

Shelf-Life Prediction of Fermented Cassava Dodol Using the Accelerated Shelf-Life Testing Approach

Prediksi Daya Simpan Dodol Tape Singkong Melalui Pendekatan Accelerated Shelf-Life Testing

Raini Panjaitan¹, Erlies Patricia Ramandey^{1*}, Jhon Marthali Simamora², Baiq A. Tartillah¹, Jeirel Wattilete¹, Nurlita Dianingsih¹, Nadwi Lestari¹

¹Program Studi Teknologi Pangan, Universitas Cenderawasih, Jayapura, Indonesia. Email: r.panjaitan@fmipa.uncen.ac.id

¹Program Studi Teknologi Pangan, Universitas Cenderawasih, Jayapura, Indonesia. Email: e.p.ramandey@fmipa.uncen.ac.id

*Corresponding Author

²Program Studi Biokewirausahaan, Institut Swadiri Papua, Jayapura, Indonesia. Email: jhonmars77@gmail.com

¹Program Studi Teknologi Pangan, Universitas Cenderawasih, Jayapura, Indonesia. Email: b.a.tartittal@fmipa.uncen.ac.id

¹Program Studi Teknologi Pangan, Universitas Cenderawasih, Jayapura, Indonesia. Email: j.wattilete@fmipa.uncen.ac.id

¹Program Studi Teknologi Pangan, Universitas Cenderawasih, Jayapura, Indonesia. Email: nurlita@fmipa.uncen.ac.id

¹Program Studi Teknologi Pangan, Universitas Cenderawasih, Jayapura, Indonesia. Email: nadwilestari@gmail.com

Abstract. Fermented cassava dodol is a semi-moist food product that is susceptible to quality changes during storage due to increased moisture content and various deterioration reactions. This study aimed to estimate the shelf life of fermented cassava dodol using the Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT) method with a critical moisture content approach and moisture sorption isotherm curve. The research stages included the determination of initial moisture content, critical moisture content, and equilibrium moisture content, as well as sorption isotherm modeling using the Chen-Clayton, Henderson, Halsey, Caurie, and Oswin models. Critical moisture content was determined based on the acceptance level of semi-trained panelists regarding product appearance during storage at a relative humidity (RH) of 76%. The results showed that the initial moisture content and critical moisture content of the product were 0.2205 and 0.2427 g H₂O/g solids, respectively. The obtained moisture sorption isotherm curve exhibited a Type II sigmoid pattern. Based on the evaluation of the Mean Relative Deviation (MRD) value, the Henderson model provided the best fit, with an MRD value of 3.7. Shelf-life calculation using the Labuza equation resulted in an estimated shelf life of 64.07 days, or approximately two months, under room temperature conditions. The information obtained from this study can be used as a basis for shelf-life determination, packaging selection, and management of storage and distribution systems to maintain product quality during the marketing period.

Keywords: ASLT, fermented cassava dodol, critical moisture content, moisture sorption isotherm, shelf life.

Abstrak. Dodol tape singkong merupakan pangan semibasah yang rentan mengalami perubahan mutu selama penyimpanan akibat peningkatan kadar air dan berbagai reaksi kerusakan lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan umur simpan dodol tape singkong menggunakan metode Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT) dengan pendekatan kadar air kritis dan kurva sorpsi isotermis. Tahapan penelitian meliputi pengukuran kadar air awal, kadar air kritis, dan kadar air kesetimbangan, serta pemodelan sorpsi isotermis menggunakan model Chen-Clayton, Henderson, Halsey, Caurie, dan Oswin. Penetapan kadar air kritis didasarkan pada tingkat penerimaan panelis agak terlatih terhadap penampakan produk selama penyimpanan pada kelembapan relatif (RH) 76%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air awal dan kadar air kritis produk masing-masing sebesar 0,2205 dan 0,2427 g H₂O/g padatan. Kurva sorpsi isotermis yang diperoleh menunjukkan karakteristik sigmoid tipe II. Berdasarkan evaluasi nilai Mean Relative Deviation (MRD), model Henderson memberikan tingkat kecocokan terbaik dengan nilai MRD sebesar 3,7. Perhitungan menggunakan persamaan Labuza menghasilkan estimasi umur simpan dodol tape singkong selama 64,07 hari atau sekitar dua bulan pada kondisi suhu ruang. Informasi dari penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar dalam penetapan umur simpan, pemilihan kemasan, serta pengelolaan sistem penyimpanan dan distribusi untuk menjaga mutu produk selama periode pemasaran.

Kata kunci: ASLT, dodol tape singkong, kadar air kritis, sorpsi isotermis, umur simpan.

Cite this article (APA Style):

Panjaitan, R., Ramandey, E. P., Simamora, J. M., Tartillah, B. A., Wattilete, J., Dianingsih, N., & Lestari, N. (2026). Shelf-Life Prediction of Fermented Cassava Dodol Using the Accelerated Shelf-Life Testing Approach. *Journal of Food Security and Agroindustry*, 4(2), 173–183. <https://doi.org/10.58184/jfsa.v4i2.1002>

Submitted: 27 May 2026; Accepted: 10 Jun 2026; Published: 30 Jun 2026

This is an open access article under CC-BY-SA 4.0 license.



Copyright © 2026 The Author(s)

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi besar dalam produksi singkong (*Manihot esculenta*) sebagai salah satu komoditas pangan lokal dengan tingkat ketersediaan yang tinggi. Komoditas ini berpotensi dikembangkan menjadi berbagai produk olahan bernilai tambah. Salah satu bentuk pemanfaatannya adalah melalui proses fermentasi menjadi tape singkong yang memiliki cita rasa khas, aroma unik, serta senyawa hasil fermentasi yang dapat meningkatkan daya tarik produk. Pengolahan lanjutan tape singkong menjadi dodol merupakan inovasi yang tidak hanya memperluas diversifikasi produk pangan tradisional, tetapi juga meningkatkan nilai ekonominya (Seftiana *et al.*, 2023).

Dodol termasuk dalam kategori pangan semibasah dengan karakteristik kadar air sekitar 10–15%, aktivitas air (a_w) 0,674–0,721, tekstur kenyal, dan kandungan gula yang cukup tinggi (Setiavani *et al.*, 2018). Meskipun kadar gula dapat berperan sebagai pengawet alami, produk ini tetap memiliki keterbatasan stabilitas selama penyimpanan. Perubahan mutu dapat terjadi akibat reaksi kimia, seperti pencoklatan nonenzimatis, peningkatan kadar air, serta aktivitas mikroorganisme yang dapat menurunkan kualitas produk (Kathuria *et al.*, 2023). Oleh karena itu, penetapan umur simpan menjadi faktor penting untuk memastikan keamanan pangan, mempertahankan mutu produk, serta meningkatkan penerimaan konsumen terhadap dodol tape singkong.

Keamanan pangan merupakan salah satu syarat utama dalam penentuan mutu produk sebelum produk didistribusikan kepada konsumen. Produk pangan yang tidak aman dapat menimbulkan risiko kesehatan akibat kontaminasi mikroba, perubahan kimia, maupun kerusakan fisik selama penyimpanan. Pada produk dodol tape singkong, aspek keamanan sangat berkaitan dengan kadar air, aktivitas air, serta kondisi lingkungan penyimpanan yang dapat memengaruhi pertumbuhan mikroorganisme (Djekić *et al.*, 2023). Dengan demikian, pengendalian mutu tidak hanya difokuskan pada karakteristik sensori, tetapi juga pada parameter keamanan pangan yang terukur.

Teknik penyimpanan menjadi faktor penting yang memengaruhi kestabilan mutu dan keamanan produk dodol. Kondisi penyimpanan, seperti suhu, kelembapan relatif, dan jenis kemasan, dapat mempercepat atau memperlambat laju kerusakan produk. Penggunaan kemasan yang tepat, seperti kemasan kedap udara atau bahan kemasan dengan permeabilitas uap air yang rendah, dapat membantu mempertahankan kualitas dodol selama penyimpanan dan distribusi. Pengaturan suhu penyimpanan yang sesuai juga berperan dalam menghambat reaksi kimia dan aktivitas mikroorganisme yang dapat menyebabkan penurunan mutu produk (Lyn *et al.*, 2020; Waluyo *et al.*, 2023).

Penentuan umur simpan menggunakan pendekatan konvensional melalui penyimpanan pada kondisi normal sering kali membutuhkan waktu lama dan kurang efisien, terutama untuk produk dengan siklus produksi yang cepat. Keterbatasan tersebut mendorong penerapan metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT), yaitu metode pendugaan umur simpan produk pangan melalui percepatan kondisi penyimpanan tertentu sehingga perubahan mutu dapat diamati dalam waktu yang lebih singkat (Arif, 2016). Pada produk pangan semibasah, pendekatan kadar air kritis dan kurva sorpsi isotermis dapat digunakan untuk memperkirakan umur simpan berdasarkan perubahan kadar air produk selama penyimpanan.

Pendekatan kadar air kritis berperan penting dalam menentukan batas kadar air saat produk mulai mengalami penurunan mutu yang tidak dapat diterima oleh konsumen.

Sementara itu, kurva sorpsi isotermis digunakan untuk menggambarkan hubungan antara kadar air kesetimbangan dan kelembapan relatif lingkungan penyimpanan. Data tersebut dapat digunakan dalam perhitungan umur simpan, terutama pada produk yang kerusakannya dipengaruhi oleh penyerapan uap air dari lingkungan. Dengan demikian, kombinasi metode ASLT, kadar air kritis, dan kurva sorpsi isotermis dapat memberikan gambaran yang lebih terukur mengenai stabilitas dodol tape singkong selama penyimpanan.

Meskipun metode ASLT telah banyak diterapkan pada berbagai produk pangan, kajian mengenai pendugaan umur simpan dodol berbahan dasar tape singkong masih relatif terbatas. Kombinasi sifat bahan baku hasil fermentasi dan karakteristik dodol sebagai pangan semibasah memberikan tantangan tersendiri dalam menjaga stabilitas mutu selama penyimpanan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menduga umur simpan dodol tape singkong menggunakan metode ASLT melalui pendekatan kadar air kritis dan kurva sorpsi isotermis. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah yang mendukung pengembangan produk, penetapan umur simpan, serta strategi penyimpanan dan distribusi yang tepat.

2. METODE PENELITIAN

Seluruh proses penelitian dan pengujian dilakukan di Laboratorium Pengolahan Pangan, Program Studi Teknologi Pangan, Universitas Cenderawasih. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tape singkong, gula pasir, santan kelapa, tepung ketan, garam, akuades, dan kemasan produk berbahan polipropilena (PP). Alat yang digunakan meliputi desikator, timbangan analitik, cawan, oven, penjepit, termometer, *humidity chamber* modifikasi, *hot plate*, dan alat gelas. Seluruh analisis kadar air awal, kadar air kesetimbangan, dan pengujian lainnya dilakukan sebanyak tiga kali ulangan.

2.1 Penentuan Kadar Air Awal (Mi)

Pengukuran kadar air awal dodol tape singkong dilakukan menggunakan metode oven mengacu pada [AOAC \(2005\)](#). Sampel sebanyak ± 5 g ditimbang dan dianalisis sebanyak tiga kali ulangan. Sampel dikeringkan pada suhu 105 °C hingga mencapai bobot konstan. Hasil pengukuran dinyatakan dalam basis kering (% bk). Penentuan kadar air awal dilakukan sebelum produk memasuki tahap penyimpanan.

2.2 Penentuan Kadar Air Kritis (Mc)

Pengujian kadar air kritis dilakukan dengan menyimpan sampel pada kondisi kelembapan relatif (RH) 76% yang dihasilkan dari larutan NaCl jenuh. Larutan tersebut berfungsi untuk menjaga kestabilan kelembapan selama proses penyimpanan. Selama periode penyimpanan, pengujian penerimaan panelis terhadap penampakan produk dilakukan secara berkala setiap 24 jam menggunakan skala hedonik lima titik, yaitu 5 = sangat suka, 4 = suka, 3 = netral, 2 = tidak suka, dan 1 = sangat tidak suka.

Data hasil uji organoleptik diolah dengan menghitung nilai rata-rata skor penerimaan setiap hari. Pengamatan dilanjutkan hingga nilai rata-rata skor mencapai angka 2, yang menunjukkan kategori tidak suka dan dianggap telah melewati batas penerimaan konsumen atau *critical acceptance limit*. Selanjutnya, kadar air kritis dodol tape singkong pada kondisi tersebut ditentukan menggunakan metode oven mengacu pada [AOAC \(2005\)](#).

2.3 Penentuan Kurva Sorpsi Isotermis

Kurva sorpsi isotermis ditentukan menggunakan tujuh jenis larutan garam jenuh yang menghasilkan tingkat kelembapan relatif (RH) berbeda. Setiap larutan garam jenuh disiapkan dan ditempatkan dalam *humidity chamber* modifikasi. Jenis garam yang digunakan beserta nilai RH yang dihasilkan disajikan pada [Tabel 1](#).

Tabel 1. Jenis Garam Beserta RH (%) yang Digunakan dalam Penentuan Kurva Sorpsi Isotermis Dodol Tape Singkong

No	Jenis Garam	RH (%)
1.	NaOH	6-7
2.	MgCl ₂	32-33
3.	K ₂ CO ₃	43-43,5
4.	NaNO ₂	65-65,5
5.	NaCl	75-75,5
6.	KCl	84-84,5
7.	BaCl ₂	90-90,5

Sumber: [Budijanto et al. \(2010\)](#) dan [Syamsuri et al. \(2024\)](#)

Larutan garam dibuat dalam kondisi jenuh dengan penambahan air dan diaduk untuk menjaga kestabilan kelembapan relatif. Selanjutnya, *humidity chamber* ditutup rapat dan diinkubasi pada suhu 30 °C selama 24 jam. Sampel dodol tape singkong sebanyak 5 g digantung di dalam *chamber*. Bobot sampel diamati setiap 24 jam hingga mencapai bobot konstan yang menunjukkan bahwa kondisi kadar air kesetimbangan telah tercapai. Setelah itu, kadar air sampel dianalisis menggunakan metode oven dan dinyatakan dalam basis kering.

2.4 Penentuan Model Sorpsi Isotermis

Pemodelan sorpsi isotermis dilakukan menggunakan data kadar air kesetimbangan (Me) dan aktivitas air (*aw*) yang diperoleh dari hasil pengujian. Model matematis yang digunakan meliputi model Chen-Clayton, Henderson, Halsey, Caurie, dan Oswin. Model yang paling representatif dipilih berdasarkan nilai *Mean Relative Deviation* (MRD), yang menunjukkan tingkat penyimpangan hasil prediksi terhadap data aktual. Model dengan nilai MRD paling rendah dinyatakan sebagai model dengan tingkat kecocokan terbaik.

2.5 Pendugaan Umur Simpan

Pendugaan umur simpan dodol tape singkong dilakukan menggunakan persamaan Labuza. Persamaan tersebut digunakan untuk memperkirakan umur simpan produk berdasarkan karakteristik sorpsi air dan sifat permeabilitas kemasan yang digunakan. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\theta = \frac{\ln \frac{(Me - Mo)}{(Me - Mc)}}{\frac{k}{x} \left(\frac{A}{Ws} \right) \frac{Po}{b}}$$

Keterangan:

- θ : waktu perkiraan umur simpan (hari)
 M_e : kadar air kesetimbangan produk (g H₂O/g padatan)
 M_i : kadar air awal produk (g H₂O/g padatan)
 M_c : kadar air kritis produk (g H₂O/g padatan)
 b : kemiringan (*slope*) kurva sorpsi isothermis
 k/x : permeabilitas uap air kemasan (g/m².hari.mmHg)
 A : luas permukaan kemasan (m²)
 W_s : bobot kering produk dalam kemasan (g padatan)
 P_0 : tekanan uap jenuh (mmHg)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan umur simpan dodol tape singkong. Pendekatan ini didasarkan pada percepatan perubahan kadar air produk akibat interaksi dengan lingkungan penyimpanan yang memiliki kelembapan relatif tertentu. Melalui pendekatan tersebut, proses penurunan mutu dapat diamati dalam waktu yang lebih singkat sehingga umur simpan produk dapat diperkirakan secara lebih efisien.

Pada pendekatan ini, kadar air kesetimbangan (M_e) ditentukan pada berbagai kondisi kelembapan relatif (RH) penyimpanan. Nilai M_e yang diperoleh selanjutnya diplot terhadap RH untuk menghasilkan kurva sorpsi isothermis yang digunakan sebagai dasar dalam pendugaan umur simpan produk. Kurva isothermis tersebut menggambarkan karakteristik interaksi produk dengan uap air di lingkungan sekitarnya sehingga dapat digunakan untuk memprediksi pola penyerapan kelembapan. Berdasarkan kurva tersebut, umur simpan produk dapat dihitung menggunakan persamaan Labuza.

Penerapan metode ASLT berbasis kadar air kritis memerlukan beberapa parameter utama, yaitu kadar air awal (M_i), kadar air kritis (M_c), dan kadar air kesetimbangan (M_e). Selain itu, diperlukan penentuan kurva sorpsi isothermis, model matematis yang paling sesuai, serta nilai kemiringan kurva (b) sebagai parameter penting dalam perhitungan umur simpan.

3.1 Kadar Air Awal (M_i)

Parameter awal yang dianalisis dalam penelitian ini adalah kadar air awal atau *Initial Moisture* (M_i). Parameter ini berperan penting dalam menentukan karakteristik dan stabilitas produk pangan semibasah. Kadar air awal menggambarkan kondisi produk segera setelah proses pengolahan dan menjadi titik acuan dalam mengevaluasi perubahan mutu selama penyimpanan. Secara teoritis, kadar air berkaitan erat dengan aktivitas air atau *water activity* (a_w), yang selanjutnya dapat memengaruhi laju reaksi kimia, perubahan tekstur, serta pertumbuhan mikroorganisme.

Penentuan kadar air awal dilakukan menggunakan metode oven yang mengacu pada AOAC (2005) dan dinyatakan dalam basis kering. Pengukuran dilakukan pada awal penyimpanan untuk menggambarkan kondisi mutu awal dodol tape singkong sebelum mengalami perubahan selama penyimpanan. Dodol tape singkong tergolong sebagai pangan semibasah, yaitu produk dengan kandungan air pada tingkat menengah.

Nilai kadar air awal dodol tape singkong yang diperoleh dari hasil analisis adalah 0,2205 g H₂O/g padatan atau setara dengan 22,05% ($\pm 0,08$) basis kering. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa produk berada dalam kisaran karakteristik pangan semibasah. Berdasarkan karakteristik kadar airnya, dodol diklasifikasikan sebagai pangan semibasah atau *intermediate moisture food* dengan rentang aktivitas air (*aw*) sekitar 0,60 hingga 0,80. Rentang nilai tersebut menunjukkan bahwa produk masih mengandung air bebas dalam jumlah tertentu yang dapat mendukung pertumbuhan mikroorganisme tertentu, khususnya khamir dan kapang. Dengan demikian, dodol tape singkong tetap memiliki risiko mengalami kerusakan mikrobiologis selama penyimpanan meskipun termasuk produk pangan semibasah (Iznillillah *et al.*, 2024).

3.2 Kadar Air Kritis (Mc)

Pada pendugaan umur simpan, kadar air kritis menunjukkan kandungan air maksimum yang masih dapat ditoleransi sebelum mutu produk menurun hingga tidak lagi memenuhi tingkat penerimaan konsumen. Kondisi kritis didefinisikan sebagai keadaan ketika mutu produk telah mengalami penurunan hingga melewati ambang toleransi konsumen, khususnya dari aspek sensori. Penentuan kadar air kritis dilakukan menggunakan metode oven sesuai prosedur AOAC (2005) dengan perhitungan berbasis kering (% bk).

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap dodol tape singkong, fenomena *graining* digunakan sebagai indikator utama penurunan mutu produk. *Graining* merupakan kondisi munculnya kristalisasi gula pada permukaan produk yang menyebabkan penampakan menjadi kusam dan menyerupai pertumbuhan jamur. Fenomena ini terjadi akibat migrasi dan penyerapan uap air pada permukaan produk sehingga menurunkan mutu visual dan daya terima konsumen. Oleh karena itu, kadar air kritis ditetapkan pada saat produk telah menunjukkan karakteristik tersebut dan tidak lagi dapat diterima secara sensori.

Penyimpanan sampel dodol tape singkong dilakukan pada suhu ruang dengan kelembapan relatif (RH) 76% yang dikondisikan menggunakan larutan natrium klorida (NaCl). Evaluasi tingkat penerimaan dilakukan setiap hari oleh lima belas panelis menggunakan skala hedonik 1–5. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa produk mulai mengalami penolakan pada hari ke-21 penyimpanan. Seiring bertambahnya waktu penyimpanan, nilai rata-rata penerimaan panelis mengalami penurunan secara bertahap. Pada hari ke-22, skor rata-rata mencapai 2,1. Nilai tersebut menunjukkan bahwa dodol tape singkong telah memasuki kondisi kritis, terutama ditinjau dari aspek penampakan.

Kadar air yang terukur pada saat produk mencapai kondisi kritis digunakan sebagai nilai kadar air kritis. Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar air kritis dodol tape singkong adalah 0,2427 g H₂O/g padatan atau 24,27% basis kering. Peningkatan nilai tersebut dibandingkan dengan kadar air awal menunjukkan bahwa produk mengalami penyerapan uap air dari lingkungan selama penyimpanan.

Kenaikan kadar air tersebut mencerminkan terjadinya proses absorpsi uap air dari lingkungan penyimpanan oleh produk. Proses tersebut menyebabkan bertambahnya kandungan air dalam matriks pangan yang selanjutnya berkontribusi terhadap perubahan mutu produk hingga mencapai batas penerimaan konsumen.

Beberapa penelitian terkini melaporkan bahwa dodol sebagai pangan semibasah cenderung mengalami penurunan mutu seiring dengan meningkatnya kadar air selama

penyimpanan. Penurunan mutu tersebut dapat ditunjukkan melalui perubahan tekstur dan penurunan kualitas sensori (Setiavani *et al.*, 2024). Penelitian lain juga menyebutkan bahwa pangan semibasah umumnya memiliki kadar air berkisar antara 10–40% dan bersifat higroskopis. Sifat tersebut menyebabkan produk mudah menyerap uap air dari lingkungan sehingga kadar air dapat meningkat hingga mencapai batas kritis (Iznillillah *et al.*, 2024).

Pada metode kadar air kritis, kondisi penolakan konsumen umumnya terjadi ketika kadar air meningkat hingga memicu perubahan tekstur, seperti menjadi lebih lembek, lengket, atau muncul fenomena kristalisasi gula (*graining*). Kondisi tersebut sejalan dengan prinsip bahwa kadar air kritis merupakan titik batas ketika mutu produk tidak lagi dapat diterima secara organoleptik. Husna *et al.* (2024) juga menegaskan bahwa penentuan umur simpan dapat dilakukan menggunakan pendekatan kadar air kritis, yaitu berdasarkan waktu yang diperlukan produk untuk mencapai kadar air batas yang masih dapat diterima oleh konsumen.

3.3 Kurva dan Model Sorpsi Isotermis

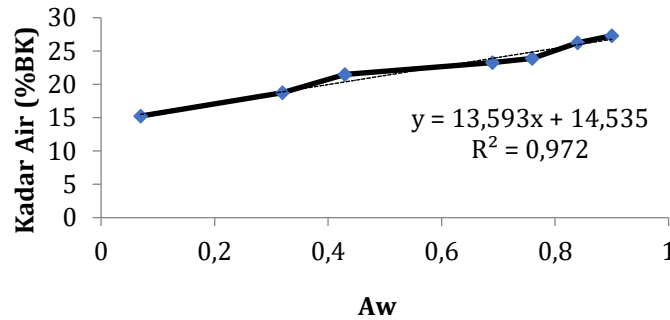
Kadar air kesetimbangan merupakan parameter penting dalam penyusunan kurva sorpsi isotermis suatu produk pangan. Pada penelitian ini, nilai kadar air kesetimbangan ditentukan dengan menyimpan dodol tape singkong pada kondisi kelembapan relatif (RH) yang berbeda. Kondisi tersebut dihasilkan oleh beberapa larutan garam jenuh. Larutan garam dibuat dengan melarutkan garam hingga mencapai keadaan jenuh.

Jenis garam yang digunakan meliputi NaOH, MgCl₂, K₂CO₃, NaNO₂, NaCl, KCl, dan BaCl₂. Setiap jenis garam menghasilkan tingkat RH yang berbeda. Variasi kelembapan relatif tersebut digunakan untuk merepresentasikan rentang aktivitas air yang luas sehingga hubungan antara aktivitas air (*a_w*) dan kadar air kesetimbangan dapat dikarakterisasi secara lebih komprehensif. Data kadar air kesetimbangan yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menyusun kurva sorpsi isotermis sebagai dasar dalam pendugaan umur simpan dodol tape singkong (Tabel 2).

Tabel 2. Kadar Air Kesetimbangan Dodol Tape Singkong pada Berbagai Kondisi Kelembapan Relatif Lingkungan

RH (%)	Kadar air g H ₂ O/g
7	0,1515
32	0,1874
43	0,2250
69	0,2328
76	0,2382
84	0,2636
90	0,2731

Berdasarkan Gambar 1, nilai kadar air kesetimbangan dodol tape singkong meningkat seiring dengan meningkatnya aktivitas air (*a_w*) lingkungan. Pada nilai *a_w* rendah, yaitu sekitar 0,07, kadar air kesetimbangan produk berada pada kisaran 15% basis kering (bk). Nilai tersebut kemudian meningkat secara bertahap hingga mencapai sekitar 27% bk pada nilai *a_w* mendekati 0,90. Pola tersebut menunjukkan bahwa dodol tape singkong memiliki sifat higroskopis, yaitu kemampuan menyerap uap air dari lingkungan hingga mencapai kondisi kesetimbangan.



Gambar 1. Kurva Sorpsi Isotermis Produk Dodol Tape Singkong

Peningkatan kadar air kesetimbangan sejalan dengan kenaikan aktivitas air karena semakin tinggi kelembapan relatif lingkungan, semakin besar tekanan uap air di sekitar produk. Perbedaan tekanan uap tersebut menyebabkan perpindahan uap air dari lingkungan ke dalam produk hingga tercapai keadaan setimbang. Akibatnya, kadar air produk meningkat seiring dengan bertambahnya nilai *aw* lingkungan penyimpanan.

Kurva sorpsi isotermis yang dihasilkan menunjukkan pola menyerupai kurva sorpsi isotermis tipe II dengan bentuk sigmoid, meskipun tidak sepenuhnya terbentuk sempurna. Bentuk kurva tersebut umum ditemukan pada produk pangan yang kaya karbohidrat, termasuk dodol tape singkong yang mengandung pati hasil fermentasi singkong dan gula dalam jumlah relatif tinggi. Pada daerah *aw* rendah, peningkatan kadar air berlangsung relatif lambat karena molekul air terutama terikat kuat pada gugus polar penyusun bahan. Sebaliknya, pada daerah *aw* yang lebih tinggi, laju peningkatan kadar air menjadi lebih cepat akibat bertambahnya jumlah molekul air yang teradsorpsi secara multilapis dan terikat lebih lemah pada matriks pangan.

Hasil regresi linier menghasilkan persamaan $y = 13,593x + 14,535$ dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,972$. Nilai R^2 yang mendekati satu menunjukkan bahwa hubungan antara aktivitas air dan kadar air kesetimbangan memiliki tingkat kesesuaian yang sangat baik. Artinya, sekitar 97,2% variasi kadar air kesetimbangan dapat dijelaskan oleh perubahan aktivitas air, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak tercakup dalam model. Tingginya nilai R^2 mengindikasikan bahwa data yang diperoleh cukup representatif untuk digunakan dalam pemodelan sorpsi isotermis dan pendugaan umur simpan produk.

Karakteristik sorpsi isotermis yang diperoleh sangat penting dalam pendugaan umur simpan menggunakan metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) dengan pendekatan kadar air kritis. Kurva ini digunakan untuk menentukan hubungan antara aktivitas air lingkungan dan kadar air produk sehingga laju penyerapan uap air selama penyimpanan dapat diprediksi. Semakin tinggi kemampuan produk menyerap uap air dari lingkungan, semakin cepat kadar air produk mencapai kadar air kritis. Kondisi tersebut dapat menyebabkan perubahan tekstur, munculnya fenomena *graining*, serta penurunan mutu organoleptik dodol tape singkong.

Penentuan model sorpsi isotermis dilakukan untuk memperoleh model yang paling sesuai dalam menggambarkan hubungan antara aktivitas air dan kadar air kesetimbangan dodol tape singkong. Evaluasi dilakukan terhadap beberapa model matematis, yaitu Chen-Clayton, Henderson, Halsey, Caurie, dan Oswin. Tingkat kesesuaian setiap model dinilai

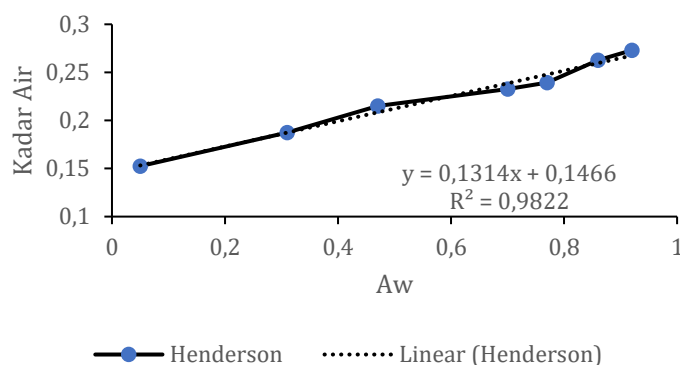
menggunakan parameter *Mean Relative Deviation* (MRD). Semakin kecil nilai MRD yang diperoleh, semakin baik kemampuan model dalam memprediksi data hasil pengamatan.

Tabel 3. Persamaan Kurva Sorpsi Isotermis Produk Dodol Tape Singkong dan Nilai *Mean Relative Deviation* (MRD)

Model	Nilai MRD
Chen Clayton	4,7
Henderson	3,6
Hasley	5,7
Caurie	5,6
Oswin	13,4

Berdasarkan Tabel 3, model Henderson memperoleh nilai MRD terendah, yaitu sebesar 3,6%, diikuti oleh model Chen-Clayton sebesar 4,7%, Caurie sebesar 5,7%, dan Halsey sebesar 5,7%. Sementara itu, model Oswin memiliki nilai MRD tertinggi, yaitu sebesar 13,4%. Hasil ini menunjukkan bahwa model Henderson memiliki tingkat kesesuaian terbaik dalam menggambarkan karakteristik sorpsi isotermis dodol tape singkong dibandingkan model lainnya. Model Henderson dengan persamaan linear: $\text{Log} \left[\ln \left(\frac{1}{1-a_w} \right) \right] = -3,67 + 5,95 \log Me$.

Berdasarkan kriteria evaluasi model sorpsi isotermis, nilai MRD kurang dari 5% menunjukkan tingkat ketepatan yang sangat baik, sedangkan nilai MRD 5–10% masih dianggap cukup baik dalam menggambarkan data hasil pengamatan. Dengan demikian, model Henderson dan Chen-Clayton dapat dikategorikan memiliki kemampuan prediksi yang sangat baik karena menghasilkan nilai MRD kurang dari 5%. Sementara itu, model Halsey dan Caurie masih dapat digunakan karena menghasilkan nilai penyimpangan yang relatif rendah. Sebaliknya, model Oswin menunjukkan tingkat penyimpangan yang lebih besar sehingga kurang sesuai untuk menggambarkan perilaku sorpsi isotermis dodol tape singkong.



Gambar 3. Kemiringan Kurva Sorpsi Isotermis Model Henderson Produk Dodol Tape Singkong

Kesesuaian model Henderson yang lebih tinggi dibandingkan model lainnya menunjukkan bahwa model tersebut mampu merepresentasikan hubungan antara aktivitas air dan kadar air kesetimbangan dodol tape singkong secara lebih akurat. Oleh karena itu, model Henderson dipilih sebagai model terbaik dan digunakan dalam perhitungan lebih lanjut, termasuk penentuan kemiringan kurva sorpsi isotermis yang diperlukan dalam pendugaan

umur simpan produk menggunakan metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) dengan pendekatan kadar air kritis.

3.4 Pendugaan Umur Simpan

Pendugaan umur simpan dodol tape singkong dilakukan menggunakan persamaan Labuza yang mempertimbangkan berbagai parameter yang memengaruhi laju perubahan kadar air produk selama penyimpanan (Tabel 4). Persamaan ini mengintegrasikan karakteristik produk dan kemasan, meliputi permeabilitas kemasan terhadap uap air, bobot kering produk, luas permukaan kemasan, perbedaan tekanan uap air produk dan lingkungan, serta karakteristik sorpsi isothermis produk.

Tabel 4. Parameter Perhitungan Umur Simpan Produk Dodol Tape Singkong

Parameter	Nilai
Kadar Air Awal (Mi) gH ₂ O/g solid	0.2205
Kadar Air Kritis (Mc) gH ₂ O/g solid	0.2329
Slope Kurva Isothermis	0.1314
Kadar Air Keseimbangan (Me) gH ₂ O/g solid	0.2589
Permeabilitas Kemasan gH ₂ O/m ² .hari.mmHg	0.0739
Luas Kemasan (m ²)	0.0161
Berat Kering (gram)	42,63
Tekanan Uap Jenuh 30°C (mmHg)	31.824

Parameter yang diperoleh dari hasil penelitian selanjutnya dimasukkan ke dalam persamaan Labuza untuk menghitung umur simpan dodol tape singkong. Berdasarkan hasil perhitungan, umur simpan dodol tape singkong diperkirakan mencapai 64,07 hari atau sekitar dua bulan pada kondisi penyimpanan yang digunakan dalam penelitian ini. Nilai tersebut menunjukkan bahwa produk masih dapat mempertahankan mutunya sampai mencapai kadar air kritis yang ditetapkan sebagai batas penerimaan konsumen.

4. SIMPULAN

Metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) yang dikombinasikan dengan pendekatan kadar air kritis dan kurva sorpsi isothermis dapat digunakan untuk memperkirakan umur simpan dodol tape singkong. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air awal produk sebesar 0,2205 g H₂O/g padatan, sedangkan kadar air kritisnya sebesar 0,2427 g H₂O/g padatan. Kurva sorpsi isothermis yang diperoleh menunjukkan pola sigmoid tipe II, dengan model Henderson sebagai model yang paling representatif berdasarkan nilai *Mean Relative Deviation* (MRD) terendah. Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan Labuza, umur simpan dodol tape singkong pada kondisi suhu ruang diperkirakan mencapai 64,07 hari atau sekitar dua bulan. Hasil pendugaan ini dapat dijadikan dasar dalam penetapan umur simpan produk.

5. REFERENSI

AOAC International. (2005). *AOAC Official Method 925.10: Solids (total) and moisture in flour-Air oven method*. In *Official methods of analysis of AOAC International* (18th ed.). AOAC International.

- Arif, A. B. (2016). Metode Accelerated Shelf Life Test (ASLT) dengan Pendekatan Arrhenius dalam Pendugaan Umur Simpan Sari Buah Nanas, Pepaya dan Cempedak. *Informatika Pertanian*, 25(2), 189–198. <https://doi.org/10.21082/ip.v25n2.2016.p189-198>
- Budijanto, S., Sitanggang, A. B., & Kartika, Y. D. (2010). Penentuan Umur Simpan Tortilla dengan Metode Akselerasi Berdasarkan Kadar Air Kritis Serta Pemodelan Ketepatan Sorpsi Isoterminya. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 21(2), 165–170. <https://journal.ipb.ac.id/jtip/article/view/3414>
- Djekić, I., Velebit, B., Pavlić, B., Putnik, P., Šojić Merkulov, D., Bebek Markovinović, A., & Bursać Kovačević, D. (2023). Food quality 4.0: Sustainable food manufacturing for the twenty-first century. *Food Engineering Reviews*, 15(4), 577–608. <https://doi.org/10.1007/s12393-023-09354-2>
- Husna, A., Palupi, N. S., Kusnandar, F., & Sitanggang, A. B. (2024). Formulasi serbuk wedang tahu dan pendugaan umur simpan menggunakan metode kadar air kritis. *Jurnal Mutu Pangan: Indonesian Journal of Food Quality*, 11(2), 121–132. <https://doi.org/10.29244/jmpi.2024.11.2.121>
- Iznillillah, W., Jumiono, A., & Fanani, M. Z. (2024). Perbandingan pengemasan produk pangan olahan semi basah. *Jurnal Ilmiah Pangan Halal*, 6(1), 50–56. <https://doi.org/10.30997/jiph.v6i1.13036>
- Kathuria, D., Hamid, H., Gautam, S., & Thakur, A. (2023). Maillard reaction in different food products: Effect on product quality, human health and mitigation strategies. *Food Control*, 153, 109911. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109911>
- Lyn, F. H., Adilah, Z. M., Nor-Khaizura, M. A. R., Jamilah, B., & Hanani, Z. N. (2020). Application of modified atmosphere and active packaging for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Food packaging and shelf life*, 23, 100451. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100451>
- Seftiana, L., Rizki, A. S., & Hadi, A. P. (2023). Penguatan Kapasitas Usaha Masyarakat Melalui Proses Fermentasi Pembuatan Tape Singkong (Manihot Utilissima) Di Dusun Limbungan Kecamatan Gunung Sari Lombok Barat. *Al Hayat: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(2), 43–53. <https://doi.org/10.62588/ahjpm.2023.v1i2.039>
- Setiavani, G., Sugiyono, Ahza, A. B., & Suyatma, N. E. (2018). Teknologi pengolahan dodol dan peningkatan kandungan gizinya. *Pangan*, 27(3), 225–234. <https://doi.org/10.33964/jp.v27i3.388>
- Setiavani, G., Sugiyono, & Suyatma, N. E. (2024). Perubahan Tekstur, Aktivitas Air, dan Sifat Termal Dodol Selama Penyimpanan sebagai Pengaruh Proporsi Santan Kelapa dan Suhu Penyimpanan. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 35(2), 198–209. <https://doi.org/10.6066/jtip.2024.35.2.198>
- Syamsuri, R., Dirpan, A., Laga, A., & Salengke, S. (2024). Characteristics of isothermic sorption curves and determination of the best equation model for egg flour. *Indonesian Food Science and Technology Journal*, 7(2), 180–187. <https://doi.org/10.22437/ifstj.v7i2.33865>
- Waluyo, S., Damayanti, E. R., Tamrin, T., & Kuncoro, S. (2023). Prediksi Umur Simpan Keripik Jamur Tiram (*Pleurotus ostreatus*) dalam Kemasan Plastik Polipropilen. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, 2(1), 1–7. <https://doi.org/10.23960/jabe.v2i1.6714>