

Masa simpan tempe dalam pengemas edible film tapioka termodifikasi

[*Shelf life of tempe wrapped by modified-tapioca edible film*]

Maria Erna Kustyawati^{*1}, Dian Santoso Manalu¹, Murhadi¹, Ahmad Sapta Zuidar¹, dan Diki Danar Tri Winanti¹

¹Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

* Email korespondensi : mariaernakustyawati@gmail.com

Diterima : 18 Maret 2020, Disetujui : 5 Januari 2021, DOI: <http://dx.doi.org/10.23960/jthp.v26i1.45-55>

ABSTRACT

*Edible film made up of modified tapioca was used to wrap tempeh and its shelf life estimation was determined. The edible films must be capable of evenly aerating and maintaining moisture without causing condensation in order mycelium to be able to grow and produce high-quality tempeh. The experiment was carried out in completely randomized design with two main factors of storage temperature and time. An accelerated shelf life test at 17°C, 27°C, and 37°C with an Arrhenius model was used to calculate the shelf life, and water content was used as quality parameter indicator. The result showed that modified-tapioca based edible film made from fermentation of tapioca by *Saccharomyces cerevisiae* was characterized as having elongation of 11.40 %, tensile strength of 408.37 MPa, thickness of 0.88 mm and WVTR of 12.60 g/m²/h. Rate constant of water content decrease in edible film wrapped tempeh based on Arrhenius model was 0.3832 % day⁻¹ and E_a was 10.296 kkal/gmol, while that of in PP-plastic wrapped tempeh was 0.3831% day⁻¹ and E_a was 9.998 kkal/gmol. The shelf life of edible film wrapped tempeh was 9.39 days at 27°C, 5.18 days at 27°C, and 2.96 days at 37°C, while shelf life of PP-plastic wrapped tempeh was 8.64 days at 17°C, 4.85 days at 27°C, and 2.82 days at 37°C. Therefore, it can be concluded that modified tapioca based edible film increased the shelf life of tempeh.*

Keywords: arrhenius, edible film tapioka termodifikasi, shelf life, tempeh

ABSTRAK

Edibel film berbasis tapioka termodifikasi digunakan sebagai bahan pembungkus tempe dan selanjutnya dilakukan analisa pedugaan masa simpan tempe. Edibel film diharapkan mampu menjamin aerasi yang merata secara terus menerus sehingga kelembaban tetap tinggi tanpa ada pengembunan agar miselium tetap tumbuh dan menghasilkan tempe berkualitas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui masa simpan tempe yang dikemas edible film tapioka termodifikasi metode ASLT pada suhu bertingkat 17°, 27°, dan 37°C dengan model Arrhenius. Perubahan kadar air selama penyimpanan digunakan sebagai parameter uji. Percobaan menggunakan rancangan acak kelompok dengan dua faktor yaitu suhu dan lama simpan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa edible film yang dibuat melalui fermentasi *S. cerevisiae* mempunyai sifat elongasi 11,40 %, *tensile strength* 408,37 MPa, *thickness* 0,88 mm and WVTR 12,60 g/m²/h. Konstanta (K) laju penurunan kadar air berdasarkan model Arrhenius sebesar 0,3832 % hari-1 dan nilai energi aktivasi (E_a) sebesar 10,296 kkal gmol⁻¹, sementara besaran K tempe kontrol sebesar 0,3831% hari-1 dan E_a 9,998 kkal gmol⁻¹. Masa simpan tempe kemas edible film tapioka termodifikasi 9,39 hari pada suhu 17°C, 5,18 hari pada suhu 27°C, dan 2,96 hari pada suhu 37°C, sedangkan masa simpan tempe kemas plastik PP 8,64 hari, 4,85 hari, dan 2,82 hari. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa kemasan edible film tapioka termodifikasi dapat memperpanjang masa simpan tempe.

Kata kunci: arrhenius, edible film tapioka termodifikasi, masa simpan, tempe

Pendahuluan

Edible film dan coating adalah lapisan tipis terbuat dari komponen seperti protein, polisakarida dan lipid (Pérez, 2017). Edible film dibentuk untuk melapisi makanan atau dapat diletakkan antara makanan dan atmosfer sekitarnya. Edible film sendiri berfungsi sebagai penghambat perpindahan uap air, penghambat pertukaran gas, pencegah kehilangan aroma, pencegah perpindahan lemak, peningkatan karakteristik fisik, dan pembawa zat aditif (Sapper & Chiralt, 2018).

Penggunaan film berbeda dengan coating. Film adalah lembaran individu dan terpisah dari produk, sedangkan coating menempel pada produknya (Pérez, 2017). Edible film dari beberapa jenis bahan polisakarida alami sudah banyak diteliti mulai dari iles-iles (*Canna edulis*), ganyong (*Canna discolor*), tapioka, daging lidah buaya, hingga biji durian (Franco et al., 2017; Jacob et al., 2014; Winarti et al., 2012). Edible film banyak digunakan sebagai pelapis buah-buahan sehingga masa simpannya lebih panjang (Raghav, 2016; Salehi, 2020). Namun, edible film berbasis tapioka alami memiliki kelemahan yaitu rapuh, kaku, dan tidak tahan terhadap pemanasan.

Edible film berbahan tapioka termodifikasi merupakan salah satu inovasi yang perlu pengembangan lebih lanjut. Tapioka termodifikasi adalah tapioka yang telah mengalami perbaikan karakteristik melalui proses fermentasi oleh *S.cerevisiae*. Akibatnya, terjadi penurunan kadar amilosa, kenaikan daya kelarutan, dan peningkatan kadar protein (Kustyawati et al., 2013).

Tempe adalah salah satu produk pangan yang mudah rusak atau mengalami penurunan karakteristik sensori dan fungsional. Sedangkan tempe segar (*fresh tempe*) memiliki karakteristik berwarna putih keabu-abuan yang ditimbulkan oleh pertumbuhan miselium kapang yang menyelimuti seluruh permukaan tempe. Tempe segar memiliki tekstur yang kompak, padat, dan dapat diiris karena adanya jalinan hifa yang mengikat antar kedelai. Aromanya berupa khas kapang dengan citarasa kacang-kacangan (*beany flavor*). Jika miselium kapang mati, warna putih keabu-abuan berubah menjadi warna kecoklatan, dan tampak warna kedelai. Jika miselium mulai berkecambah membentuk spora, terlihat warna kehitaman pada tempe karena spora kapang berwarna hitam. Saat itulah tempe disebut sebagai *over fermented*. Jika kedua kondisi tersebut terjadi maka tempe dapat dikatakan telah mengalami kemunduran mutu (Kustyawati et al., 2013).

Tempe segar pada umumnya hanya bertahan 36-48 jam pada suhu ruang. Tempe diproduksi di dalam suatu kemasan atau pembungkus dari bahan yang berpori agar sirkulasi oksigen dalam jumlah kecil (mikroaerofilik) tetap berlangsung untuk pertumbuhan kapang *R. oligosporus*. Pada umumnya, kemasan yang digunakan berupa daun pisang, daun Hibiscus, atau plastik yang diberi lubang kecil menyerupai pori-pori.

Edible film dari tapioka termodifikasi digunakan sebagai pembungkus tempe menggantikan kemasan daun. Edible film diharapkan mempunyai sifat fleksibilitas dan transmisi oksigen yang baik agar miselium kapang *R. oligosporus* tetap hidup sehingga dapat memepertahankan kualitas tempe. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui masa simpan tempe yang dibungkus dalam edible film berbasis tapioka termodifikasi. Tempe yang dikemas dengan edible film diharapkan memiliki masa simpan yang lebih lama daripada tempe kontrol yang dikemas dengan plastik polipropilen.

Bahan dan metode

Bahan dan alat

Penelitian dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknologi Hasil pertanian Unila. Ubikayu varietas Kasetsart dari Lampung Tengah, tempe segar (berumur 40 jam) diperoleh dari PrimKopti Tempe Gunung Sulah, Bandar Lampung, biakan *S.cerevisiae* mengisolasi dari ragi Fermipan. Peralatan gelas dan pembuatan tempe, serta pembuatan tapioka.

Metode penelitian

Pembuatan tapioka termodifikasi

Tapioka termodifikasi dibuat melalui fermentasi kultur terendam menggunakan starter *Saccharomyces cerevisiae* mengikuti prosedur yang dilakukan oleh Kustyawati et al. (2013). Sebanyak 2% (v/v) starter dengan konsentrasi jumlah sel 108 sel/mL ditambahkan ke dalam suspensi tapioka. Starter ini dalam fase pertumbuhan logaritmik. Homogenisasi dilakukan dengan pengadukan. Selanjutnya suspensi tapioka yang mengandung starter diinkubasi pada suhu $28 \pm 2^\circ\text{C}$ selama 24 jam dalam wadah secara aerobik. Setelah pengeringan dengan oven blower pada suhu 50°C , dilakukan pengecilan ukuran tapioka terfermentasi hingga 80 mesh. Selanjutnya tapioka termodifikasi disimpan pada suhu dingin. Pembuatan tapioka merujuk pada prosedur SNI (2011).

Pembuatan Edible film

Edible film berbasis tapioka termodifikasi dibuat dengan metode Casting menggunakan *platisicer* gliserol sebanyak 0,3 %, sebagai berikut. Tapioka termodifikasi diletakkan ke dalam glass Beaker 250 mL yang berisi 100 mL aquades, setelah dihomogenkan larutan dipanaskan pada suhu $75 \pm 2^\circ\text{C}$ dalam *water bath shaker* selama 15 menit. Selanjutnya ditambahkan gliserol menggunakan pipet tetes, dilakukan pengadukan dan dipanaskan kembali selama 15 menit pada suhu $75 \pm 2^\circ\text{C}$. Larutan film yang sebelumnya telah didinginkan selama 3-4 menit. Dituangkan ke dalam plat kaca (cetakan) berukuran 15 x 15 cm (p x L) yang telah steril (desinfeksi dengan alkohol 70 %). Selanjutnya plat kaca yang berisi film dikeringkan dengan oven blower selama 15 jam pada suhu $38 \pm 1^\circ\text{C}$ sehingga terbentuklah edible film berbasis tapioka termodifikasi.

Pengemasan dan penyimpanan tempe

Tempe dengan ukuran tertentu dikemas langsung dengan pembungkus edible film tapioka termodifikasi yang selanjutnya disebut tempe kemas film. Tempe diletakkan ke dalam wadah nampan sterofoam, dan selanjutnya disimpan pada suhu bertingkat 17° , 27° , dan 37°C . Tempe kemas plastik polipropilen (PP) sebagai kontrol juga disimpan dengan perlakuan yang sama. Penyimpanan dilakukan selama 5 hari. Plastik PP mempunyai permeabilitas terhadap uap air rendah dan terhadap gas sedang sehingga sesuai dengan kebutuhan untuk pembungkus tempe. Plastik PP juga bersifat tahan lemak, asam kuat, dan basa.

Analisa masa simpan

Metode ASLT model Arrhenius digunakan dalam pendugaan masa simpan tempe (Kustyawati et al., 2020). Analisis penentuan umur simpan dilakukan terhadap besarnya nilai *slope* pada parameter uji berupa kadar air. Pada prinsipnya penentuan umur simpan ditentukan oleh parameter mutu yang paling cepat mengalami perubahan selama penyimpanan. Semakin besar nilai mutlak *slope* maka semakin cepat pula perubahan yang terjadi (Phimolsiripol et al., 2016).

Data yang telah didapatkan divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk mendapatkan regresi linearnya berupa *slope* (k), intersep (b) dan korelasinya (R) pada suhu penyimpanan. Nilai *slope* (k) yang telah didapatkan selanjutnya diubah menjadi \ln dan diaplikasikan pada persamaan Arrhenius sebagai ordinat sedangkan nilai $1/T$ sebagai absis. Kurva regresi dibuat sehingga diperoleh grafik hubungan $\ln k$ dengan suhu $1/T$. Nilai k menunjukkan gradien dari regresi linier yang didapatkan dari ketiga suhu penyimpanan, sedangkan T merupakan suhu (Kelvin).

Berdasarkan hasil regresi yang diperoleh pada kurva Arrhenius dapat ditentukan umur simpan tempe dalam masing-masing pengemas berdasarkan persamaan 1.

$$k = k_0 \exp -E_a/RT \quad \dots(1)$$

Rumus tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk lain pada persamaan 2.

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E}{R} - \frac{1}{T} \quad \dots(2)$$

Dimana: k_0 menunjukkan konstanta penurunan mutu yang disimpan pada suhu normal, k menyatakan konstanta penurunan mutu dari salah satu kondisi yang digunakan (suhu 17°C, 27°C, 37°C), sedangkan E/R merupakan gradien yang diperoleh dari plot Arrhenius. Berdasarkan perhitungan dengan rumus tersebut, diperoleh k (konstanta penurunan mutu pada suhu normal). Kemudian masa simpan tempe dalam kemasan dihitung dengan menggunakan persamaan ordo satu. Menurut Kusnandar & Adawiyah (2010), pemilihan ordo 0 dan ordo 1 dapat dipertimbangkan berdasarkan besarnya nilai koefisien korelasi yang terbesar. Nilai korelasi yang semakin besar dari yang lain menunjukkan hubungan reaksi yang cepat terhadap kerusakan produk. Rumus ordo satu dinyatakan pada persamaan 3.

$$t = \frac{\ln A_0 - \ln A_t}{k} \quad \dots(3)$$

Dimana t = prediksi umur simpan (hari), A_0 = nilai awal mutu kadar air, A_t = nilai mutu kadar air setelah waktu t , dan k = konstanta penurunan mutu pada suhu normal. Menurut Kusnandar & Adawiyah (2010), kriteria pemilihan umur simpan yang dipilih berdasarkan pada tiga aspek. Pertama, parameter mutu yang mengalami penurunan sangat cepat selama penyimpanan ditunjukkan dengan nilai koefisien *slope* mutlak yang paling besar. Kedua, parameter mutu yang sangat sensitif terhadap suhu dilihat dari persamaan Arrhenius atau dilihat dari energi aktivasinya yang paling rendah dimana semakin rendah energi aktivasinya menunjukkan parameter mutu tersebut semakin sensitif terhadap perubahan suhu. Sensitivitas parameter mutu terhadap suhu juga dapat dilihat dari nilai koefisien korelasinya. Semakin besar nilai korelasinya maka semakin besar hubungan antara perubahan nilai k terhadap suhu. Ketiga, apabila terdapat lebih dari 1 parameter mutu yang memenuhi kriteria (1) dan (2) maka dipilih umur simpan yang paling pendek.

Penentuan titik kritis

Titik kritis ditentukan berdasarkan faktor utama yang sangat sensitif serta dapat menimbulkan terjadinya perubahan mutu produk selama distribusi, penyimpanan, hingga siap dikonsumsi (Herawati, 2008). Untuk menentukan batas kritis, tempe segar disimpan pada suhu ruang dan dilakukan uji Hedonik penerimaan konsumen terhadap sifat sensori tempe yang diekspresikan dalam skala numerik 1-5 (Soekarto, 1985). Panelis adalah 20 orang semi terlatih terdiri dari mahasiswa dan dosen Jurusan Teknologi Hasil pertanian Unila. Parameter uji meliputi warna, tekstur dan aroma. Pengujian dilakukan setiap hari. Pengujian dihentikan bila terdapat 75% dari panelis menolak atau tidak menerima tempe (Musaddad, 2011).

Analisa statistik

Analisis masa simpan dalam percobaan ini menggunakan metode penelitian eksperimental dengan dua faktor perlakuan yaitu suhu penyimpanan dan jenis kemasan. Faktor pertama suhu penyimpanan (T) dalam 3 taraf suhu 17°, 27°, dan 37°C, dan faktor kedua yaitu kemasan (K) dalam dua taraf yaitu edible film tapioka termodifikasi dan plastik PP. Setiap unit percobaan terdiri dari tempe kemas edible film dan tempe kemas plastik PP yang diletakkan dalam nampan. Parameter perubahan mutu yang diamati adalah kadar air. Program Excell 2010 digunakan untuk penghitungan laju perubahan mutu tempe dengan model Arrhenius.

Hasil dan pembahasan

Edible film berbasis tapioka termodifikasi

Hasil analisis edible film tapioka termodifikasi (*modified tapioca edible film*) menunjukkan bahwa edible film mempunyai karakteristik, *elongation*=11,40%, kuat tarik (*tensile strength*) = 408,37 Mpa, *thickness*=0,88 mm dan WVTR = 12,60 g/m²/h. Edible film berbasis tapioka termodifikasi termasuk dalam

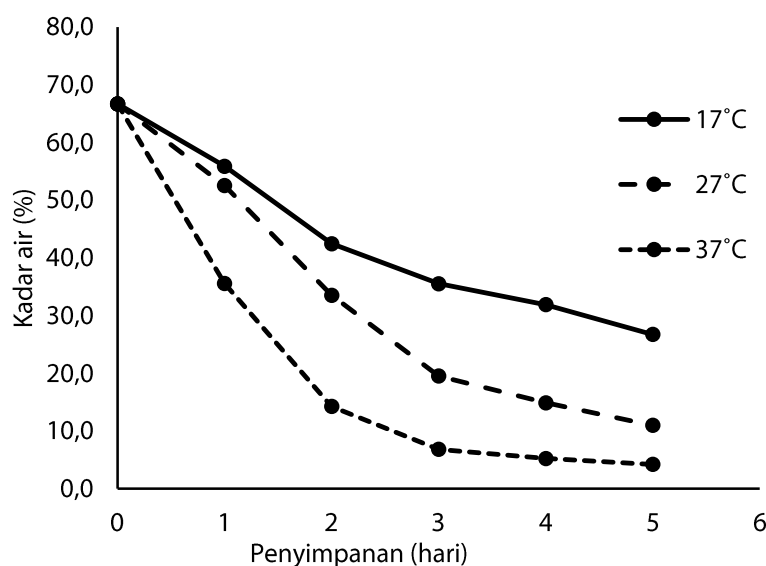
standar SNI dengan sifat mekanik plastik: kuat tarik 24,7 – 302 MPa, persen elongasi (%) 21-220 %, hidrofobisitas 99 %. Selanjutnya edible film ini digunakan untuk membungkus tempe segar yaitu setelah terfermentasi selama 40 jam.

Laju kerusakan tempe berdasarkan laju penurunan parameter mutu kadar air

Penurunan mutu tempe dapat diukur berdasarkan parameter kerusakan tempe antara lain warna (kecerahan), tekstur, aroma, kadar air, susut bobot, dan laju respirasi. Kerusakan tempe pada penelitian ini diukur berdasarkan kadar air. Kandungan air cenderung menurun selama penyimpanan. Akibatnya, pertumbuhan miselium tidak optimal.

Faktor yang mempengaruhi penurunan kandungan air selama penyimpanan adalah proses transpirasi yang merupakan perpindahan molekul air ke atmosfer sekitar khususnya dari permukaan tempe. Proses ini dipengaruhi oleh gradien suhu, dimana semakin besar gradien maka proses transmisi makin cepat.

Gambar 1 dan Tabel 1 merupakan hasil perhitungan regresi linier penurunan kadar air pada suhu dan lama penyimpanan yang berbeda. Sementara hubungan laju penurunan kadar air tempe kemas plastik PP disajikan pada Tabel 2. Logaritmik dari konstanta kecepatan reaksi adalah sebanding dengan sepersuhu mutlaknya yang berarti kecepatan reaksi (k) sangat terpengaruh oleh faktor suhu.



Gambar 1. Penurunan kadar air tempe kemas edible film selama penyimpanan pada suhu 17°, 27°, dan 37°C.

Tabel 1. Hubungan laju penurunan kadar air (k) dengan suhu pada tempe kemas edible film.

Suhu (°K)	1/T	k	ln k	R ²
290	0,00345	0,1839	-1,6934	0,9845
300	0,00333	0,3816	-0,9634	0,9720
310	0,00323	0,5807	-0,5435	0,9477

Tabel 2. Hubungan laju penurunan kadar air (k) dengan suhu pada tempe kemas plastik PP.

Suhu (°K)	1/T	k	ln k	R ²
290	0,00345	0,0611	-2,7952	0,9760
300	0,00333	0,1356	-1,998	0,9861
310	0,00323	0,2379	-1,4359	0,9931

Laju kerusakan tempe sebesar 0,1839 per hari paling rendah jika disimpan pada suhu rendah 17°C, dan tempe paling cepat rusak dengan nilai k 0,5807 per hari jika disimpan pada suhu 37°C, menunjukkan bahwa kondisi penyimpanan suhu 17°C dapat memperpanjang masa simpan tempe. Laju kerusakan pada suhu 37°C sebesar 0,5807 hari-1 terjadi oleh adanya perbedaan suhu dalam tempe dan di atmosfer sehingga laju transpirasi tinggi. Kondisi ini mengakibatkan permukaan tempe mengeriput dan menghasilkan tekstur permukaan mengeras. Hal ini dapat menghalangi masuknya oksigen ke dalam tempe sehingga mengakibatkan suhu dalam tempe meningkat yang memicu pembusukan karena meningkatnya aktivitas enzimatik. Disamping itu, menurunnya kadar air mendorong pembentukan spora yang menghasilkan energi panas dalam tempe, sehingga mengakibatkan transpirasi meningkat.

Kerusakan tempe terutama disebabkan oleh aktivitas enzimatik dari mikroba dalam tempe yang ditandai adanya perubahan warna miselium menjadi coklat dan pembentukan bau ammonia. Pertumbuhan miselium pada saat fermentasi menyebabkan biji kedelai melunak karena hifa miselium menekan biji kedelai, menyelimuti dan menembus dinding sel kedelai dan bersamaan dengan proses tersebut mengekskresikan enzim α -amilase, protease, dan lipase (Jurus & Sundberg, 1976). Hifa menembus permukaan kotiledon rata rata satu setiap 1400 μm^2 (= 390 μm^2) dan satu per 1010 μm^2 (=340 μm^2) pada bagian dalam kotiledon. Hifa terinfiltrasi pada kedalaman 742 μm atau sekitar 25% rata rata lebar kotiledon. Aktivitas α -amilase merombak karbohidrat dimulai sejak 12 jam pertama fermentasi dan diproduksi dalam jumlah besar terutama oleh *R. oligosporus* pada 24 – 48 jam fermentasi, stabil pada suhu 50-60°C, pH 5-7,0. Enzim lipase tempe termasuk kelompok lipase spesifik yang memisahkan asam lemak dari trigliserida pada posisi 1 dan 3.

Aktivitas lipase dimulai pada 12-36 jam fermentasi dan diketahui bahwa aktivitas lipolitik *R. oligosporus* lebih tinggi di dari pada aktivitas lipolitik *R. oryzae* sehingga mempengaruhi kandungan lemak tempe yang difermentasi oleh *R. oligosporus*. Enzim protease menghidrolisis kasein menghasilkan peptide dan asam amino yang larut, aktivitas maksimum pada pH 3,0 dan 5,5 pada suhu 50-55°C pada waktu fermentasi 72-96 jam. Aktivitas proteolitik dimulai sejak 12 – 72 jam fermentasi dan meningkat selama fermentasi berlanjut dan ketersediaan protein. Aktivitas enzim protease berkaitan dengan hidrolisis protein menjadi asam amino bebas. Oleh karena itu, jika protein habis maka terjadi pembentukan amoniak yang menghasilkan aroma yang mengindikasikan kebusukan atau kerusakan tempe.

Diketahui bahwa *R. oligosporus* mempunyai aktivitas proteolitik yang lebih tinggi dibanding *R. oryzae* dan laru tempe, sehingga tempe yang difermentasi oleh *R. oligosporus* mudah mengalami kerusakan (Handoyo & Morita, 2006). Hifa miselium *R. oligosporus* adalah muda pada pertumbuhan 24 jam pertama dan berwarna putih keabu-abuan, dan berubah warna menjadi kecoklatan pada umur tua pada pertumbuhan berikutnya (Handoyo & Morita, 2006). Dinding hifa tersusun dari lapisan rangkap glikoprotein, glukukan, kitin, dan melanin yang menyebabkan warna kecoklatan (Kustyawati et al., 2018).

Warna coklat dan bau ammonia pada tempe yang rusak disebabkan oleh kandungan protein kedelai yang tergolong dalam protein globular. Protein ini mudah terhidrolisa secara enzimatik dan bertanggung jawab pada timbulnya warna coklat pada biji kedelai. Ketika terjadi reaksi enzimatik maka protein globular terhidrolisa menghasilkan asam amino yang larut dalam air, asam amino hidrofobik, glisin, dan lainnya.

Warna coklat kedelai dihasilkan dari reaksi Maillard. Pada biji kedelai, indikator utama terjadinya reaksi Maillard adalah produksi senyawa furosine, 5-hydroxymethyl-2-furaldehyde (HMF), dan acrylamide (Žilić et al., 2014). Furosine adalah derivat N-fructosyllisine sebagai indikator rusaknya asam amino lisin kedelai oleh reaksi Maillard karena pemanasan. Acrylamid merupakan senyawa yang berpotensi terhadap timbulnya kanker pada manusia. Reaksi Maillard juga bisa terjadi pada bahan makanan yang masih mentah, misalnya tepung kedelai mentah karena mengandung furosine 29 mg/100g protein, dan HMF 3,20 mg/kg. Kedelai pada tempe berwarna kuning kecoklatan karena senyawa furosine, acrylamid, dan HMF yang dihasilkan dari reaksi Maillard selama perebusan kedelai pada suhu mendidih (+100°C), karena penemuan

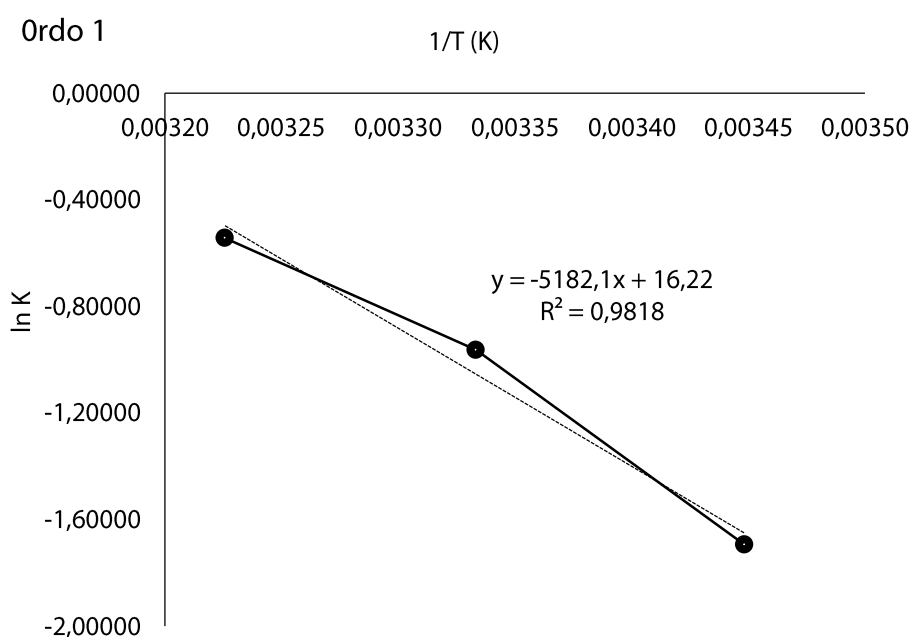
(Žilić et al., 2014) pemanasan kedelai pada suhu 38°C telah dapat menghasilkan 27,48 µg/g furosin, acrylamid 22,36 ng/g, dan HMF 1,30 ug/g.

Pertumbuhan miselium kapang berkaitan erat dengan konsumsi oksigen pada proses respirasi. (Purwanto & Rudi, 2018) menemukan bahwa kondisi suhu ruang mendorong laju respirasi yang paling tinggi dibandingkan pada suhu rendah 15°C. Laju respirasi adalah laju konsumsi oksigen dan laju pengeluaran CO₂. Laju konsumsi O₂ yang rendah menyebabkan laju pengeluaran CO₂ juga rendah. Menurut Moreno et al. (2002) penyimpanan pangan pada suhu dingin mempunyai dampak pada menurunnya laju pengeluaran CO₂ karena terhambatnya reaksi kimia, reaksi enzimatik dan pertumbuhan mikroba. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian ini yang menerangkan bahwa warna pada tempe yang disimpan pada suhu 17°C masih berwarna putih.

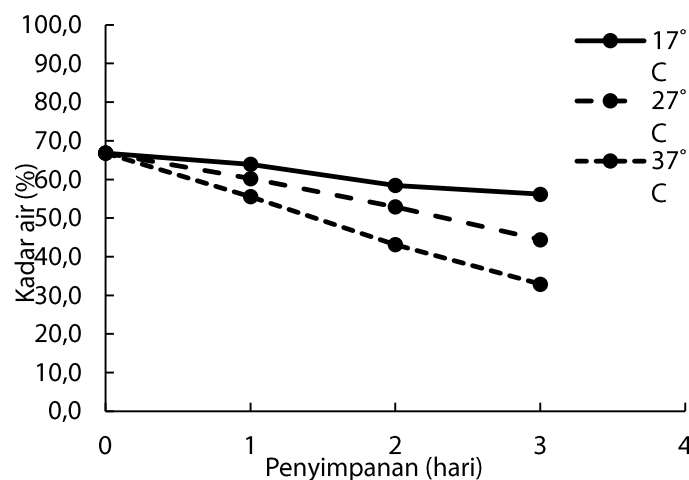
Analisis masa simpan

Gambar 2 dan 4 serta Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil pengujian dan penentuan laju kecepatan penurunan kadar air mengikuti ordo satu dengan konstanta laju penurunan kadar air (K) adalah 0,3832 % hari⁻¹ dan nilai energi aktivasi (Ea) kerusakan tempe berdasar kadar air sebesar 10,296 kkal/gmol (5182 x 1,987 kal/mol K-1 = 10,296 kkal/gmol), sementara besaran K tempe kontrol 0,3831 % hari⁻¹ dan Ea 9,998 kkal/gmol. Besaran Ea termasuk ke dalam kelompok dengan Ea rendah (Herawati, 2008) yang menunjukkan bahwa kadar air tidak stabil selama penyimpanan.

Metode yang digunakan untuk menentukan konstanta laju penurunan kadar air adalah *Accelerated self-life test* (ASLT). Metode ini dilakukan dengan mempercepat proses atau reaksi penurunan mutu (persentase penurunan kadar air) dalam suatu percobaan dengan menaikkan suhu penyimpanan beberapa tingkat yaitu 17°, 27°, dan 37°C dengan lama penyimpanan 5 hari. Dengan diketahuinya harga konstanta laju penurunan kadar air (K) dan Ea maka dapat menentukan waktu yang dibutuhkan untuk masa simpan tempe berdasarkan parameter kadar airnya. Energi aktivasi adalah energi rintangan yang harus dilalui oleh potensial energi dalam suatu bahan agar suatu reaksi bisa berlangsung (Sielberberg, 2012). Tempe kemas plastik PP lebih mudah mengalami kerusakan (Gambar 3 dan 4), dan tempe kemas edible film mempunyai masa simpan lebih panjang (Tabel 3).

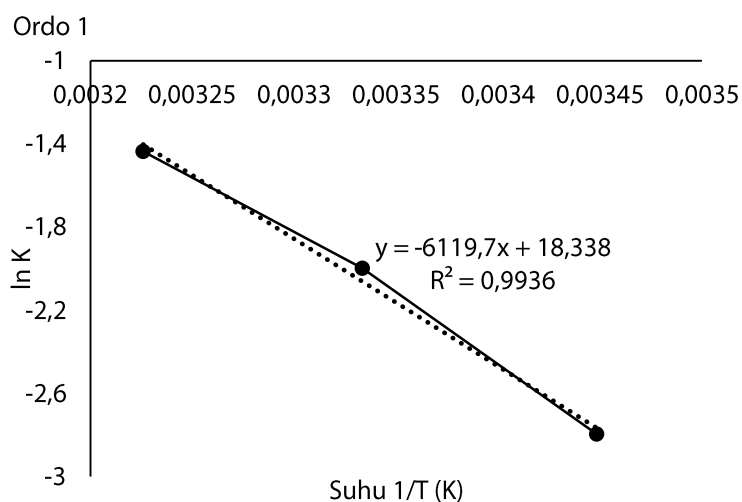


Gambar 2. Kurva regresi linier hubungan konstanta laju penurunan kadar air (ln k) dengan suhu (1/T) tempe kemas edible film tapioka termodifikasi



Gambar 3. Penurunan kadar air tempe kemasan plastik PP selama penyimpanan pada suhu 17°, 27°, dan 37°C.

Tempe kontrol lebih mudah mengalami kerusakan (Gambar 3 dan 4), dan tempe kemasan edible film mempunyai masa simpan lebih panjang (Tabel 2).



Gambar 4. Kurva regresi linier hubungan konstanta laju penurunan kadar air (ln k) dengan suhu (1/T) tempe kemasan plastik PP

Faktor utama yang menentukan bahwa kemasan akan menghasilkan mutu tempe yang baik adalah aerasi dan kelembaban. Mutu tempe dalam hal ini berkaitan dengan pertumbuhan miselium kapang. Bahan pengemas harus dapat menjamin aerasi yang merata secara terus menerus dan sekaligus dapat menjaga agar kelembaban tetap tinggi tanpa menimbulkan pengembunan, untuk menghasilkan tempe berkualitas.

Tabel 3. Konstanta laju penurunan kadar air dan masa simpan tempe pada suhu yang berbeda

Suhu °K	K (% hari ⁻¹)		E _a (kkal/gmol)		Masa simpan (hari)	
	TK	TP	TK	TP	TK	TP
290	3,88	0,19			8,64	9,39
300	6,92	0,35	9,998	10,296	4,85	5,18
310	11,9	0,61			2,82	2,96

Keterangan: K= konstanta laju, E_a = energi aktivasi, TP= tempe kemasan PP, TF= tempe kemasan edible film.

Edible film tapioka termodifikasi sebagai bahan pengemas tempe disamping mempunyai kelebihan utama dari segi keamanan pangan, mempunyai persen *elongation*=11,40% memenuhi standar *American Standard Testing and Material* (ASTM) 5330 dimana persen pemanjangan *plastic biodegradable film* 10-

20%, kuat tarik (*tensile strength*)= 408,37 Mpa, *thickness*=0,88 mm dan WVTR = 12,60 g/m²/h. WVTR adalah jumlah uap air yang melalui permukaan film per luas area.

Film yang terbuat dari polisakarida mempunyai nilai transmisi uap air yang tinggi. Proses modifikasi tapioka, dalam hal ini melalui fermentasi dengan tujuan menghidrolisa ikatan glikosida rantai glukosida penyusun amilosa pati, meningkatkan komponen hidrofilik dan menghasilkan edible film dengan sifat mekanik yang tinggi. Serupa dengan temuan tersebut, tapioka modifikasi secara enzimatis menggunakan α -amilase *Bacillus* (10% DE) yang selanjutnya digunakan sebagai matrik bahan edible film dengan menambahkan 2% gliserol (Pérez, 2017) juga mempunyai sifat mekanik yang tinggi.

Pérez (2017) membandingkan penggunaan tapioka termodifikasi baik secara *cross link*, *acetylated starch*, dan modifikasi secara enzimatis sebagai matrik dan menghasilkan edible film dengan sifat yang berbeda dipengaruhi oleh proses modifikasinya. Nilai kuat tarik pembungkus tempe berkaitan dengan kemampuan edible film dalam melindungi tempe terhadap kontak fisik yang terjadi selama distribusi atau penyimpanan. Kontak fisik yang tinggi mempengaruhi nilai mutu tempe terutama warna. Persen pemanjangan adalah besarnya perubahan panjang maksimum film pada saat terjadi peregangan. Sifat edible film ini penting dalam pengemas tempe karena proses metabolisme dalam tempe menghasilkan panas, sehingga memerlukan sifat elongasi yang tinggi.

Ketebalan edible film berpengaruh terhadap laju perpindahan uap air, gas, dan senyawa volatil lain dari dan ke dalam tempe. Semakin tebal film maka kemampuannya untuk menghambat laju perpindahan gas semakin besar. Edible film dengan ketebalan yang rendah diperlukan agar dapat menjaga agar miselium tetap hidup dan dapat tumbuh maka diperlukan aerasi yang merata dan terus menerus.

Disamping ketebalan, edible film perlu mempunyai transmisi uap air (WVTR) yang baik untuk menciptakan kondisi aerofilik untuk pertumbuhan miselium. Semakin tebal film menurunkan nilai WVTR. Transmisi uap air dalam edible film ini berfungsi menyerupai pori-pori daun untuk kebutuhan oksigen bagi miselium tempe. Namun nilai transmisi gas pada edible film tapioka termodifikasi yang digunakan untuk mengemas tempe dalam penelitian ini sebesar 12,60 g/m²/h mungkin tidak menciptakan kondisi mikroaerofilik. Hal ini diindikasikan dengan terbentuknya warna hitam spora pada permukaan film. Pembentukan spora menunjukkan bahwa masuknya oksigen yang berlebih ke dalam kemasan. Walaupun nilai laju transmisi uap air (WVTR) edible film tapioka termodifikasi tidak memenuhi standar *Japanese Industrial Standard*, edible film tapioka termodifikasi dapat memperpanjang masa simpan tempe. Standar nilai transmisi uap air untuk plastik film kemasan makanan adalah 10 g/m²/hari (Setyaningrum et al., 2017).

Tabel 3 menunjukkan bahwa penyimpanan pada semua suhu percobaan (17°, 27°, dan 37°C) tempe kemas edible film mempunyai masa simpan lebih panjang dari pada tempe kontrol yang dikemas plastik PP. Plastik PP memiliki persen elongasi 9,25%, kuat tarik 24,7 MPa, ketebalan 0,02 mm, dan WVTR sesuai *standard Japanese Industrial Standard* untuk plastik film kemasan makanan. Tempe dalam kemasan plastik PP tanpa vakum mempunyai masa simpan 2 hari pada suhu ruang menggunakan parameter mutu laju respirasi (Purwanto & Rudi, 2018), dalam kemasan MAP tempe hanya bertahan 24 jam pada suhu ruang (Muslikhah et al., 2013). Tapioka termodifikasi secara enzimatis dengan konsentrasi 2, 3, 4% untuk coating buah buahan dapat meminimalkan kehilangan berat, laju respirasi menurun, menghambat kerusakan tekstur dan mempertahankan warna pada suhu 24°C dan Rh 77,5% (Pérez, 2017). Hal ini menunjukkan bahwa disamping perbedaan bahan pengemas, sifat transmisi gas yang dimiliki oleh bahan pengemas juga berperan penting untuk mempertahankan kualitas tempe selama penyimpanan.

Kesimpulan

Tempe kemas edible film tapioka termodifikasi (TF) mempunyai masa simpan lebih lama satu hari dibandingkan dengan tempe kemas plastik PP (TP) jika disimpan pada suhu 17° dan 27°C. Konstanta penurunan kadar air tempe TP dan TF mudah terpengaruh oleh suhu.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih kepada PLP Lab Mikrobiologi Hasil Pertanian, Laboratorium Kimia dan Biokimia, dan Laboratorium Pengolahan Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universtas Lampung yang membantu dalam pelaksanaan penelitian.

Daftar pustaka

- Franco, M. J., Martin, A. A., Bonfim, L. F., Caetano, J., Linde, G. A., & Dragunski, D. C. (2017). Effect of plasticizer and modified starch on biodegradable films for strawberry protection. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(4), 1–9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13063>
- Handoyo, T., & Morita, N. (2006). Structural and functional properties of fermented soybean (tempeh) by using rhizopus oligosporus. *International Journal of Food Properties*, 9(2), 347–355. <https://doi.org/10.1080/10942910500224746>
- Herawati, H. (2008). Penentuan umur simpan pada produk pangan. *Jurnal Litbang Pertanian*, 27(4), 124–130.
- Jacoeb, A. M., Nugraha, R., & Utari, D. S. P. S. (2014). Pembuatan edible film dari pati buah lindur dengan penambahan gliserol dan karaginan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 17(1), 14–21. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v17i1.8132>
- Jurus, A. M., & Sundberg, W. J. (1976). Penetration of rhizopus oligosporus into soybeans in tempeh. *Applied and Environmental Microbiology*, 32(2), 284–287. <https://doi.org/10.1128/aem.32.2.284-287.1976>
- Kusnandar, F., & Adawiyah, D. R. (2010). Pendugaan umur simpan biskuit dengan metode akselerasi berdasarkan pendekatan kadar air kritis [Accelerated shelf-life testing of biscuits using a critical moisture content approach]. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, XXI(2), 1–6.
- Kustyawati, M. E., Pratama, F., Saputra, D., & Wijaya, A. (2018). Viability of molds and bacteria in tempeh processed with supercritical carbon dioxides during storage. *International Journal of Food Science*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/8591015>
- Kustyawati, M. E., Sari, M., & Haryati, T. (2013). Effect of fermentation using saccharomyces cerevisiae on the biochemical properties tapioca. *Agritech*, 33(3), 281–287.
- Kustyawati, M., F. Pratama, D. Saputra, & A. Wijaya. (2020). Shelf life of tempeh processed with sub supercritical CO₂. *Slovak Journal of Food Science*, 14(2020), 351–357. <https://doi.org/10.5219/1247>
- Moreno, M. R. F., Leisner, J. J., Tee, L. K., Ley, C., Radu, S., Rusul, G., Vancanneyt, M., & De Vuyst, L. (2002). Microbial analysis of Malaysian tempeh, and characterization of two bacteriocins produced by isolates of *Enterococcus faecium*. *Journal of Applied Microbiology*, 92(1), 147–157. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2002.01509.x>
- Musaddad, D. (2011). Penetapan parameter mutu kritis untuk menentukan umur simpan kubis bunga Fresh-cut. *Jurnal Agribisnis dan Pengembangan Wilayah*, 3(1), 46–55.
- Muslikhah, S., Anam, C., & Andriani, M. M. (2013). Penyimpanan tempe dengan metode modifikasi atmosfer (modified atmosphere) untuk mempertahankan kualitas dan daya simpan tempe storage by a method of modification atmosphere (modified atmosphere) to maintaining quality and shelf life. *Jurnal Teknosains Pangan*, 2(3), 51–60.
- Pérez, S. E. E. (2017). Native and modified starches as matrix for edible films and covers. *Nutrition & Food Science International Journal*, 3(3), 1–15. <https://doi.org/10.19080/nfsij.2017.03.555615>
- Phimolsiripol, Y., Agro-industry, F., Mai, C., & Innovation, F. (2016). *Techniques in Shelf Life Evaluation of Food Products*. Author 's personal copy. January, 1–8.
- Purwanto, A., & Rudi, W. (2018). Kualitas tempe kedelai pada berbagai suhu penyimpanan. *Warta Industri Hasil Pertanian*, 35(2), 106–112. <https://doi.org/10.32765/wartaihp.v35i2.4297>

- Raghav, K. N. A. & M. S. (2016). *Edible coating of fruits and vegetables: a review*. Edible Coating of Fruits and Vegetables: A Review, 1(1), 188–204. https://www.researchgate.net/publication/331298687_EDIBLE_COATING_OF_FRUITS_AND_VEGETABLES_A_REVIEW
- Salehi, F. (2020). Edible coating of fruits and vegetables using natural gums: a review. *International Journal of Fruit Science*, 20(S2), S570–S589. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1746730>
- Sapper, M. & A. Chiralt. (2018). Starch-Based Coatings for Preservation of Fruits and Vegetables. *Coatings*, 8, 152. <https://doi.org/10.3390/coatings8050152>
- Setyaningrum, A., Sumarni, N. K., & Hardi, J. (2017). Sifat fisiko-kimia edible film agar – agar rumput laut (*Gracilaria* sp.) tersubstitusi glyserol. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 6(2), 136–143. <https://doi.org/10.22487/25411969.2017.v6.i2.8661>
- SNI 3451- 2011. *Tapioka*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Soekarto. S. T., 1985. *Penilaian Organoleptik*. Pusat Pengembangan Teknologi Pangan. IPB, Bogor.
- Suput, D., Lazic, V., Popovic, S., & Hromis, N. (2015). Edible films and coatings: sources, properties and application. *Food and Feed Research*, 42(1), 11–22. <https://doi.org/10.5937/ffr1501011s>
- Vukić, M., Grujić, S., & Odzaković, B. (2017). Application of edible films and coatings in food production. *Advances in Applications of Industrial Biomaterials*, 121–138. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62767-0_7
- Winarti, C., Miskiyah, & Widaningrum. (2012). Teknologi produksi dan aplikasi pengemas. *J. Litbang Pert.*, 31(3), 85–93.
- Žilić, S., Mogol, B. A., Akillioğlu, G., Serpen, A., Deliç, N., & Gökmen, V. (2014). Effects of extrusion, infrared and microwave processing on maillard reaction products and phenolic compounds in soybean. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(1), 45–51. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6210>