
^o Hue	71,43 ± 3,10	89,07 ± 1,92
Chroma	33,90 ± 1,52	6,95 ± 0,18
Kelarutan pada 70°C	15,44 ± 1,20	36,70 ± 0,00
<i>Swelling power</i> pada 70°C	32,57 ± 1,90	62,32 ± 0,96
Kejernihan pasta 1% (%T)	62,50 ± 0,21	76,25 ± 1,20
<i>Freeze-thaw stability</i> (% sineresis)	79,92 ± 0,93	75,23 ± 8,60

Keterangan : Data rata-rata dua kali ulangan; ¹⁾Suwarda *et al.* (2019); ²⁾hasil penelitian ini



Gambar 2. Pola difraksi sinar X (a) pati sagu alami dan (b) pati sagu asetat

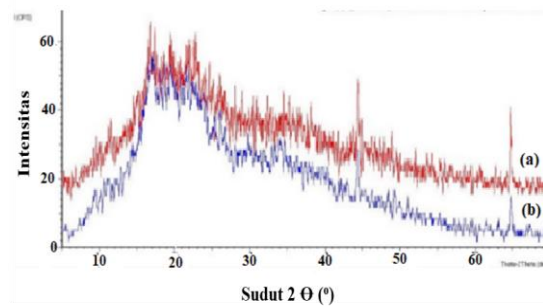
Pati sagu asetat menunjukkan profil yang sama dengan pati sagu alami, namun muncul puncak yang baru pada 17,94° (2 teta). Adanya puncak baru pada pati asetat menunjukkan bahwa dengan proses esterifikasi, struktur kristal pati alami rusak dan struktur baru pati asetat terbentuk. Beberapa peneliti melaporkan bahwa modifikasi pati dengan asetilasi menurunkan kristalinitas pati dibandingkan dengan pati alaminya, peningkatan persen asetil dan DS menurunkan kristalinitas pati (Rahim *et al.*, 2017; Lopez *et al.*, 2010; Halal *et al.*, 2015; Zamudio-Flores *et al.*, 2009).

Hasil analisis kristalinitas *edible film* dengan XRD (Gambar 3) menunjukkan bahwa *edible film* pati sagu alami memiliki puncak pada 16,77°, 44,44°, 64,77° dan pati sagu asetat memiliki puncak pada 17,01°, 44,41° dan 64,78° (2 teta). Kristalinitas pati alami sebesar 15,96% dan pati asetat sebesar 10,10%. Karakteristik *edible film* pati sagu asetat menunjukkan lebih amorf dari *edible film* pati sagu alami. Hasil yang sama dilaporkan oleh Talja *et al.* (2008) bahwa *film* yang diproduksi dari pati yang mengandung amilosa rendah, medium dan tinggi memiliki puncak 17° (2 teta) yang menunjukkan bahwa *film* lebih amorf tetapi masih memiliki kristalit yang kecil. Kristalinitas *edible film* yang tinggi membuat struktur *film* lebih rapat sehingga dapat menahan transfer uap air pada *film* (Singh *et al.*, 2009).

Sudut Kontak (Contact Angle) Edible Film

Karakteristik sifat hidrofobitas *edible film* diukur dengan *contact angle* (CA). Adanya kelompok asetil setelah modifikasi pati sagu dikonfirmasi dengan hasil pengukuran sudut kontak. Hasil pengukuran *contact angle* (CA) *edible film* pati sagu alami dan pati sagu asetat pada awal dan akhir penyimpanan dapat dilihat pada Tabel 2. Dari

hasil pengamatan memperlihatkan nilai CA kedua sampel tersebut pada awal hingga akhir penyimpanan tidak mengalami perubahan yang signifikan.

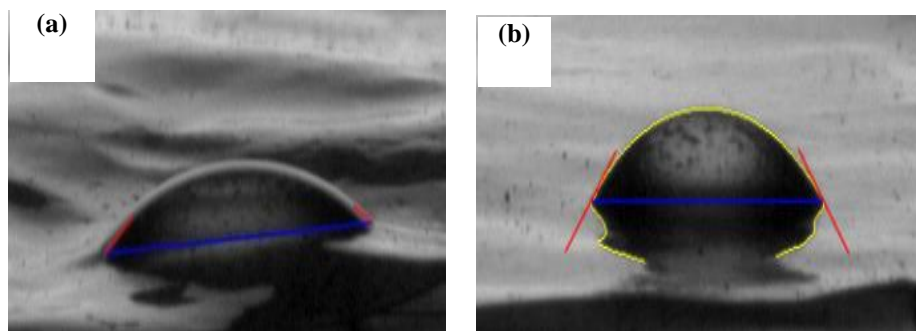


Gambar 3. Pola difraksi sinar X *edible film* (a) pati sagu alami dan (b) pati sagu asetat

Gambar 4a memperlihatkan nilai CA *edible film* pati sagu alami rendah (32°) ketika ditetaskan dengan air suling cepat menyebar di permukaan *edible film*, karena permukaan *edible film* pati sagu alami terdapat banyak makromolekul OH membentuk ikatan hidrogen dalam air. Peningkatan nilai CA signifikan menjadi 51° ketika air suling ditetaskan pada permukaan *edible film* pati sagu asetat (Gambar 4b). Penyimpanan pada suhu yang berbeda menyebabkan penurunan nilai CA, namun nilai CA masih diatas 40°, indikasi *edible film* pati sagu asetat masih bersifat hidrofobik. Menurut Jayaraman *et al.* (2007) nilai CA 45° sampai dengan 95° menunjukkan permukaan *film* bersifat hidrofobik. Selanjutnya Jouki *et al.* (2013) melaporkan bahwa nilai CA antara 30° dan 90° menunjukkan permukaan *film* tidak mudah dibasahi (*less wetted*).

Tabel 2. Sudut kontak (CA) *edible film* pati sagu sebelum dan sesudah penyimpanan

Hari ke-	Suhu (°C)	CA <i>edible film</i> (°)		
		Pati alami	Pati asetat	
0	Ruang	32,00 ± 1,51	51,04 ± 1,21	
	5	29,31 ± 1,84	46,55 ± 2,13	
	34	30	30,08 ± 3,49	44,54 ± 1,06
		40	30,09 ± 3,02	46,46 ± 1,38



Gambar 4 Sudut kontak pada permukaan *edible film* : (a) pati sagu alami dan (b) pati sagu asetat

Morfologi Edible Film

Pengujian dengan SEM dilakukan untuk melihat hasil mikroskopis permukaan *edible film* pada perbesaran 100x. Pengujian awal pada morfologi permukaan *edible film* ditunjukkan pada Gambar 5. Permukaan *edible film* pati alami terdapat patahan (*crack*) atau celah pada permukaan sedangkan pati sugu asetat cenderung tidak ada celah dan patahan pada permukaan *edible film*. Hal ini disebabkan karena perbedaan viskositas pasta dan kelarutan, antara pati sugu alami dan pati sugu asetat, viskositas pati sugu asetat lebih rendah dari pati sugu alami. Viskositas pasta yang tinggi akan berdampak terhadap pembentukan *film* pada saat di *casting* karena akan membentuk *film* yang tebal, tidak rata, permukaan kasar dan mudah rapuh/patah.

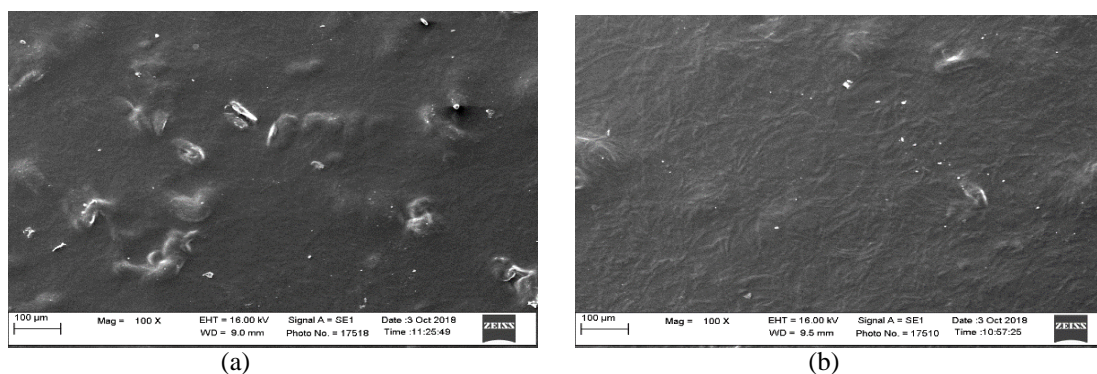
Tensile Strength

Tensile strength (TS) atau kuat tarik merupakan kemampuan penerimaan beban atau gaya renggang maksimum *film* sebelum putus. Berdasarkan persyaratan bahan kemasan, *edible film* harus memiliki tingkat ketahanan terhadap retak (*crack*), ketahanan abrasi dan sifat fleksibel tertentu (Xiao *et al.*, 2011).

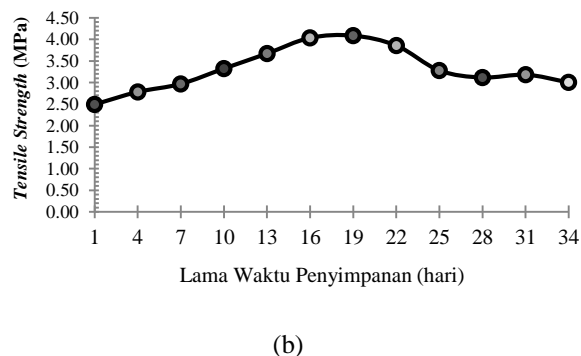
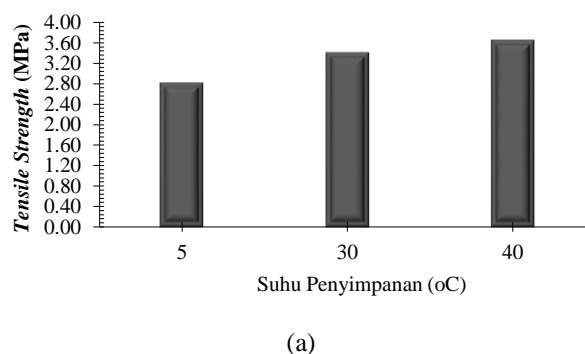
Hasil analisis keragaman (ANOVA) ditemukan bahwa interaksi perlakuan suhu dan lama waktu penyimpanan tidak berpengaruh nyata ($P \geq 0,05$) terhadap sifat TS *edible film* pati sugu asetat. Perlakuan faktor tunggal, suhu penyimpanan dan lama waktu penyimpanan berpengaruh nyata ($P <$

0,05) terhadap sifat TS *edible film* pati sugu asetat. Hasil analisis TS *edible film* berkisar antara 2,25–4,90 MPa. Pengaruh suhu dan lama waktu penyimpanan *edible film* pati sugu asetat selama penyimpanan dapat dilihat pada Gambar 6

Gambar 6a memperlihatkan penyimpanan pada suhu 5°C menghasilkan nilai TS *edible film* pati sugu asetat lebih rendah dan berbeda nyata dari kedua suhu penyimpanan lainnya (30 dan 40 °C). Nilai TS pada suhu 5°C tidak berbeda dengan nilai TS *edible film* pati sugu asetat pada awal penyimpanan (2,85 MPa) ini menunjukkan bahwa *edible film* pati sugu asetat stabil disimpan pada suhu rendah. Penyimpanan *edible film* pada suhu 30 dan 40°C menghasilkan nilai TS yang tinggi dan tidak berbeda nyata antara keduanya. Hal ini diduga karena terdapat gugus asetil (CH_3COO) pada pati asetat sehingga menghambat penyerapan uap air pada *edible film* menyebabkan kandungan airnya relatif stabil selama penyimpanan pada suhu rendah. Namun kondisi yang berbeda pada penyimpanan suhu yang tinggi, nilai TS *edible film* pati sugu asetat meningkat. Hal ini diduga karena terjadi penguapan uap air selama penyimpanan sehingga menyebabkan elastisitas menurun dan kuat tariknya (TS) meningkat. Menurut Labuza (1984) pada suhu yang lebih tinggi kandungan air terikat dalam bahan (*film*) lebih sedikit sehingga mengurangi plastisitas *film* menyebabkan melemahnya struktur *film* yang berimplikasi meningkatkan kekuatan tarik serta modulus elastisitas *film*.



Gambar 5. Morfologi permukaan *edible film*: (a) pati sugu alami dan (b) pati sugu asetat dengan SEM perbesaran 100



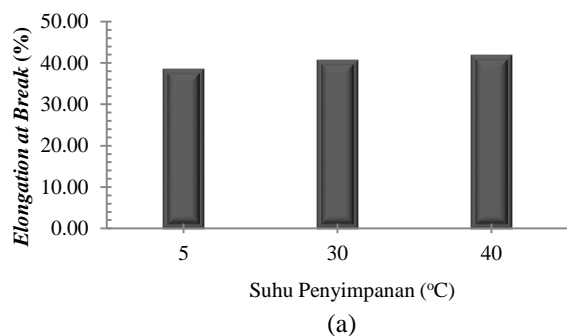
Gambar 6. Pengaruh suhu (a) dan lama waktu penyimpanan (b) terhadap *tensile strength* (TS) (MPa) *edible film* pati sugu asetat

Gambar 6b memperlihatkan terjadi kecenderungan peningkatan nilai TS *edible film* pati sagu asetat dan membentuk grafik stasioner dimana nilai TS yang tinggi pada penyimpanan hari ke 16 dan 19, kemudian menurun hingga akhir penyimpanan dan cenderung konstan. *Edible film* dapat bertahan hingga satu bulan karena nilai TS pada hari ke-34 tidak jauh berbeda pada hari ke-1 bahkan lebih besar. Tingkat kristalinitas *edible film* pati sagu asetat yang rendah (10,10%), membuat *edible film* semakin elastis. Penurunan daerah kristalin menunjukkan penyusunan struktur rantai yang semakin tidak teratur menyebabkan sifat polimer semakin elastis. Menurut Equistar (2004), polimer yang dengan struktur yang tidak teratur (amorf) memiliki sifat seperti karet dan memiliki sifat fisik plastik yang fleksibel, sedangkan polimer kristalin akan sangat kaku dan keras.

Katili *et al.* (2013) menyatakan bahwa *edible film* dengan nilai TS tinggi digunakan untuk produk-produk yang membutuhkan perlindungan tinggi, sementara *edible film* dengan nilai TS rendah dapat digunakan untuk produk makanan. Nilai TS *edible film* pati asetat hasil penelitian ini sesuai dengan standar sebagai kemasan untuk produk makanan seperti yang dilaporkan Krochta dan Johnson (1997) yaitu mulai dari 10 kgf /cm² atau 0,98 MPa dan standar kuat tarik (TS) *film* yang telah ditetapkan oleh JIS Z 1707 (1997) minimal 0,392 MPa.

Elongation at Break

Elongation at break (EAB) merupakan persentase perpanjangan putus suatu plastik. Hasil pengujian EAB *edible film* pati sagu asetat menghasilkan nilai EAB berkisar antara 29,65–89,62%. Berdasarkan hasil ANOVA, perlakuan suhu penyimpanan, interaksi perlakuan suhu dan lama waktu penyimpanan tidak berbeda nyata terhadap nilai EAB ($P \geq 0,05$). Sedangkan perlakuan lama waktu penyimpanan berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap sifat EAB *edible film* pati sagu asetat. Gambar 7 memperlihatkan pengaruh suhu penyimpanan dan lama waktu penyimpanan terhadap nilai EAB.

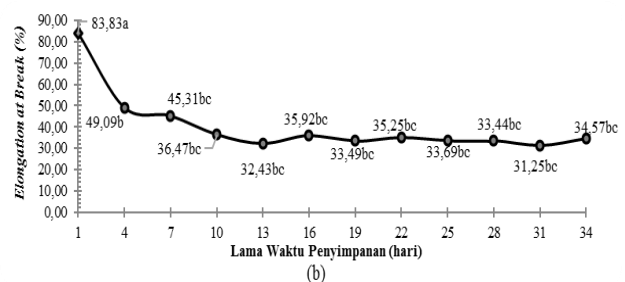


Gambar 7a menunjukkan bahwa penyimpanan *edible film* pada suhu yang berbeda (5, 30 dan 40 °C) menghasilkan nilai EAB yang relatif sama yaitu berturut-turut adalah 38,48; 40,75 dan 41,95%. Sifat *elongasi edible film* pati sagu asetat cenderung menurun atau konstan sampai akhir penyimpanan (Gambar 7b). Penurunan nilai EAB *edible film* pati sagu asetat menunjukkan elastisitas *edible film*.

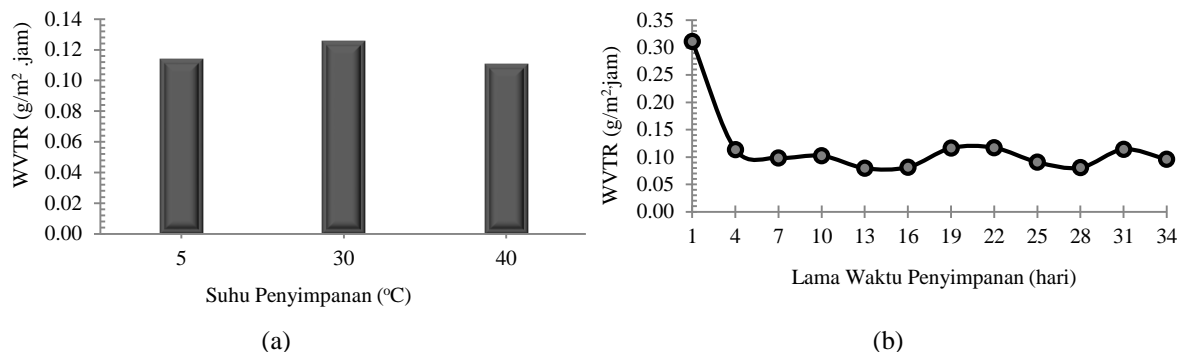
Penurunan nilai EAB *edible film* kemungkinan disebabkan karena pengaruh RH tempat penyimpanan *specimen edible film*, dari hasil pengamatan pada hari ke-4 RH lingkungan penyimpanan mengalami kenaikan dari hari pertama RH 75% menjadi 80%, begitu juga yang terjadi pada hari ke-31. RH menyebabkan kelembaban ruang penyimpanan meningkat dan berdampak pada kelenturan *edible film*. Sifat EAB berkorelasi negatif dengan sifat TS artinya bahwa EAB tinggi maka TS akan menurun, *edible film* semakin elastis dan tidak mudah putus. Hal ini juga didukung oleh temuan Gennadios *et al.* (1993) dan Ose's *et al.* (2009) melaporkan bahwa penurunan TS disebabkan karena peningkatan kelembababan *film*, kelembaban memiliki efek sebagai pemlastis *film* seperti *film* selulosa eter. Pati sagu asetat dengan nilai DS 0.14 dan nilai sudut kontak 51.04° menghasilkan *edible film* pati sagu asetat bersifat hidrofobik namun adanya gliserol sebagai plastisizer menyebabkan *edible film* tersebut masih dapat menyerap air selama penyimpanan karena sifat hidrofiliknya dari gliserol sehingga memberikan efek yang baik terhadap sifat mekanis *edible film* pati sagu asetat.

Laju Transmisi Uap Air (WVTR)

Laju transmisi uap air *edible film* merupakan sifat yang penting untuk diketahui karena dapat memperkirakan daya simpan produk yang dilapisinya. Hasil analisis sidik ragam (ANOVA) ditemukan bahwa perlakuan suhu, lama waktu penyimpanan dan interaksi antara kedua perlakuan berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap sifat WVTR *edible film* pati sagu asetat.



Gambar 7. Pengaruh suhu (a) dan lama waktu penyimpanan (b) terhadap *elongation at break* (EAB) % *edible film* pati sagu asetat



Gambar 8. Pengaruh suhu (a) dan lama waktu penyimpanan (b) terhadap laju transmisi uap air (WVTR) (g/m².jam) *edible film* pati sagu asetat

Gambar 8a memperlihatkan penyimpanan pada suhu 30°C menghasilkan nilai WVTR *edible film* pati sagu asetat berbeda nyata dari kedua suhu penyimpanan lainnya (5 dan 40°C). Perbedaan nilai WVTR pada suhu 30°C diduga karena meningkatnya kelembaban lingkungan penyimpanan *specimen edible film* dari RH 75% menjadi 80% menyebabkan kondisi lingkungan menjadi lembab dan mendukung transmisi uap air, namun masih menghasilkan nilai WVTR yang rendah yaitu 0,13 g/m². Jam dengan perbedaan nilai yang terjadi adalah 0,02 g/m².jam. Gambar 8b menunjukkan nilai WVTR *edible film* pati sagu asetat pada awal penyimpanan lebih besar dan selanjutnya menurun sampai akhir penyimpanan dan relatif stabil. Hal ini menunjukkan bahwa *edible film* pati asetat memiliki sifat *barrier* yang baik ketika disimpan pada suhu rendah maupun suhu yang tinggi serta dapat bertahan selama 34 hari. Sifat pati asetat yang hidrofobik dapat menahan air atau mengurangi absorpsi air ke dalam matriks. Menurut Krochta (1997), transmisi uap air mudah terjadi pada bagian *film* yang bersifat hidrofilik. Hidrofobitas *edible film* ditunjukkan dengan nilai *contact angle* (CA) pada hari ke-0 dan hari ke-34 berada diatas 40°.

Nilai WVTR juga dapat ditunjukkan dengan hasil uji XRD *edible film* (Gambar 3), terlihat bahwa *edible film* pati sagu asetat pada awal penyimpanan menunjukkan tingkat kristalinitas lebih kecil (10,90%) dari *edible film* pati sagu alami, namun rendahnya nilai kristalinitas *edible film* pati sagu asetat memiliki laju transmisi uap air (WVTR) sangat kecil yaitu berkisar antara 0,07–0,33 g/m².jam jika dibandingkan dengan *edible film* pati alami yaitu 0,66 g/m².jam. Hal ini disebabkan oleh struktur dari *edible film* pati asetat lebih rapat dan kompak yang ditunjukkan dengan hasil uji SEM (Gambar 5), dari gambar tersebut terlihat permukaan *edible film* pati sagu asetat pada hari ke-0 lebih halus dan tidak terdapat patahan atau pori sehingga menghambat masuk uap air kedalam *edible film* yang berimplikasi pada rendahnya nilai WVTR. Nilai WVTR yang rendah menunjukkan bahwa *edible film* pati sagu asetat mampu menghambat laju uap air masuk kedalam matriks *film*, sehingga menghambat

pertumbuhan jamur atau kapang sampai akhir penyimpanan (34 hari) dan setelah perpanjangan waktu

Penggunaan gliserol 1% dan konsentrasi pati 5% menghasilkan nilai WVTR *edible film* yang sangat sangat rendah. Sifat hidrofilik dari gliserol tidak menyebabkan meningkatnya nilai WVTR baik pada suhu rendah maupun pada suhu tinggi. Hal ini disebabkan *edible film* bersifat hidrofobik dan konsentrasi gliserol yang ditambahkan relatif kecil sehingga sehingga molekul gliserol tidak menyebar merata mengisi rantai polimer pati sagu. Laju transmisi uap air (WVTR) yang rendah dapat digunakan untuk aplikasi luas sebagai bahan kemasan terutama pada lingkungan lembab. Menurut standar yang telah ditetapkan oleh JIS Z 1707 (1997), *edible film* dapat dikatakan sebagai bahan pengemas pangan apabila laju transmisi uap air yang melewati *film* tidak lebih dari 7 g/m²/jam.

Pengaruh suhu terhadap perubahan nilai WVTR *edible film* pati asetat selama penyimpanan dievaluasi menggunakan hubungan model Arrhenius dengan persamaan 1:

$$\begin{aligned} WVTR &= WVTR_0 \cdot \exp(-E_a/RT) \text{ atau} \\ \ln WVTR &= \ln WVTR_0 - E_a/R \cdot 1/T \end{aligned} \quad (1)$$

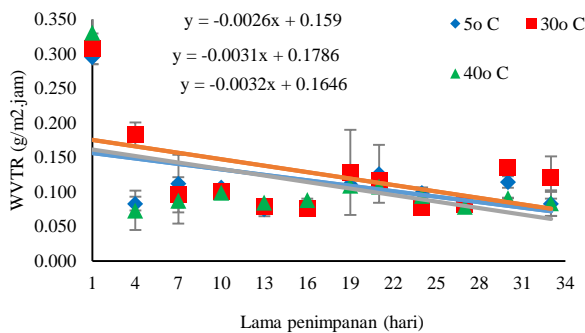
dimana WVTR adalah koefisien laju transmisi uap air (g/m².jam), WVTR₀ adalah konstan, E_a adalah energi aktivasi (J/mol), R adalah konstanta gas ideal 8,314 J/mol. K dan T adalah suhu absolut (Kelvin).

Berdasarkan hasil analisis regresi linier suhu penyimpanan terhadap WVTR diperoleh persamaan garis lurus yang disajikan pada Gambar 9. *Slope* persamaan garis tersebut digunakan untuk perhitungan model Arrhenius. Nilai *slope* (WVTR) diubah menjadi ln (WVTR) (Tabel 3) dihubungkan dengan suhu penyimpanan dalam Kelvin (K) yang diplotkan secara berturut-turut sebagai ordinat dan absis yang ditunjukkan pada Gambar 10.

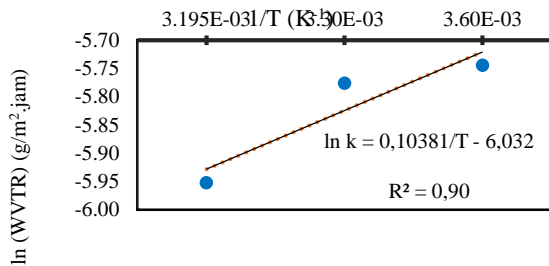
Energi aktivasi (E_a) dari proses permeasi ditentukan dari *slope* logaritma natural dari nilai laju transmisi uap air (WVTR) dengan kebalikan suhu absolut (1/T) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Nilai energi aktivasi *edible film* pati asetat adalah -8,63E-04 kJ/mol. Nilai energi

aktivasi (E_a) yang didapat menunjukkan bahwa laju transmisi uap air (WVTR) *edible film* pati sagu asetat lebih rendah dibandingkan dengan film dari PLA yaitu berkisar antara -8,9, -10,2 dan -8,5 kJ/mol dari hasil penelitian Auras *et al.* (2003). Nilai E_a negatif indikasi bahwa WVTR menurun seiring dengan meningkatnya suhu. Dari Gambar 9 diperoleh model persamaan Arrhenius WVTR yang dapat digunakan untuk memprediksi nilai WVTR dari *edible film* (Persamaan. 2) pada suhu absolut tertentu (Kelvin).

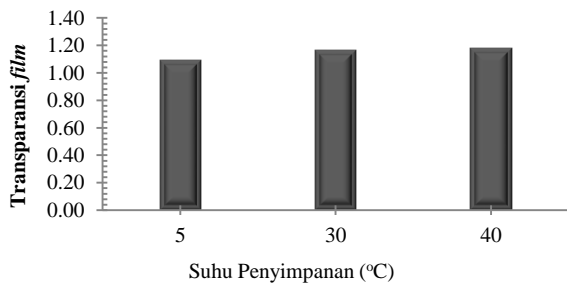
$$WVTR = 0,0024 \cdot e^{0,1038x (1/T)} \dots\dots\dots (1)$$



Gambar 9. Pengaruh suhu penyimpanan terhadap laju transmisi uap air (WVTR) ($g/m^2 \cdot jam$) *edible film* pati sagu asetat



Gambar 10. Grafik hubungan antara laju transmisi uap air (WVTR) dengan suhu ($1/T$) pada *edible film* pati sagu asetat



Transparansi Edible film

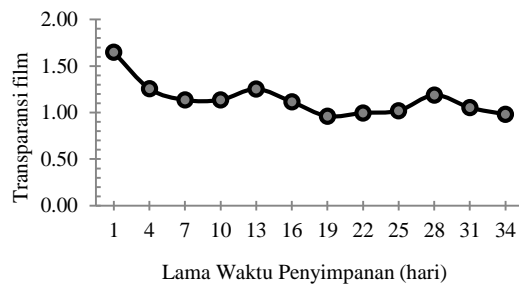
Nilai transparansi film sangat penting pada aplikasi *edible film* terhadap produk pangan. Transparansi menggambarkan tingkat kejernihan dari film yang dihasilkan. Nilai transparansi yang tinggi atau film yang berwarna bening tidak akan mengubah warna asli dari produk pangan yang dilapisi.

Hasil uji ANOVA ditemukan bahwa perlakuan suhu tidak berpengaruh nyata terhadap transparansi *film* ($P > 0.05$), sedangkan perlakuan lama waktu penyimpanan dan interaksi antara kedua perlakuan tersebut berpengaruh nyata ($P < 0.05$) terhadap nilai transparansi. Grafik pengaruh perlakuan suhu penyimpanan dan lama waktu penyimpanan dapat dilihat pada Gambar 11. Gambar 11a menunjukkan bahwa nilai transparansi *edible film* yang disimpan pada suhu yang berbeda relatif sama atau tidak berbeda. Namun selama penyimpanan nilai transparansi mengalami perubahan dari hari ke-3 dan selanjutnya relatif stabil sampai akhir penyimpanan (Gambar 11).

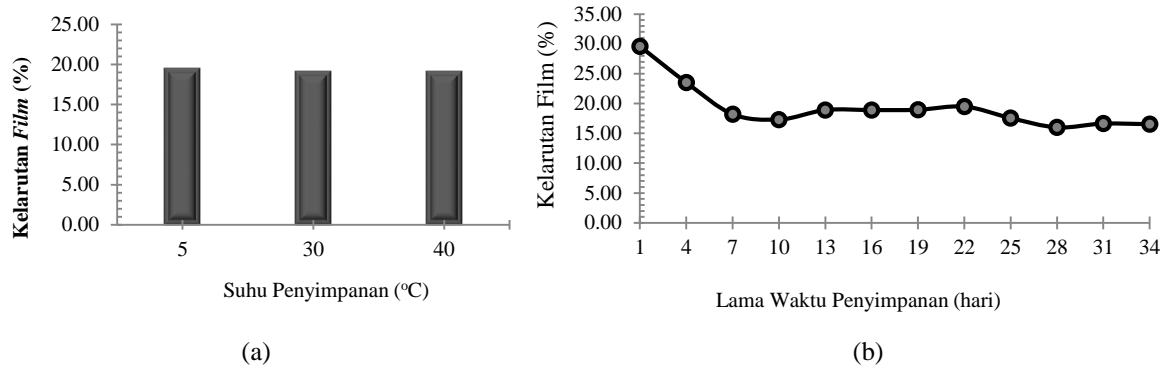
Hal ini menunjukkan bahwa transparansi *film* relatif stabil atau tidak mengalami perubahan yang berarti, perubahan nilai transparansi selama penyimpanan diduga dipengaruhi ketebalan *film*. Semakin tebal *film*, semakin tinggi nilai transparansi karena lebih banyak cahaya diserap pada *film* yang direkam oleh spektrofotometer dengan panjang gelombang tertentu. Semakin tinggi nilai transparansi semakin buram *edible film* yang dihasilkan.

Kelarutan

Kelarutan merupakan sifat fisik *edible film* yang penting karena berkaitan dengan kemampuan *edible film* untuk menahan air (Bourbon *et al.*, 2011). Kelarutan yang tinggi menyebabkan *edible film* mudah larut dalam air dan kemampuannya untuk menahan air menjadi berkurang. *Edible film* dengan kelarutan tinggi sangat baik digunakan pada produk pangan siap makan karena mudah larut pada saat dikonsumsi (Pitak dan Rakshit, 2011).



Gambar 11. Pengaruh suhu (a) dan lama waktu penyimpanan (b) terhadap transparansi *edible film* selama penyimpanan



Gambar 12. Pengaruh suhu (a) dan lama waktu penyimpanan terhadap kelarutan *edible film* selama penyimpanan

Kelarutan yang tinggi juga berkaitan dengan sifat biodegradasi *edible film*. Sementara itu, daya larut rendah menjaga integritas struktural misalnya digunakan sebagai bahan *coating* buah dan sayuran. Kelarutan yang rendah merupakan salah satu persyaratan penting *edible film dan coating* terutama untuk penggunaan sebagai kemasan pangan yang umumnya memiliki kadar air dan aktivitas air yang tinggi yang berfungsi sebagai pelindung produk pangan (Atef *et al.*, 2015; Singh *et al.*, 2015). Perubahan nilai kelarutan *edible film* karena perlakuan suhu penyimpanan dan lama penyimpanan ditunjukkan pada Gambar 12.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Asetilasi pati sago menghasilkan sifat fisiskokimia yang lebih baik dari pati alami. *Edible film* pati sago asetat lebih lebih transparan, *smooth*, *glossy*, tingkat kristalinitas lebih rendah, dan bersifat hidrofobik. Penyimpanan pada suhu 30 dan 40°C menyebabkan nilai TS meningkat dan nilai WVTR meningkat pada suhu 30°C. Sifat hidrofobik dari *edible film* menyebabkan selama periode penyimpanan 34 hari *edible film* pati sago asetat menunjukkan stabilitas terhadap suhu penyimpanan dengan RH ruang penyimpanan sebesar 75%. Perubahan sifat fisik dan mekanis terjadi pada awal penyimpan dimana terjadi penurunan nilai sifat fisik dan mekanis yang signifikan namun selanjutnya cenderung stabil sampai akhir penyimpanan. *Edible film* pati sago asetat yang dihasilkan mempunyai sifat mekanis yang baik dan resisten terhadap uap air, dapat digunakan untuk aplikasi sebagai bahan kemasan terutama pada lingkungan lembab.

Saran

1. Untuk melihat kualitas *edible film* pati sago asetat maka masa simpan sampel uji dilakukan lebih dari dua bulan dan melihat stabilitasnya pada penyimpanan suhu beku (dibawah 0°C).
2. Perlu dilakukan aplikasi pada *coating* bahan pangan seperti buah klimaterik, buah potong,

permen dan produk yang mengandung kadar air tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- AOAC, 1995. Official Methods of Analysis of AOAC International, 2v (16 ed.). Arlington, TX: Association of Official Analytical Chemistry.
- AOAC. 1997. *Official Methods of Analysis*. Wahington DC. Association of Official Analytical Chemists Inc
- AOAC. 2006. Official Methods of Analysis. Washington (US): Association of Official Analytical Chemists AOAC 1995
- ASTM D638. 2005. Standard Test Methods For Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. Philadelphia (US): ASTM
- ASTM D5946-04. 2005. Standard Test Method for Corona-Treated Polymer Films Using Water Contact Angle Measurements. Pennsylvania (US): American Society for Testing Material.
- Agboola SO, Akingbala JO, and Oguntimein GB. 1991. Physicochemical and functional properties of low DS cassava starch acetates and citrates. *Starch*, 43: 62–66. doi.org/10.1002/star.19910430207.
- Ahmad FA, Williams PA, Doublie J, Durand S, Buleon, A. 1999. Physico-chemical characterization of sago starch. *Carbohydr Polym* 38: 361-370, doi.org/10.1016/S0144-8617(98)00123-4
- Anker M, Berntsen J, Hermansson AM, Stading M. 2002. Improved water vapour barrier of whey protein films by addition of an acetylated monoglyceride. *Innovative Food Sci and Emerging Technol* 3: 81–92.
- Atef M, Rezaei M, Behrooz R. 2015. Characterization of physical, mechanical, and antibacterial properties of agar-cellulose bionanocomposite films incorporated with savory essential oil. *Food Hydrocolloids*. 45: 150-157, doi:10.1016/j.foodhyd. 2014.09.037.
- Auras RA, Harte B, Selke S and Hernandez R. 2003. Mechanical, physical and barrier properties

- of polylactide films. *Journal of Plastic Film and Sheeting* 19:123-135, doi.org/10.1177/8756087903039702.
- Bao S, Xu S, and Wang Z. 2009. Antioxidant activity and properties of gelatin films incorporated with tea polyphenol-loaded chitosan nanoparticles. *J Sci Food and Agric*, 89 (15): 2692-2700, doi.org/10.1002/jsfa.3775.
- BeMiller JN dan Whistler RL. 1984. *Starch Chemistry and Technology*. 2nd ed. London, UK: Academic Press Publications; 879 p.
- Bourbon AI, Pinheiro AC, Cerqueira MA, Rocha CMR, Avides MC, Quintas MAC, Vicente AA. 2011. Physico-chemical characterization of chitosan-based edible films incorporating bioactive compounds of different molecular weight. *J Food Eng*. 106(2): 111-118, doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.03.024.
- Equistar. 2004. *A Guide To Polyolefin Film Extrusion*. Houston: Lyondell Chemical Company.
- Forssell P. 2002. Oxygen permeability of amylose and amylopectin films. *Carbohydr Polym*, 47(2): 125–129, doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00175-8.
- Galdeano MC, Grossmann MVE, Mali S, Bello-Perez, La, Garcia Ma, Zamudio-Flores PB. 2009. Effects of production process and plasticizers on stability of films and sheets of oat starch. *Materials Sci and Eng : C*, 29(2), 492–498, doi.org/ 10.1016/j.msec.2008.08.031.
- García MA, Pinotti M, Zaritzky NM. 2004. Characterization of composite hydrocolloid films. *Carbohydr Polym*. 56 (3): 339-345.
- Gennadios A, Weller, CL and Testin RF. 1993. Property modification of edible wheat gluten-based films. *Transactions of the ASAE*, 36: 465-470.
- Halal SMLE, Colussi R, Pinto, VZ, Bartz J, Radunz M, Carreño NLV, Dias ARG and Zavareze ER. 2015. Structure, morphology and functionality of acetylated and oxidized barley starches. *Food Chem* 168: 247–256.
- Huri D, Nisa FC. 2014. Pengaruh konsentrasi gliserol dan ekstrak ampas kulit apel terhadap karakteristik fisik dan kimia edible film. *J Pangan Agroindustri*. 2(4): 29-40.
- JIS (Japan Industrial Standart). 1997. *General Rules of Plastic Films for Food Packaging*. Z 1707. Japanese Standart Association
- Katili S, BT Harsuno, dan S Irawan 2013. Pengaruh Konsentrasi Plasticizer Gliserol dan Komposisi Khitosan dalam Zat Pelarut terhadap Sifat Fisik Edible film dari Khitosan. *Jurnal Teknologi*, 6(1): 29-38.
- Karbowiak T, Debeaufort F dan Voilley A. 2007. Influence of thermal process on structure and functional properties of emulsion-based edible films. *Food Hydrocolloids*, 21: 879-888, doi:10.1016/j.foodhyd.2006.07.017
- Krochta JM dan DeMulder-Johnston C. 1997. Edible and biodegradable polymerfilms: challenges and opportunities. *Food Technol* 51(2):61–74.
- Lii CY dan Chang SM. 1981. Characterization of red bean (Phaseolus Radiatus Var. Aurea) starch and its noodle quality. *J. Food Sci*. 46. Academic Press. London.
- López OV, Zaritzky NE, Grossmann MVE, García MA. 2013. Acetylated and native corn starch blend films produced by blown extrusion. *J Food Eng*. 116(2):286-297.
- López O, García M, Zaritzky N. 2008. Film forming capacity of chemically modified corn starches. *Carbohydr Polym* 73, 573–581.
- Lopez OV, Zaritzky NE and Garcia, MA. 2010. Physicochemical characterization of chemically modified corn starches related to rheological behavior, retrogradation and film forming capacity. *J Food Eng* 100: 160–168.
- Mali S, Grossmann, MVE, García MA, Martino MN, Zaritzky NE. 2005. Mechanical and thermal properties of yam starch films. *Food Hydrocolloids*, 19(1): 157–164. doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.05.002
- Micard V, Belamri R, Morel HM, Guilbert. 2000. Properties of chemically and physically treated wheat gluten films. *J Agric and Food Chem* 48: 2948–2953, doi: 10.1021/jf0001785.
- Nisperos-Carriedo MO. 1994. Edible coatings and films based on polysaccharides. In *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*; Krochta, JM, Baldwin, E. A.; Technomic Publishing Company: Lancaster, pp. 305–335.
- Ose's J, Fernández-Pan I, Mendoza M, Juan I, Mate. 2009. Stability of the mechanical properties of edible films based on whey protein isolate during storage at different relative humidity. *Food Hydrocolloids* 23:125–131.
- Parra D, Tadini C, Ponce P, Lugao A. 2004. Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films. *Carbohydr Polym*, 58, 475–481.
- Parandoosh S dan Hudson SM. 1993. The acetylation and enzymatic degradation of starch films. *J Applied Polym Sci*, 48(5): 787–791. Doi.org/10.1002/app.1993.070480504.
- Perez LAB, Acevedo EA, Hernandez LS dan Lopez OP. 1999. Isolation and Partial Characterization of Banana Starches. *J Agric Food Chem*. 47: 854 – 857
- Pitak N dan Rakshit SK. 2011. Physical and antimicrobial properties of banana flour/chitosan biodegradable and self

- sealing films used for preserving fresh-cut vegetables. *LWT-Food Science and Technology* 44: 2310-2315.
- Rahim A dan Kadir S. 2017. The influence degree of substitution on the physicochemical properties of acetylated arenga starches. *International Food Research Journal*. 102–107.
- Rodríguez M, Osés J, Sian K, Mate JI. 2006. Combined effect of plasticizer and surfactants on the physical properties of starch based edible films. *Food Research International* 39 : 840-846, doi.org/10.1016/j.foodres.2006.04.002.
- Singh H, Sodhi NS, dan Singh N. 2009. Structure and functional properties of acid thinned sorghum starch. *International Journal Food Properties*.12(4), 713–725, doi.org/10.1080/10942910801995614
- Sodhi NS dan Singh N. 2005. Characteristics of acetylated starches prepared using starches separated from different rice cultivars. *J. Food Eng.* 70: 117–127. doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.09.018
- Sokhey AS dan Chinnaswamy R. 1993. Chemical and molecular properties of irradiated starch extrudates. *Cereal Chem* 70: 260–268.
- Suwarda R, Irawadi TT, Suryadarma P, Yuliasih I. 2019. Acetylation optimization of sago (Metroxylon sago rott.) starch for edible film production. *International Journal Adv Res.* 7(5): 1207-1217.
- Talja RA, Peura M, Serimaa R, Jouppila K. 2008. Effect of amylose content on physical and mechanical properties of potato-starch-based edible films. *Biomacromolecules*, 9(2): 658–663.
- Thirathumthavorn D dan Charoenrei S. 2005. Thermal and pasting properties of acid-treated rice starches. *Starch/Stärke*. 57:217-222.
- Whistler RL dan Daniel JR. 1995. *Carbohydrates*. In O. R. Fennema (Ed.), *Food Chemistry* (pp. 69–137). New York: Marcel Decker.
- Winarno FG. 2002. *Fisiologi Lepas Panen Produk Hortikultura*. Bogor: M-Brio Press..
- Wu Y, Weller C, Hamouz F, Cuppett S, Schnepf M. 2001. Moisture loss and lipid oxidation forprecooked ground-beef patties packaged in edible starch-alginate-based composite films. *Journal Food Science*. 66 (3): 486-493, doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb16137.x
- Wurzburg OB. 1978. Starch, modified starch and dextrin. In Products ofthe corn refining industry: Seminar proceedings (pp. 23– 32). Washington DC: Corn Refiners Association, Inc.
- Xiao G, Zhu, Y, Wang L, You Q, Huo P, and You Y. 2011. Production and Storage of Edible Film Using Gellan Gum, 8 (November), 756–763.
- Yuliasih I. 2008. Fraksinasi dan asetilasi pati sago (metroxylon sago rottb.) serta aplikasi produknya sebagai bahan campuran plastik sintetik. [Disertasi]. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Zamudio-Flores PB, Bello PL, Vargas TA, Hernández UJ, Romero BC. 2007. Partial characterization of films prepared with oxidized banana starch. *Agrociencia*. 41 (8): 837-844.
- Zamudio-Flores PB, Torres AV, Salgado-Delgado R, Bello-Pe rez LA. 2009. Influence of the oxidation and acetylation of banana starch on the mechanical and water barrier properties of modified starch and modified starch/chitosanblend films. *Journal Applied Polym Science*. 115, 991–998.