



Pendugaan Umur Simpan Susu Kambing Etawa Metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) dengan Pendekatan Kadar Air Kritis

Estimating the Shelf Life of Powdered Etawa Goat with the Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT) Method with a Critical Moisture Content Approach

Titisari Juwitaningtyas ^{*,1,2}, Ajeng Wahyuningrat ¹

¹ Program Studi Teknologi Pangan, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta, Indonesia

² Ahmad Dahlan Halal Center, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta, Indonesia

*Penulis Korespondensi

Email: titisari.juwitaningtyas@tp.uad.ac.id

Abstrak. Susu kambing etawa bubuk adalah produk olahan yang dibuat dari susu kambing etawa segar melalui proses pengeringan untuk mengurangi kadar air. Susu kambing memiliki nilai gizi tinggi yang mudah rusak karena mudah terkontaminasi oleh mikroba. Pengolahan susu menjadi bubuk adalah pilihan yang tepat karena membuat penyimpanan susu menjadi tahan lama. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kadar air awal, kadar air kritis, kadar air kesetimbangan, dan kadar lemak susu kambing etawa bubuk. Selain itu, penelitian ini untuk mengetahui umur simpan susu kambing etawa bubuk. Pendugaan umur simpan susu kambing etawa bubuk menggunakan metode Accelerated Shelf-life Testing (ASLT) dengan pendekatan Labuza dengan menggunakan lima jenis garam yaitu NaOH, MgCl₂, K₂CO₃, NaCl, KCl dengan masing-masing RH 15%, 32%, 53%, 73%, dan 83%. Labuza digunakan untuk kerusakan produk pangan berdasarkan kadar air produk selama penyimpanan. Empat model persamaan yang digunakan untuk menentukan kurva ISA (Isotermi Sorpsi Air) yaitu Hasley, Caurie, Oswin, dan Chen-Clayton. Ketepatan kurva ISA yang dipilih dalam menentukan umur simpan adalah model Chen-Clayton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air awal susu kambing etawa bubuk sebesar 1,79%(b/b). Kadar air kritis susu kambing etawa bubuk pada RH 83% sebesar 4,27% (b/b), kadar lemak awal sebesar 8,68 % dan kadar lemak kritis 7,61%. Umur simpan yang diperoleh dengan kondisi RH 15%, 32%, 53%, 73%, 83% memiliki umur simpan secara berturut-turut sebagai berikut: 548 hari (18,2 bulan), 376 hari (12 bulan), 277 hari (9,2 bulan), 210 hari (7 bulan), dan 178 hari (5,9 bulan).

Kata kunci: susu kambing bubuk, umur simpan, ASLT, Labuza, Chen-Clayton.

Abstract. Etawa goat milk powder is a processed product made from fresh etawa goat milk through a drying process to reduce its water content. Goat milk has high nutritional value but is easily damaged because it is easily contaminated by microbes. Processing milk into powder is an appropriate choice as it makes milk storage more durable. The objective of this study is to determine the initial moisture content, critical moisture content, equilibrium moisture content, and fat content of goat milk powder. Additionally, this study aims to determine the shelf life of goat milk powder. The shelf life of goat milk powder was estimated using the Accelerated Shelf-life Testing (ASLT) method with the Labuza approach, employing five types of salts: NaOH, MgCl₂, K₂CO₃, NaCl, and KCl, each at relative humidity (RH) levels of 15%, 32%, 53%, 73%, and 83%.

Labuza was used to assess product damage based on the moisture content of the product during storage. Four equation models were used to determine the ISA (Isothermal Water Sorption) curve: Hasley, Caurie, Oswin, and Chen-Clayton. The Chen-Clayton model was selected as the most accurate ISA curve for determining shelf life. The results of the study showed that the initial moisture content of Etawa goat milk powder was 1.79% (w/w). The critical moisture content of Etawa goat milk powder at RH 83% was 4.27% (w/w), the initial fat content was 8.68%, and the critical fat content was 7.61%. The shelf life obtained under RH conditions of 15%, 32%, 53%, 73%, and 83% is as follows: 548 days (18.2 months), 376 days (12 months), 277 days (9.2 months), 210 days (7 months), and 178 days (5.9 months).

Keywords: goat milk powder, shelf life, ASLT, Labuza, Chen-Clayton.

1. Pendahuluan

Susu bubuk yaitu produk yang dihasilkan dari susu segar yang diolah melalui proses pengeringan menggunakan metode tradisional untuk menurunkan kadar air sehingga dapat menghambat pertumbuhan mikroba (Kridoyono *et al.*, 2016). Selain menggunakan metode tradisional dalam pembuatan bubuk terdapat juga teknik *foam-mat drying* (pengeringan busa atau buih) dan *spray drying* (Prasasti *et al.*, 2023). Metode tradisional adalah pengolahan susu bubuk menggunakan kompor dan masih menggunakan tenaga manusia (Islami & Rahmadi, 2022).

Susu memiliki sifat yang mudah terkontaminasi dan rusak, terutama selama penyimpanan. Pengolahan susu menjadi bubuk adalah pilihan yang baik karena membuat susu menjadi tahan lama karena kadar air dalam susu bubuk yang rendah. Kandungan kadar air pada susu bubuk berkisar 2,5%–5% yang dapat meminimalisir pertumbuhan mikroba (Adidharma, 2018). Menurut Aprida *et al.* (2017), susu bubuk termasuk produk pangan yang rentan terhadap kelembaban sewaktu penyimpanan. Degradasi produk pangan tersebut diakibatkan adanya penyerapan uap air sewaktu proses penyimpanan. Menurut Rahman *et al.* (2019), susu bubuk bersifat higroskopis, yaitu cepat menyerap air dari lingkungan sekitar. Hal ini menunjukkan terjadinya perpindahan uap air dari luar kemasan ke dalam produk yang dapat menurunkan mutu produk di dalamnya. Kerusakan yang diakibatkan oleh penyerapan air pada susu bubuk yaitu terjadinya penggumpalan. Menurut Syafira *et al.* (2018), produk pangan bubuk dapat menggumpal karena adanya kontaminasi dari udara luar, oksigen, dan uap air yang masuk ke dalam produk bahkan sebelum kedaluarsa. Produk yang telah kedaluarsa dapat membahayakan kesehatan jika digunakan dalam kurun waktu yang cukup lama. Tanggal kedaluarsa adalah batas waktu jaminan produsen atau pelaku usaha terhadap produk yang dihasilkan (Diah & Taufiq, 2023). Oleh karena itu, pendugaan umur simpan produk sangat diperlukan untuk keamanan produk pangan. Pendugaan umur simpan pada produk makanan harus disesuaikan dengan karakteristik masing-masing produk pangan (Swastika & Juwitaningtyas, 2024).

Umur simpan (*Shelf life*) adalah keterangan yang harus dituliskan pada label kemasan produk pangan (Harris & Fadli, 2014). Penulisan keterangan mengenai masa simpan pada label kemasan pangan penting dilakukan agar konsumen dapat mengetahui batas waktu mengonsumsi produk pangan tersebut dan berkaitan dengan keamanan produk serta menjamin kualitas ketika produk sampai ke tangan konsumen, hal ini telah ditekankan dengan mewajibkan setiap industri pangan untuk menuliskan tanggal kedaluarsa (Putri & Yuniastri, 2019). Sesuai dengan UU Pangan No. 18 Tahun 2012 dan PP No. 69 tahun 1999 mengenai Label dan Iklan Pangan, tiap industri pangan harus menuliskan tanggal kedaluarsa pada kemasan produk (Alfiyani *et al.*, 2019).

Metode *Accelerated Shelf-life Testing* (ASLT) dan *Extended Storage Studies* (ESS) dapat digunakan untuk memperkirakan masa simpan produk. Metode ASLT yaitu teknik penyimpanan produk yang bertujuan mempercepat kerusakan produk. Metode ini menggunakan kondisi suhu atau kelembaban yang lebih tinggi di ruang penyimpanan (Arif, 2018). Penggunaan variasi RH yang berbeda bertujuan untuk menyimulasikan kondisi penyimpanan yang beragam mulai dari kondisi yang sangat kering (15%) hingga kondisi yang sangat lembab (83%) (Alfiyani *et al.*, 2019). Terdapat dua cara pendugaan masa simpan dengan metode ASLT, yaitu pendekatan Labuza dan Arrhenius. Cara yang dipakai untuk mengestimasi masa simpan produk pangan yang cepat menyerap air adalah metode labuza (Swastika & Juwitaningtyas, 2024). Prinsip labuza yaitu mempercepat kerusakan produk pangan berdasarkan kadar air produk selama penyimpanan (Nuraini & Widanti, 2020).

Penjaminan mutu produk pangan agar tetap aman dikonsumsi dan belum mengalami kerusakan, diperlukan informasi umur simpan. Umur simpan ialah rentang waktu dari produk dibuat hingga dikonsumsi, di mana produk masih mempertahankan kualitas penampilan produk, rasa, aroma, tekstur, dan kandungan gizinya. Penurunan kualitas produk dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti oksigen (O₂), permeabilitas kemasan, cahaya, mikroorganisme, kompresi atau bantingan, dan bahan kimia toksik (Herawati, 2008). Oleh karena itu, untuk memperlambat laju kerusakan, pengemasan menjadi tahapan penting khususnya pada produk susu kambing etawa bubuk. Selain itu, pengemasan berperan dalam melindungi produk dan mencegah oksigen serta udara masuk ke dalam produk (Syska *et al.*, 2023). Kemasan berbahan dasar PE (Polietilen) memiliki keunggulan seperti mudah disegel dengan panas, fleksibel, dan harganya murah (Astuti *et al.*, 2020). Menurut Sunyoto (2018), *packaging* ini tepat digunakan karena mempunyai daya tahan yang cukup baik terhadap uap air dan gas, kedap cahaya serta mencegah masuknya udara. Berdasarkan hal tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar air awal, kadar air kritis, kadar air kesetimbangan, dan kadar lemak susu kambing etawa bubuk serta untuk mengetahui umur simpan susu kambing etawa bubuk.

2. Bahan dan Metode

2.1. Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah susu kambing etawa bubuk yang diproduksi CV Etawa Agro Prima Yogyakarta. Garam jenuh yang digunakan dalam pengujian kurva isotermsorpsi air yaitu NaOH teknis, $MgCl_2$ teknis, K_2CO_3 teknis, NaCl teknis, KCl teknis, dengan RH 15%, 32%, 53%, 73%, dan 83%. Bahan lain yang digunakan adalah *silica gel*, akuades, plastik polietilen (PE) dan PE (Potroleum eter).

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah oven (Mettler), *humidity chamber* (Glasslock), neraca analitik (Ohaus), pencapit logam, gelas beaker 250 ml (Iwaki), gelas arloji, spatula, tabung reaksi (Iwaki), pipet ukur (Iwaki), cawan porselen 75 ml, mortal, alu, botol timbang 30×50, ayakan 80 mesh, *thermohygrometer* (Elrosto HTC-2), desikator (Normax), *vacuum sealer*, plastik PE, panci aluminium, blender (Cosmos), satu set alat Soxhlet, labu lemak 100 ml (Iwaki), pemanas listrik (Maspion), kertas saring, *thimble* (Iwaki), selongsong kertas, kondensor (Iwaki), panci aluminium, statif dan klem.

2.2. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu yang digunakan selama 3 bulan yaitu Januari-Maret 2025. Susu kambing etawa dari CV Etawa Agro Prima yang berlokasi di Jl. Kemirikebo, Kemirikebo, Girikerto, Kecamatan Turi, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Tempat penelitian di Laboratorium Teknologi Pangan Universitas Ahmad Dahlan.

2.3. Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan menggunakan lima macam garam ialah NaOH, $MgCl_2$, K_2CO_3 , NaCl, KCl, dengan masing-masing RH 15%, 32%, 53%, 73%, dan 83% dengan 3 kali ulangan. Parameter yang diuji dalam penelitian yaitu kadar air awal, kadar air kesetimbangan, dan kadar lemak.

2.4. Analisis data

Penelitian ini melakukan Analisis pendugaan umur simpan menggunakan metode ASLT dengan pendekatan Labuza. Prinsip dari cara ini untuk mempercepat kerusakan produk yang rentan dengan penyerapan air selama penyimpanan dengan menggunakan lima tingkat kelembaban *relative* (RH) berdasarkan variabel kadar air dan kadar lemak yang dianalisis menggunakan *Microsoft Excel* dengan persamaan Labuza ([Apriliyanti et al., 2020](#)).

2.5. Tahapan Penelitian

Langkah-langkah penelitian dalam memperkirakan umur simpan ini menggunakan metode labuza yaitu:

1. Persiapan dan perlakuan sampel

Sampel diambil dari CV Etawa Agro Prima Yogyakarta dengan jenis sampel susu kambing etawa bubuk original. Sampel disimpan pada desikator dengan RH 15%, 32%, 53%, 73%, dan 83%.

2. Orientasi penelitian

Penelitian ini diawali dengan membuat RH sesuai dengan Aw yang dibutuhkan adalah 0,15, 0,32, 0,53, 0,73, dan 0,83. Garam yang digunakan ditambahkan dengan jumlah air yang sesuai agar mendapat RH yang diinginkan. Kandungan jumlah garam dan jumlah air dalam pembuatan garam jenuh dapat dilihat pada [Tabel 1](#).

Tabel 1. Kandungan jumlah garam (gram) dengan jumlah air (ml) dalam pembuatan garam jenuh

Garam jenuh	Aw	RH (%)	Jumlah garam (gram)	Jumlah air (ml)
NaOH	0,15	15	40	20
MgCl ₂	0,32	32	100	13
K ₂ CO ₃	0,53	53	100	57
NaCl	0,73	73	30	50
KCl	0,83	83	30	50

3. Penentuan kadar air awal (M₀)

Kadar air awal dinyatakan dalam berat kering. Botol timbang kosong dikeringkan di dalam oven pada temperatur 105 °C dalam waktu satu jam. Selanjutnya botol timbang dimasukan ke dalam desikator selama 30 menit sampai tidak terjadi perubahan berat, selanjutnya ditimbang. 2 gram sampel dimasukan ke botol timbang yang sebelumnya sudah mencapai berat konstan serta dimasukan ke dalam oven dengan suhu 105 °C dalam waktu lima jam, selanjutnya botol timbang dipindahkan ke dalam desikator dan ditimbang. Kadar air awal dihitung menggunakan rumus kadar air (1) ([Apriliyanti et al., 2020](#)).

$M_0 = \frac{(W1 + W2) - W3}{(W3 - W1)} \times 100\%$	(1)
---	-----

Keterangan:

M₀ : kadar air awal (%)

W₁ : bobot botol timbang (gram)

W₂ : bobot sampel awal (gram)

W₃ : bobot sampel dan botol timbang setelah dikeringkan (gram)

4. Penentuan kadar air kritis (M_c)

Kadar air kritis merupakan kadar air pada saat sampel sudah mengalami titik kritisnya, yaitu terjadi penggumpalan pada susu kambing etawa bubuk ([Kusnandar et al., 2016](#)). Penggumpalan tersebut terjadi karena perubahan kadar air karena adsorpsi uap air dari lingkungan ([Setyani et al., 2023](#)). Penyimpanan sampel sebanyak 20 gram pada suhu ± 27 °C dengan menggunakan RH tertinggi yaitu 83%. Pengamatan sampel dilakukan setiap 24 jam. Setelah sampel sudah mengalami penggumpalan sampel diayak menggunakan ayakan 80 mesh untuk mengetahui

penggumpalan sampel. Kerusakan pada sampel ditandai dengan penggumpalan, jika sampel yang melewati ayakan 80 mesh di bawah 50% dari bobot awal. Sampel yang sudah mencapai titik kritisnya lalu ditimbang dan diuji kadar air kritis serta kadar lemaknya.

5. Penentuan kadar lemak

Kadar lemak susu kambing etawa bubuk dapat menggunakan rumus kadar lemak (2) (Maryana *et al.*, 2024).

$$\text{Kadar lemak} = \frac{(A - B)}{C} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

- A : bobot labu dan lipid (gram)
- B : bobot setimbang labu (gram)
- C : bobot sampel (gram)

6. Kadar air kesetimbangan (Me)

Kadar air kesetimbangan (Me) yaitu jumlah air pada saat tekanan uap air suatu sampel setimbang dengan lingkungannya, sehingga berat sampel tidak berubah (Lutovska *et al.*, 2017). Sampel yang dikemas menggunakan plastik PE sebanyak 2 gram yang direkatkan menggunakan *sealing* dengan 3 kali ulangan disimpan dalam toples berisi berbagai tingkat RH selama 24 jam dan ditimbang hingga mencapai berat konstan. Berat konstan didefinisikan sebagai berat yang diperoleh ketika pengurangan bobot maksimal 2 mg pada sampel yang disimpan di RH tidak lebih dari 90%, serta maksimal 10 mg pada sampel yang disimpan di RH di atas 90% (Apriliyanti *et al.*, 2020). Setelah sampel setimbang, kadar air diukur dan ditunjukkan sebagai Me basis kering.

7. Kurva isothermis sorpsi air (ISA)

Kurva ISA ditentukan menggunakan lima jenis larutan garam dengan berbagai nilai RH yaitu NaOH, MgCl₂, K₂CO₃, NaCl, KCl. Kurva ISA dibuat dengan memplot antara kadar air kesetimbangan sampel dengan Aw menggunakan *Microsoft Excel*, kemudian data tersebut dimasukkan ke dalam model persamaan sorpsi isothermis. *Slope* didapatkan dari hubungan linier dengan menggunakan persamaan $a + bx = y$ dan b sebagai *slope*. Penelitian ini memakai empat model yaitu model Hasley, Caurie, Oswin, dan Chen-Clayton. Model tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan pola kurva yang terbaik dan nilai *Mean Relative Deviation* (MRD) yang paling kecil. Keempat model persamaan tersebut digunakan untuk mengetahui nilai MRD dari setiap model yang kemudian dievaluasi nilai (MRD). Model matematika yang digunakan yaitu model yang nilai MRD nya paling kecil (Kurniawan *et al.*, 2021). Model isotherm sorpsi air yang mempunyai nilai MRD < 5 dianggap sangat akurat dalam menjelaskan keadaan sebenarnya, sedangkan nilai 5 < MRD < 10 menunjukkan ketepatan yang sedang dan nilai MRD > 10 menunjukkan ketidaktepatan model tersebut (Faridah *et al.*, 2013). Nilai MRD menggambarkan

tingkat ketepatan model perhitungan, di mana semakin rendah persentase MRD maka semakin akurat perhitungan yang dihasilkan oleh persamaan model (Hidayah & Rahayu, 2024). Nilai MRD dihitung menggunakan rumus (3).

$$MRD = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{mi - mpi}{mi} \right| \quad (3)$$

Keterangan:

Mi : kadar air percobaan

Mpi : kadar air hasil perhitungan

n : jumlah data

8. Berat kering produk (Ws) dan luas kemasan (A)

Berat kering diperoleh dari mengalikan berat sampel awal produk. Luas kemasan merupakan keseluruhan dari kedua sisi depan kemasan utama yang digunakan sebagai pembungkus susu bubuk. Luas kemasan dihitung melalui perkalian panjang dan lebar *packaging*, yang dinyatakan dalam m² (Kusnandar *et al.*, 2016). Nilai Ws dapat dihitung menggunakan rumus berat kering produk (4) dan % solid dapat dihitung menggunakan (5).

$$Ws = W \times \frac{\%solid}{100} \quad (4)$$

$$\% Solid = \left[1 - \frac{M0}{1 + M0} \right] \times 100 \quad (5)$$

Keterangan:

Ws : berat solid per kemasan (gram)

M0 : kadar air awal (g H₂O/g (bk))

W : berat produk awal (gram)

9. Tekanan uap air jenuh (P₀) dan permeabilitas kemasan (k/x)

Tekanan uap jenuh menjadi parameter untuk menghitung masa simpan susu kambing etawa bubuk. Permeabilitas kemasan mengacu pada kemampuan kemasan untuk mencegah penyerapan uap air, oksigen, maupun cahaya pada keadaan temperatur serta RH tertentu (Permadi *et al.*, 2022). Semakin rendah permeabilitas kemasan, maka semakin rendah juga daya tembusnya, begitu pula sebaliknya (Puspita *et al.*, 2021). Permeabilitas suatu bahan diukur terlebih dahulu untuk memperoleh nilai WVTR (*Water Vapor Transmission Rate*). WVTR adalah banyaknya uap air yang melalui tiap satuan luas permukaan bahan per satuan waktu dalam kondisi RH dan suhu yang stabil. WVTR berpengaruh terhadap nilai permeabilitas kemasan. Semakin tinggi WVTR, semakin tinggi pula permeabilitas kemasan, sehingga banyak uap air yang masuk atau keluar ke dalam kemasan (Ramanda *et al.*, 2023).

Water Vapor Permeability (WVP) merupakan suatu parameter yang dapat menentukan nilai permeabilitas bahan kemasan yang memiliki sifat penting dalam menilai kemampuan kemasan dalam menghalangi uap air, terutama pada kemasan makanan (Puspita *et al.*, 2021). Kenaikan

kadar air (*moisture content*) melalui penyerapan uap air dari lingkungan mengakibatkan penurunan kualitas produk makanan. Penurunan kualitas terjadi bila produk pangan telah melewati batas umur simpannya karena telah melampaui ambang batas kadar air kritisnya (Miskiyah *et al.*, 2020). Nilai k/x dan WVTR dapat dihitung menggunakan rumus permeabilitas kemasan dan WVTR (6) dan (7).

$$k/x = \frac{WVTR}{(P_0) \times (RH)} \quad (6)$$

$$WVTR = \frac{G}{A} \quad (7)$$

Keterangan:

k/x : konstanta permeabilitas uap air kemasan ($\text{g/m}^2 \cdot \text{hari} \cdot \text{mmHg}$)

WVTR : laju perpindahan uap air melalui kemasan ($\text{g/m}^2/\text{hari}/\text{RH}$)

P_0 : tekanan uap air di lingkungan (mmHg)

A : luas kemasan (m^2)

$\frac{G}{t}$: selisih pertambahan berat per jam (gram)

10. Pendugaan umur simpan susu kambing etawa bubuk

Parameter seperti M_0 , M_c , M_e , k/x , P_0 , b , A dan W_s yang diperoleh, dihitung menggunakan rumus labuza (8) (Apriliyanti *et al.*, 2020).

$$\theta = \frac{\ln \frac{(M_e - M_0)}{(M_e - M_c)}}{\frac{k}{x} \left(\frac{A}{W_s} \right) \frac{P_0}{b}} \quad (8)$$

Keterangan:

θ : waktu perkiraan umur simpan (hari)

M_0 : kadar air awal produk ($\text{gH}_2\text{O}/\text{g}$ padatan)

M_e : kadar air keseimbangan produk ($\text{g H}_2\text{O}/\text{g}$ padatan)

M_c : kadar air kritis ($\text{g H}_2\text{O}/\text{g}$ padatan)

$\frac{k}{x}$: permeabilitas uap air kemasan ($\text{g/m}^2 \cdot \text{hari} \cdot \text{mmHg}$)

A : luas permukaan kemasan (m^2)

W_s : berat kering produk dalam kemasan (g padatan)

P_0 : tekanan uap jenuh (mmHg)

b : *slope* kurva sorpsi isoteremis

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kadar air awal

Kadar air awal adalah tahap awal untuk penentuan masa simpan melalui pendekatan labuza, karena kadar air dapat memengaruhi daya tahan produk pangan. Kadar air awal kambing etawa bubuk sebesar 1,79% (b/b). Hasil penelitian ini menunjukkan nilai kadar air yang rendah. Bobot kering tersebut telah memenuhi standar SNI 01-2970-2006 susu bubuk yaitu tidak melebihi 5% (Purbasari, 2019).

3.2. Kadar air kritis

Kadar air kritis adalah variabel dalam menduga umur simpan produk pangan kering, termasuk susu bubuk. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan nilai kadar air kritis sampel sebesar 4,27%. Hasil kadar air kritis didapatkan lebih besar daripada hasil kadar air awal. Tingginya nilai kadar air kritis yang diperoleh disebabkan oleh penyimpanan, karena pada saat penyimpanan adanya penyerapan uap air yang masuk ke dalam produk (Setyani *et al.*, 2023). Hasil dari penelitian ini, semakin lama penyimpanan memengaruhi nilai kadar air yang diperoleh. Bobot kering tersebut menunjukkan yakni susu kambing etawa bubuk masih memenuhi standar SNI 01-2970-2006 susu bubuk yaitu tidak melebihi 5% (Purbasari, 2019).

3.3. Kadar air kesetimbangan

Kadar air kesetimbangan ialah kondisi saat kecepatan migrasi air dari bahan ke udara seimbang dengan jumlah uap air yang berpindah dari udara ke bahan (Swastika & Juwitaningtyas, 2024). Produk susu kambing etawa bubuk dikemas menggunakan plastik PE dengan ketebalan 0,3 mm. Penentuan kadar kesetimbangan udara dilakukan dengan mengondisikan berbagai larutan garam jenuh dari beberapa tingkat RH serta mempertahankan temperatur pada 27°C. Waktu yang tercapai setiap jenis garam jenuh berbeda-beda. Nilai kadar air kesetimbangan dan waktu tercapai kesetimbangan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai kadar air kesetimbangan dan waktu tercapai kesetimbangan

Garam jenuh	Aw	RH (%)	Kadar air kesetimbangan percobaan (g H ₂ O/g padatan)	Kadar air kesetimbangan Chen-Clayton (g H ₂ O/g padatan)	Waktu tercapai kesetimbangan (Hari)
NaOH	0,15	15	0,17365	0,194073	5
MgCl ₂	0,32	32	0,29921	0,268693	7
K ₂ CO ₃	0,53	53	0,35626	0,354298	12
NaCl	0,73	73	0,45715	0,457018	17
KCl	0,83	83	0,52167	0,533735	25

Tabel 2 menunjukkan data berbagai macam kelembaban relatif yang dikondisikan menggunakan lima macam garam NaOH, MgCl₂, K₂CO₃, NaCl, dan KCl. Semakin besar nilai RH semakin lama waktu untuk tercapai kesetimbangannya dan semakin besar nilai RH semakin besar juga kadar air kesetimbangannya. Menurut Hartono (2024), peningkatan kelembaban relatif (RH) mengakibatkan terjadinya kenaikan pada nilai kadar kesetimbangan air. Selain itu, nilai kadar air kesetimbangan percobaan susu kambing etawa bubuk lebih rendah daripada kadar air perhitungan, karena kadar air kesetimbangan perhitungan menggunakan model matematika isotermis sorpsi air. Sedangkan kadar air percobaan menggunakan perhitungan bobot sampel sebelum dan setelah dilakukan pemanasan, hal tersebut dapat memengaruhi hasil pengukuran kadar air kesetimbangan percobaan dan perhitungan. Selama penyimpanan, susu kambing etawa bubuk mengalami

kenaikan berat hal tersebut menunjukkan bahwa susu kambing etawa bubuk mengalami adsorpsi uap air.

3.4. Kurva Isotermis Sorpsi Air (ISA)

Kurva ISA yaitu grafik yang menunjukkan keterkaitan antara *water activity* (A_w) serta kadar kesetimbangan udara (M_e) (Ikasari *et al.*, 2017). Penentuan kurva ISA dilakukan dengan pendekatan model matematika yang disusun menggunakan persamaan linier. Nilai persamaan linear model kurva ISA dan nilai MRD (*Mean Relative Determination*) susu kambing etawa bubuk dapat dilihat pada Tabel 3.

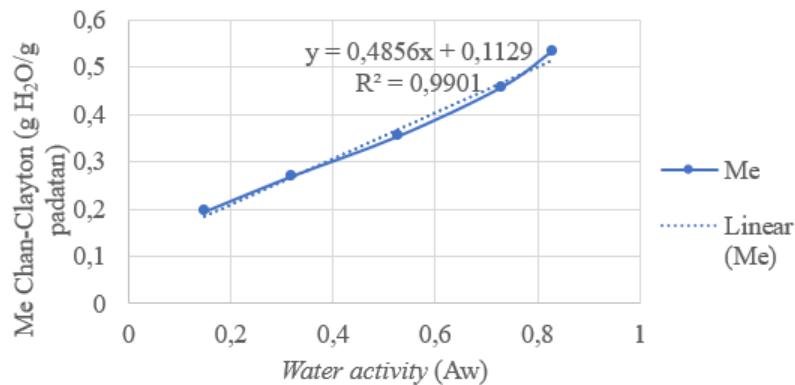
Tabel 3. Persamaan linear model kurva isa dan nilai MRD susu kambing etawa bubuk

Model	Persamaan	MRD (%)
Hasley	$\log(\ln(1/a_w)) = -1,201 + 2,085 \log M_e$	10,29
Caurie	$\ln M_e = -1,84281 - 1,480935 a_w$	7,46
Oswin	$\ln M_e = -1,098 + 0,316 \ln(a_w / 1 - a_w)$	6,31
Chen-Clayton	$\ln(\ln(1/a_w)) = 1,966 + 6,832 M_e$	4,97

Tabel 3 menunjukkan bahwa penelitian ini menerapkan empat model matematika, model Hasley, Caurie, Oswin, dan Chen-Clayton. Model Hasley ini menggunakan persamaan logaritmik yang menghubungkan a_w dengan kadar air kesetimbangan. Model ini sering menunjukkan kecocokan yang tinggi dengan data percobaan, sehingga banyak digunakan dalam pendugaan umur simpan. Model Oswin memiliki bentuk persamaan linier yang menghubungkan kadar air kesetimbangan dengan a_w . A_w yang digunakan dalam model ini rentang 0 hingga 0,85. Model Oswin juga sering dipilih karena dapat mempresentasikan kurva ISA pada berbagai jenis produk dengan akurasi yang cukup baik (Juliana *et al.*, 2020). Model Caurie memiliki persamaan linier yang sederhana dan biasanya hanya berhimpit dengan data percobaan pada rentang a_w tertentu. Sedangkan model Chen-Clayton menggunakan persamaan logaritma yang mampu menggambarkan kurva ISA pada seluruh kisaran a_w . Model ini dipengaruhi oleh variasi suhu atau kelembaban selama penyimpanan (Syska *et al.*, 2023). Masing-masing model menunjukkan nilai MRD yang berbeda-beda. Nilai MRD yang diperoleh dari setiap persamaan kurva ISA menunjukkan bahwa model Chen-Clayton paling sesuai untuk menggambarkan kurva ISA susu kambing etawa bubuk karena nilai MRD yang diperoleh lebih kecil dibandingkan dengan model lainnya yaitu 4,97 %. Kurva ISA didapatkan berdasarkan data penentuan kadar air kesetimbangan sampel yang digambarkan pada setiap nilai a_w dapat dilihat pada Gambar 1.

Hasil regresi linier kurva ISA menghasilkan persamaan garis $y = 0,4856x + 0,1129$ serta nilai R^2 sebesar 0,9901 dan *slope* yang diperoleh 0,4856. Gambar 1 menunjukkan hubungan linier antara sumbu x (a_w) dan sumbu y (M_e Chen-Clayton), di mana 0,4856 adalah kemiringan garis kurva (*slope*) dan 0,1129 menunjukkan *intercept* kurva tersebut. Sementara itu, nilai koefisien determinasi (R^2) menunjukkan bahwa 99,01% variasi data dapat digambarkan oleh model regresi

ini, yang mana model tersebut baik dalam menggambarkan hubungan antara kedua variabel nilai aw dan Me Chen-Clayton. Kemiringan (*slope*) yang diperoleh penting dalam mencerminkan sensitivitas perubahan kadar air terhadap perubahan aw para produk susu kambing etawa bubuk. Nilai R^2 yang mendekati nilai 1 di mana semakin mendekati nilai 1 semakin mendeskripsikan data tersebut tepat untuk digunakan. Kurva ISA dapat membantu dalam mengetahui penyimpanan produk pada RH yang tepat agar standar kualitas produk pangan tetap terjaga (Kurniawan *et al.*, 2021).



Gambar 1. Penentuan slope kurva ISA model Chen-Clayton

3.5.Kadar lemak

Lemak susu merupakan senyawa kimia yang bisa larut pada pelarut organik, namun tidak larut dalam air (Rokhayati *et al.*, 2022). Kadar lemak dalam penelitian ini ditentukan pada saat awal (kadar lemak awal) dan setelah disimpan pada RH tinggi selama 5 hari (kadar lemak kritis). Kadar lemak awal menunjukkan kandungan lemak dalam susu sebelum mengalami perubahan akibat penyimpanan atau perlakuan lainnya. Nilai kadar lemak susu kambing etawa bubuk dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian kadar lemak susu kambing etawa bubuk

No	Susu kambing etawa bubuk	Kadar Lemak (%)			Rata-rata (%)	STDv
		Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3		
1.	Kadar lemak awal	8,61	8,70	8,72	8,68	0,059
2.	Kadar lemak kritis	7,61	7,62	7,59	7,61	0,016

Tabel 4 menunjukkan bahwa kadar lemak awal susu kambing etawa bubuk yaitu 8,68% sedangkan kadar lemak kritis sebesar 7,61%. Penelitian ini menunjukkan bahwa nilai kadar lemak awal lebih tinggi daripada kadar lemak kritis. Hal tersebut dikarenakan selama penyimpanan terjadi peningkatan kadar air, sehingga proporsi lemaknya menjadi turun. Kadar lemak yang tinggi membuat susu kambing etawa kaya akan trigliserida dan asam lemak yang mudah mengalami oksidasi. Oksidasi lemak ini yang menjadi salah satu penyebab penurunan mutu dan umur simpan susu karena menghasilkan senyawa yang menimbulkan bau tengik (Maryana *et al.*, 2024). Menurut Yulaikah *et al.* (2016), bahwa lama penyimpanan dapat menyebabkan pengurangan kadar

lemak akibat terjadinya oksidasi susu. Susu kambing etawa bubuk memiliki kandungan lemak yang rendah yang diduga karena kurangnya pakan hijauan, yang berperan sebagai faktor pembentuk lemak susu dan selama penyimpanan terjadinya penyerapan uap air yang menyebabkan terjadinya penurunan kadar lemak. Sesuai dengan SNI 2970:2015, kandungan lemak susu bubuk minimal 26% (Nirmagustina *et al.*, 2021).

3.6. Umur Simpan

Penelitian ini menggunakan susu kambing etawa bubuk yang diproduksi CV Etawa Agro Prima Yogyakarta yang dikemas dengan berat 250 gram/kemasan dengan ukuran kemasan $22 \times 11 \text{ cm}^2$. Sehingga diperoleh nilai bobot kering produk dalam kemasan sebesar 241 gram padatan dan luas kemasan $0,0242 \text{ m}^2$. Data perhitungan umur simpan bubuk susu kambing etawa bubuk dengan pendekatan kadar air kritis ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter perhitungan umur simpan susu kambing etawa bubuk

Parameter	Nilai	Satuan
Kadar air awal (M_0)	0,0179	g H_2O /g padatan
Kadar air kritis (M_c)	0,0427	g H_2O /g padatan
Kadar air kesetimbangan (M_e) pada RH:		
15%	0,194073352	g H_2O /g padatan
32%	0,268693528	g H_2O /g padatan
53%	0,354298606	g H_2O /g padatan
73%	0,457018064	g H_2O /g padatan
83%	0,533735996	g H_2O /g padatan
Permeabilitas uap air kemasan polietilen (k/x)	0,05	g H_2O /m ² .mmHg.hari
Luas kemasan (A)	0,0242	m ²
Bot kering produk dalam kemasan (W_s)	241	g padatan
Tekanan uap jenuh pada $T=27^\circ\text{C}$ (P_o)	26,739	mmHg
Nilai <i>slope</i> (b)	0,4856	

Berdasarkan variabel pendugaan umur simpan (Tabel 5) seperti nilai *slope*, M_e , luas kemasan, tekanan uap air jenuh, serta berat solid dalam kemasan, dapat ditentukan pendugaan umur simpan susu kambing etawa bubuk yang disimpan pada suhu 27°C dari berbagai RH penyimpanan. Berdasarkan tabel tekanan uap air jenuh di suhu 27°C tekanan uap jenuhnya adalah 26,739 mmHg. Kemasan yang dipakai ialah plastik PE dengan ketebalan 0,3 mm dengan permeabilitas uap air yang didapatkan dari rujukan sebesar 0,05 g H_2O /hari.m².mmHg (Apriliyanti *et al.*, 2020). Hasil pendugaan umur simpan dengan menggunakan model persamaan Chen-Clayton diperoleh $\ln(\ln(1/a_w)) = 1,966 + 6,832M_e$, yang menunjukkan jika umur simpan susu kambing etawa bubuk berkurang bersamaan dengan bertambahnya RH selama penyimpanan.

Hasil perhitungan umur simpan susu kambing etawa bubuk yang diperoleh dari kondisi RH 15%, 32%, 53%, 73%, 83% memiliki umur simpan secara berturut-turut sebagai berikut 548 hari (18,2 bulan), 376 hari (12 bulan), 277 hari (9,2 bulan), 210 hari (7 bulan), dan 178 hari (5,9 bulan). Terdapat beberapa penyebab yang bisa memengaruhi lama penyimpanan produk seperti kualitas

bahan pangan, model yang digunakan, suhu, RH, besar permeabilitas *packaging*, luas kemasan, dan berat kering produk (Juliana *et al.*, 2020). Hasil penelitian ini menunjukkan yakni RH sekitar berdampak terhadap lama penyimpanan. Karena jika RH tinggi, penyerapan uap air pada produk pangan lebih banyak dibandingkan pada RH yang rendah. Kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan produk lebih mudah rusak dibandingkan dengan kelembaban yang rendah. Semakin besar nilai *slope*, umur simpan produk pangan relatif lebih lama dan sebaliknya (Hidayah & Rahayu, 2024). Suhu kamar biasanya berkisar 25°C- 28°C yang dapat mempercepat pertumbuhan mikroba sehingga tidak disarankan untuk penyimpanan dengan jangka panjang. Hal tersebut berpengaruh terhadap kadar air dan penggumpalan, di mana semakin tinggi suhu dan semakin lama waktu penyimpanan maka kerusakan susu bubuk semakin cepat terjadi lingkungan (Setyani *et al.*, 2023). Oleh karena itu, menjaga suhu ruangan stabil penting untuk memperpanjang umur simpan susu kambing etawa bubuk.

4. Kesimpulan

Sampel susu kambing etawa bubuk dengan kadar air awal 1,79% atau 0,0179 g H₂O/g padatan dan kadar air kritis 4, 27% atau 0,0427 g H₂O/g padatan. Serta kadar lemak awal yang diperoleh sebesar 8,68% dan nilai kadar lemak kritis sebesar 7,61%. Susu kambing etawa bubuk yang dikemas menggunakan plastik polietilen (PE) yang disimpan pada ruangan dengan kelembaban 15%, 32%, 53%, 73%, 83% memiliki umur simpan secara berturut-turut sebagai berikut : 548 hari (18,2 bulan), 376 hari (12 bulan), 277 hari (9,2 bulan), 210 hari (7 bulan), dan 178 hari (5,9 bulan).

Singkatan yang Digunakan

ASLT	<i>accelerated shelf-life testing</i>
Kurva ISA	kurva isotermin sorpsi air
PE	polietilen
RH	<i>relative humidity</i>
MRD	<i>mean relative determination</i>
NaOH	natrium hidroksida
KCL	kalium klorida
NaCL	natrium klorida
MgCl ₂	magnesium klorida
K ₂ CO ₃	kalium karbonat

Pernyataan Ketersediaan Data

Data akan tersedia berdasarkan permintaan.

Kontribusi Para Penulis

Ajeng Wahyuningrat: konseptualisasi, persiapan, metodologi, penelitian, perolehan data, pengolahan data, penulisan draf awal. **Titisari Juwitaningtyas:** konseptualisasi, pengawasan, validasi kebenaran data.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Penulis menuliskan bahwa tidak mempunyai masalah kepentingan atau kepentingan bersaing.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada ibu Fitri, pemilik CV Etawa Agro Prima Yogyakarta, atas dukungan, kesempatan, dan kerja sama yang telah diberikan. Ucapan kasih juga disampaikan kepada seluruh staf CV Etawa Agro Prima atas bantuannya. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada ibu Ir. Titisari Juwitaningtyas S.T.P, M.Sc., selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, arahan, ilmu serta motivasi yang telah diberikan selama penyusunan jurnal ini.

Daftar Pustaka

- Adidharma, Y. S. (2018). *Kajian Perubahan Kadar Vitamin C Dan Nilai Bilangan Peroksida (Pov) Terkait Umur Simpan Susu Bubuk Tipe a Di Pt. Frisian Flag Indonesia* [Laporan Akhir]. Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang. http://repository.unika.ac.id/17524/1/15.II.0028_Yohanna.pdf
- Alfiyanti, N., Wulandari, N., & Adawiyah, D. R. (2019). Validasi Metode Pendugaan Umur Simpan Produk Pangan Renyah dengan Metode Kadar Air Kritis. *Jurnal Mutu Pangan : Indonesian Journal of Food Quality*, 6(1), 1–8. <https://doi.org/10.29244/jmpi.2019.6.1.1>
- Aprida, P. D., Suprayatmi, M., & Hutami, R. (2017). Pendugaan Umur Simpan Susu Bubuk Full Cream Yang Dikemas Dengan Aluminium Foil (AL7) atau Metalized Plastic (VM-PET12). *Jurnal Agroindustri Halal*, 3(2), 97–104. <https://core.ac.uk/download/pdf/228440666.pdf>
- Apriliyanti, M. W., Nurdihati, A., & Ardiyansyah, M. (2020). Pendugaan Umur Simpan Jelly Kelor Instan Dengan Metode Accelerated Shelf Life Test (Aslt) Model Pendekatan Kadar Air Kritis. *Journal of Food Technology and Agroindustry*, 2(2), 54–63. <https://doi.org/10.24929/jfta.v2i2.967>
- Arif, A. B. (2018). Metode Accelerated Shelf Life Test (Aslt) Dengan Pendekatan Arrhenius Dalam Pendugaan Umur Simpan Sari Buah Nanas, Pepaya Dan Cempedak. *Informatika Pertanian*, 25(2), 189. <https://doi.org/10.21082/ip.v25n2.2016.p189-198>
- Astuti, S., Setyani, S., Suharyono, S., & H, M. N. N. (2020). Pendugaan Umur Simpan Tepung Jamur Tiram Putih (*Pleurotus ostreatus*) Pada Kemasan Plastik Polietilen dengan Metode Akselerasi. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 19(2), 95. <https://doi.org/10.25181/jppt.v19i2.1405>
- Diah, H. T., & Taufiq, A. (2023). Pengaruh Expired Date Dan Tekstur Produk Terhadap Keputusan Pembelian Produk Di Pt. Lestari Alam Segar Kawasan Industri Medan (Kim) Ii Medan. *Journal Economic Management and Business*, 1(2), 176–186. <https://doi.org/10.46576/jfeb.v1i2.2838>
- Faridah, D. N., Yasni, S., Suswantinah, A., & Aryani, G. W. (2013). Pendugaan Umur Simpan Dengan Metode Accelerated Shelf-Life Testing pada Produk Bandrek Instan dan Sirup Buah Pala (*Myristica fragrans*). *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, 18(3), 144–153. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/JIPI/article/view/8390>
- Harris, H., & Fadli, D. M. (2014). Penentuan Umur Simpan (Shelf life) Pundang Seluang (*rasbora* sp) Yang Dikemas Menggunakan Kemasan Vakum dan Tanpa Vakum. *Jurnal Saintek Perikanan*, 9(2), 53–62. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/saintek/article/view/8122>
- Hartono, A. (2024). *Karakteristik Kurva Sorpsi Isotermis Pada Tepung Beras Organik* [Thesis]. https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/34162/2/G042211002_tesis_01-02-2024%201-2.pdf

- Herawati, H. (2008). Penentuan umur simpan pada produk pangan. *Jurnal Litbang Pertanian*, 27(4), 124130. https://tekpan.unimus.ac.id/wpcontent/uploads/2013/11/p3274082_penentua_n_umur_simpan-libre.pdf
- Hidayah, N., & Rahayu, E. (2024). Prediksi umur simpan tepung beras ketan berdasarkan isotermin sorpsi air dengan persamaan Guggenheim-Anderson-deBoer. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 18(4), 821–829. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v18i4.20164>
- Ikasari, D., Suryaningrum, T. D., Arti, I. M., & Supriyadi, S. (2017). Pendugaan Umur Simpan Kerupuk Ikan Lele Dumbo (*Clarias gariepinus*) Panggang dalam Kemasan Plastik Metalik dan Polipropilen. *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan*, 12(1), 55. <https://doi.org/10.15578/jpbkp.v12i1.342>
- Islami, I. F., & Rahmadi, S. N. (2022). Pengamatan Pengendalian Berat Susu Kambing Etawa Bubuk Di CV TSR Menggunakan Metode Control Chart Dan Diagram Fishbone. *Jurnal Teknologi Pangan Dan Agroindustri Perkebunan*, 2(1), 86–93. <https://doi.org/10.58466/lipida.v2i1.1424>
- Juliana, R., Hasbullah, R., & Mardjan, S. S. (2020). Models of Moisture Sorption Isotherm and The Estimation of Red Ginger Powder Shelf Life in Various Packaging Materials. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 8(1), 23–28. <https://doi.org/10.19028/jtep.08.1.23-28>
- Kridoyono, A., Hermanto, A., & Kusnanto, G. (2016). Desain media simpan untuk meningkatkan daya tahan susu bubuk. *Seminar Nasional APTIKOM (SEMNASTIKOM)*, 28–29. <https://core.ac.uk/download/pdf/480696863.pdf>
- Kurniawan, Y. R., Pakpahan, N., Purwanto, Y. A., Purwanti, N., & Budijanto, S. (2021). Stabilitas Beras Analog Berdasarkan Pola Kadar Air Kesetimbangan. *Jurnal Pangan*, 30(2), 87–98. <https://doi.org/10.33964/jp.v30i2.522>
- Kusnandar, F., Hermeinasari, A., & Adawiyah, D. R. (2016). Pendugaan umur simpan bumbu kuah bakso serbuk dengan metode akselerasi. *Jurnal Mutu Pangan*, 3(1), 10–17. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jmpi/article/view/27568/17656>
- Lutovska, M., Mitrevski, V., Pavkov, I., Babic, M., Mijakovski, V., Geramitcioski, T., & Stamenkovic, Z. (2017). Different methods of equilibrium moisture content determination. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 21(2), 91–96. <https://doi.org/10.5937/jpea17020911>
- Maryana, B., Sihite, M., & Triastanti, R. K. (2024). Kadar Lemak, Solid Non Fat, Total Padatan, dan density Susu Kambing Pasteurisasi dengan Penambahan Ekstrak Daun Ubi Jalar Ungu Pada waktu Penyimpanan yang Berbeda. *Jurnal Teknologi Hasil Peternakan*, 5(1), 1–12. <https://doi.org/10.24198/jthp.v5i1.47028>
- Miskiyah, N., Juniawati, N. F. N., & Yuanita, L. (2020). Mutu Starter Kering Yoghurt Probiotik Di Berbagai Suhu Selama Penyimpanan. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*, 17(1), 15. <https://doi.org/10.21082/jpasca.v17n1.2020.15-23>
- Nirmagustina, D. E., Khoirunnisa, A., Latifah, I. F., & Astuti, W. (2021). Karakteristik Fisik, Kimia, dan Sensoris Susu Kambing Bubuk dengan Penambahan Buah dengan Metode Penguapan. *Department of Animal Husbandry*, 10(March), 92–100. <https://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JIPT/article/view/5507/3811#page=11>
- Nuraini, V., & Widanti, Y. A. (2020). Pendugaan Umur Simpan Makanan Tradisional Berbahan Dasar Beras Dengan Metode Accelerated Shelf-Life Testing (Aslt) Melalui Pendekatan Arrhenius Dan Kadar Air Kritis. *Jurnal Agroteknologi*, 14(02), 189. <https://doi.org/10.19184/j-agt.v14i02.20337>
- Permadi, A., Afifah, R. A., Latifa, D., Hidayah, N., Salampessy, R. B. S., Handoko, Y. P., & Maulani, A. (2022). Pendugaan Umur Simpan Kerupuk Ikan Salem dengan Kemasan Plastik Polipropilen dan Plastik Metalized di Poklhasar Mina Sejahteran, Tangerang. *Jurnal IPTEK Terapan Perikanan Dan Kelautan*, 3(2), 93–107. <http://dx.doi.org/10.15578/plgc.v3i2.11066> <https://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/pelagicus/article/view/11066>

- Prasasti, E. Y., Prabowo, S., Rachmawati, M., & Andriyani, Y. (2023). Sifat Fisik Dan Sensoris Bubuk Asam Jawa Yang Diproduksi Menggunakan Bahan Pengisi Pati Singkong Gajah Dengan Metode Foam-Mat Drying. *Jurnal Pengolahan Pangan*, 8(1), 15–24. <https://doi.org/10.31970/pangan.v8i1.95>
- Purbasari, D. (2019). Aplikasi Metode Foam-Mat Drying Dalam Pembuatan Bubuk Susu Kedelai Instan. *Jurnal Agroteknologi*, 13(01), 52. <https://doi.org/10.19184/j-agt.v13i01.9253>
- Puspita, C. R., Rangga, A., & Sartika, D. (2021). *Kajian Lama Simpan Keripik Pisang Kepok Putih (Musa Acuminata Sp.) Berdasarkan Tingkat Aroma, Rasa Dan Kerenyahan Organoleptik Dalam Berbagai Jenis Kemasan Dengan Model Pendekatan Arrhenius*. 1(51632001), 11–12. <http://repository.lppm.unila.ac.id/1896/1/JURNAL%20DEWI%20SARTIKA%20%282%29.pdf>
- Putri, R. D., & Yuniastri, R. (2019). Pendugaan Umur Simpan Menggunakan Metode Accelerated Shelf Life Test (Aslt) Model Arrhenius Pada Jamu “Sari Rapet Super.” *Journal of Food Technology and Agroindustry*, 1(2), 37–42. <https://doi.org/10.24929/jfta.v1i2.781>
- Rahman, T., Sulaiman, N. F., Turmala, E., Andriansyah, R. C. E., Luthfiyanti, R., & Triyono, A. (2019). Shelflife prediction of biscuits prepared from modified suweg (*Amorphophallus campanulatus* B) flour using Arrhenius model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 251(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/251/1/012035>
- Ramanda, M. R., Nasution, S., Rahmadi, I., & Munawaroh, N. L. (2023). Penentuan umur simpan keripik buah dengan metode accelerated shelf life test model kadar air kritis. *Teknologi Pangan : Media Informasi Dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian*, 14(2), 246–259. <https://doi.org/10.35891/tp.v14i2.3788>
- Rokhayati, U. A., Gubali, S. I., & Dako, S. (2022). Uji kadar lemak dan protein air susu kambing etawa dengan pemeliharaan secara tradisional. *Gorontalo Journal of Equatorial Animals*, 1(2), 66–72. <https://ejurnal.ung.ac.id/index.php/gijea>
- Setyani, Z. C., Widyaningsih, T. D., & Ali, D. Y. (2023). Pengaruh Suhu dan Lama Penyimpanan terhadap Karakteristik Fisik dan Kimia Susu Bubuk Edamame. *Jurnal Teknologi Pangan*, 16(2). <https://doi.org/10.33005/jtp.v16i2.3472>
- Sunyoto, M. (2018). Pendugaan Umur Simpan Kerupuk Ikan Dalam Berbagai Jenis Kemasan Dengan Metode Akselerasi Melalui Pendekatan Kadar Air Kritis. *Jurnal Penelitian Pangan (Indonesian Journal of Food Research)*, 2(1). <https://doi.org/10.24198/jp2.2017.vol2.1.08>
- Swastika, A. D., & Juwitaningtyas, T. (2024). Pendugaan Umur Simpan Tepung Salak (*Salacca zalacca*) Menggunakan Metode Accelerated Shelf Life Test (ASLT) Pendekatan Kadar Air Kritis. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 12(1), 46–54. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2024.012.01.05>
- Syafira, Supardianningsih, & Nugraha, M. (2018). Identification of Water Vapour Transmission Rate (WVTR) of Aluminum Foil Packaging Barrier using The Gravimetric Testing Method. *Jurnal Publipreneur: Politeknik Negeri Media Kreatif*, 10(2), 244–245. <https://doi.org/10.46961/jip.v6i1.80>
- Syska, K., Nuroniah, N. S., & Ropiudin, R. (2023). Pendugaan Umur Simpan Gula Kelapa Kristal dalam Kemasan Vakum menggunakan Metode Accelerated Shelf Life Test (ASLT) Model Arrhenius. *Rona Teknik Pertanian*, 16(1), 69–80. <https://doi.org/10.17969/rtp.v16i1.31499>
- Yulaikah, S., Primiani, C. N., & Hidayati, N. R. (2016). Pengaruh Suhu Dan Lama Penyimpanan Terhadap Kadar Lemak Susu Sapi Murni. *Isu-Isu Kontemporer Sains, Lingkungan, Dan Inovasi Pembelajarannya*, 1(1), 136–141. <https://proceedings.ums.ac.id/index.php/snpbs/article/view/389>