

**PENDUGAAN UMUR SIMPAN PRODUK PEPES IKAN
BANDENG (*Chanos chanos*) DALAM KALENG
MENGUNAKAN METODE ASLT MODEL ARRHENIUS**

TUGAS AKHIR

**Karya tulis sebagai salah satu syarat untuk
memperoleh gelar Sarjana Teknik dari
Universitas Pasundan**

**Oleh:
Fakhriza Saukan Asshidique
223020079**



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2026**

ABSTRAK

PENDUGAAN UMUR SIMPAN PRODUK PEPES IKAN BANDENG (*Chanos chanos*) DALAM KALENG MENGUNAKAN METODE ASLT MODEL ARRHENIUS

Oleh
Fakhriza Saukan Asshidiqie
NPM: 223020079
(Program Studi Teknologi Pangan)

Pengemasan pepes ikan bandeng duri lunak dalam kaleng merupakan salah satu upaya memperluas jangkauan distribusi kuliner tradisional Indonesia ke pasar internasional. Untuk memenuhi standar mutu komersialisasi, perlu dilakukan pendugaan umur simpan pada produk tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menduga umur simpan pepes bandeng duri lunak kaleng menggunakan metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) model *Arrhenius* berdasarkan parameter nilai *Thiobarbituric Acid* (TBA), nilai pH, dan daya ikat air (DIA). Pengujian umur simpan dilakukan selama 28 hari pada suhu akselerasi 30°C, 40°C, dan 50°C. Analisis parameter pH menggunakan kinetika reaksi ordo 0, sedangkan parameter DIA menggunakan kinetika reaksi ordo 1. Umur simpan produk ditentukan berdasarkan nilai energi aktivasi terkecil di antara kedua parameter kerusakan tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berdasarkan parameter daya ikat air, umur simpan pepes bandeng kaleng pada suhu penyimpanan 30°C adalah 377 hari, pada suhu 40°C adalah 166 hari, dan pada suhu 50°C adalah 77 hari.

Kata kunci: pepes ikan bandeng duri lunak, kaleng, umur simpan, ASLT, *Arrhenius*.

ABSTRACT

SHELF LIFE ESTIMATION OF CANNED MILKFISH (*Chanos chanos*) PEPES USING THE ASLT METHOD WITH THE ARRHENIUS MODEL

By

Fakhriza Saukan Asshidiqie

NPM: 223020079

(Department of Food Technology)

Packaging boneless milkfish pepes in cans is an effort to expand the distribution network of Indonesian traditional culinary arts into the international market. To meet commercialization quality standards, it is essential to estimate the shelf life of the product. This study aims to predict the shelf life of canned boneless milkfish pepes using the Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) method with the Arrhenius model, based on parameters of Thiobarbituric Acid (TBA) value, pH value, and water holding capacity (WHC). The study was conducted for 28 days at accelerated temperatures of 30°C, 40°C, and 50°C. The analysis of the pH parameter utilized zero-order reaction kinetics, while the WHC parameter utilized first-order reaction kinetics. The product's shelf life was determined based on the lowest activation energy value between the two degradation parameters. The results showed that based on the water holding capacity parameter, the shelf life of the canned milkfish pepes at storage temperatures of 30°C, 40°C, and 50°C was 377 days, 166 days, and 77 days, respectively.

Keywords: *boneless milkfish pepes, can, shelf life, ASLT, Arrhenius.*

**PENDUGAAN UMUR SIMPAN PRODUK PEPES IKAN
BANDENG (*Chanos chanos*) DALAM KALENG
MENGUNAKAN METODE ASLT MODEL ARRHENIUS**

Oleh
Fakhriza Saukan Asshidiqie
NPM: 223020079
(Program Studi Teknologi Pangan)

Fakultas Teknik
Universitas Pasundan

Menyetujui
Tanggal.....*12 Agustus 2026*

Pembimbing Akademik

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jaka Rukmana', with a long horizontal stroke extending to the right.

(Jaka Rukmana, S.T., M.T.)

**PENDUGAAN UMUR SIMPAN PRODUK PEPES IKAN
BANDENG (*Chanos chanos*) DALAM KALENG
MENGUNAKAN METODE ASLT MODEL ARRHENIUS**

Oleh
Fakhriza Saukan Asshidiqie
NPM: 223020079
(Program Studi Teknologi Pangan)

Fakultas Teknik
Universitas Pasundan

Menyetujui

Tanggal.....13-08-2026.....

Koordinator Belmawabud
(Pembelajaran, Kemahasiswaan, Alumni, Agama, dan Budaya)



(Rizal Maulana Ghaffar, S.T., M.T.)

PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Fakultas dan Universitas, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Universitas Pasundan. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kaidah ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Sitasi hasil penelitian Tugas Akhir ini dapat ditulis dalam Bahasa Indonesia sebagai berikut:

Asshidiqie, F. S. (2026). *Pendugaan Umur Simpan Produk Pepes Ikan Bandeng (Chanos chanos) dalam Kaleng Menggunakan Metode ASLT Model Arrhenius*. Tugas Akhir Program Sarjana, Universitas Pasundan.

Dan dalam Bahasa Inggris sebagai berikut:

Asshidiqie, F. S. (2026). *Shelf Life Estimation of Canned Milkfish (Chanos chanos) Pepes Using The ASLT Method With The Arrhenius Model*. Bachelor's Thesis, Universitas Pasundan.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh tugas akhir haruslah seizin Dekan Fakultas Teknik Universitas Pasundan.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah *Subhanallahu Wata'ala* yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya dan rasa sayang serta terima kasih saya kepada Ayah saya Reza Isfan dan Ibu saya Diah Handaryati serta ustad dan ustadah penulis yang senantiasa mendukung, mendorong, serta mendoakan penulis agar tidak pernah menyerah dan terus maju sehingga penulis berhasil menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul **“PENDUGAAN UMUR SIMPAN PRODUK PEPES IKAN BANDENG (*Chanos chanos*) DALAM KALENG MENGGUNAKAN METODE ASLT MODEL ARRHENIUS”**.

Penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan atas bantuan berupa bimbingan, dukungan, doa, serta bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Jaka Rukmana, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi sekaligus dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dorongan, serta motivasi kepada penulis.
2. Rini Triani, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji 1 yang telah bersedia untuk menguji dan memberikan saran serta masukan dalam penulisan tugas akhir.
3. Dr. Ira Endah Rohima, S.T., M.Si. selaku dosen penguji 2 yang telah bersedia untuk menguji dan memberikan saran serta masukan dalam penulisan tugas akhir.
4. Rizal Maulana Ghaffar, S.T., M.T. selaku Koordinator Belmawabud Program Studi Teknologi Pangan Universitas Pasundan.
5. Seluruh dosen, staf, dan karyawan di Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Teknik Universitas Pasundan.
6. Nazwa Ismi Nasyita, Bassam Shauqi Maskati, dan Fadlan Mohamad Gibran yang telah menjadi rekan seperjuangan.
7. Rekan-rekan Asisten Laboratorium Kimia Analitik khususnya kepada Hani Uswatun dan Indah Wulandari yang saling memberikan *support* satu sama lain.

8. Rekan-rekan Asisten Laboratorium Teknologi Pengolahan Pangan 2025/2026, Aura Fhalica, Citra Fiqih, Salwa Afiyah, Jidan Alfarizi, Hilal Fatahillah, Safana Gustiani, dan Vita Maura yang telah mengisi hari-hari saat penulisan tugas akhir dengan bekerja dan canda tawa.
9. Teman-teman penulis yang telah menemani dan berjuang bersama sejak awal perkuliahan khususnya teman-teman yang masih bertahan hingga saat ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan memiliki berbagai kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bermanfaat agar dapat dijadikan pembelajaran bagi penulis kedepannya. Semoga Allah *Subhanahu Wata'ala* senantiasa memberikan hidayah, perlindungan, berkah, dan ridho-Nya kepada kita semua. *Aamiin*.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I. PENDAHULUAN	13
1.1 Latar Belakang	13
1.2 Identifikasi Masalah	15
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian	15
1.4 Manfaat Penelitian	16
1.5 Kerangka Pemikiran	16
1.6 Hipotesis Penelitian	17
1.7 Tempat dan Waktu Penelitian	18
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	19
2.1 Ikan Bandeng (<i>Chanos chanos</i>)	19
2.1.1 Komposisi	19
2.2 Pepes Ikan	20
2.2.1 Referensi Syarat Mutu Olahan Ikan dalam Kemasan Kaleng	21
2.2.1.1 SNI 01-3548-1994	21
2.2.1.2. SNI 9193:2023	22
2.3 Sterilisasi Komersial dan Teknologi Pengalengan	23
2.3.1 Sterilisasi Komersial	23
2.3.2 Teknologi Pengalengan	24
2.4 Umur Simpan	26
2.4.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Umur Simpan	27
2.5 Kinetika Reaksi	27
2.5.1 Ordo Reaksi	28
2.5.2 Persamaan <i>Arrhenius</i> dalam Metode ASLT	29
2.6 Parameter Perubahan Mutu	30
2.6.1 Mekanisme Autooksidasi	30
2.6.2 Malonaldehid (MDA) dan Uji TBA	31
2.6.3 Perubahan pH	32
2.6.4 Daya Ikat Air (DIA)	32
BAB III. METODE PENELITIAN	34
3.1 Bahan dan Alat Penelitian	34
3.1.1 Bahan Penelitian	34

3.1.2 Alat Penelitian	34
3.2 Metode Penelitian	34
3.2.1 Rancangan Penelitian	35
3.2.1.1 Pendugaan Umur Simpan	35
3.2.2 Rancangan Respon	37
3.2.2.1 Respon Kimia	37
3.2.2.2 Respon Fisik	37
3.2.3 Rancangan Analisis	37
3.2.3.1 Pendugaan Umur Simpan	37
3.3 Prosedur Penelitian	39
3.3.1 Penelitian Pendahuluan	40
3.3.2 Penelitian Utama	41
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Hasil Penelitian Pendahuluan	43
4.2 Penelitian Utama	44
4.2.1 Hasil Pengamatan Suhu Penyimpanan 30°C	44
4.2.2 Hasil Pengamatan Suhu Penyimpanan 40°C	45
4.2.3 Hasil Pengamatan Suhu Penyimpanan 50°C	46
4.3 Pembahasan dan Pendugaan Umur Simpan	46
4.3.1 Nilai TBA	46
4.3.2 Nilai pH	48
4.3.2.1 Pemilihan Ordo Reaksi Parameter Nilai pH	50
4.3.2.2 Perhitungan Umur Simpan Parameter Nilai pH	52
4.3.3 Daya Ikatan Air (DIA)	54
4.3.3.1 Pemilihan Ordo Reaksi Parameter Daya Ikatan Air	55
4.3.3.2 Perhitungan Umur Simpan Parameter Daya Ikatan Air	57
4.4. Penentuan Umur Simpan	59
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	67

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Syarat Mutu dan Keamanan Sardin Media Saus Tomat dalam Kaleng	21
Tabel 2. Syarat Mutu dan Keamanan Bandeng dalam Kemasan Kaleng	22
Tabel 3. Skema Analisis Produk Pepes Ikan Bandeng Kaleng Selama Penyimpanan Pada Suhu 30°C	36
Tabel 4. Skema Analisis Produk Pepes Ikan Bandeng Kaleng Selama Penyimpanan Pada Suhu 40°C	36
Tabel 5. Skema Analisis Produk Pepes Ikan Bandeng Kaleng Selama Penyimpanan Pada Suhu 50°C	37
Tabel 6. Hasil Pengujian Nilai TBA untuk Penentuan Titik Kritis	43
Tabel 7. Hasil Pengamatan Penurunan Mutu Tiap Parameter Pada Suhu Penyimpanan 30°C	45
Tabel 8. Hasil Pengamatan Penurunan Mutu Tiap Parameter Pada Suhu Penyimpanan 40°C	45
Tabel 9. Hasil Pengamatan Penurunan Mutu Tiap Parameter Pada Suhu Penyimpanan 50°C	46
Tabel 10. Hasil Penentuan Orde Reaksi Nilai pH	51
Tabel 11. Hubungan $1/T$ (K) dengan $\ln(k)$ Nilai pH Pada Ordo 0	52
Tabel 12. Nilai E_a , k_0 , k , dan Umur Simpan Pepes Ikan Bandeng Kaleng Parameter pH.	53
Tabel 13. Hasil penentuan Ordo Reaksi Daya Ikat Air	57
Tabel 14. Hubungan $1/T$ (K) terhadap $\ln(k)$ Daya Ikat Air	58
Tabel 15. Nilai E_a , k_0 , k , dan Umur Simpan Pepes Ikan Bandeng Kaleng Parameter Daya Ikat Air.	59
Tabel 16. Data Umur Simpan dan E_a Setiap Parameter	59

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Ikan Bandeng (<i>Chanos chanos</i>)	19
Gambar 2. Ilustrasi Pepes Ikan Bandeng	20
Gambar 3. Perubahan nilai k terhadap perubahan suhu (T)	29
Gambar 4. Hubungan antara nilai k terhadap suhu (T)	30
Gambar 5. Reaksi Autooksidasi Lemak	31
Gambar 6. Prosedur Penelitian Pendahuluan Proses Pengalengan Sampel	40
Gambar 7. Prosedur Penelitian Pendahuluan Penentuan Titik Kritis	41
Gambar 8. Prosedur Penelitian Pendugaan Umur Simpan Pepes Ikan Bandeng Kaleng dengan Metode ASLT	42
Gambar 9. Grafik Ordo 0 Nilai pH	50
Gambar 10. Grafik Ordo 1 Nilai pH	50
Gambar 11. Grafik Hubungan $1/T$ (K) dengan $\ln(k)$ Nilai pH	52
Gambar 12. Grafik Ordo 0 Daya Ikat Air	55
Gambar 13. Grafik Ordo 1 Daya Ikat Air	56
Gambar 14. Grafik Hubungan $1/T$ (K) dengan $\ln(k)$ Daya Ikat Air	58

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Prosedur Analisis Nilai TBA Metode AOCS method cd 19-90 (Andarwulan <i>et al.</i> , 2011)	67
Lampiran 2. Prosedur Analisis Daya Ikat Air Metode Sentrifugasi (Muchtadi <i>et al.</i> , 2019)	69
Lampiran 3. Prosedur Analisis Penentuan pH (SNI 01-2891-1992)	70
Lampiran 4. Hasil Perhitungan Penelitian Pendahuluan Nilai TBA	71
Lampiran 5. Hasil Perhitungan Analisis Parameter Nilai TBA	72
Lampiran 6. Hasil Perhitungan Analisis Parameter pH	74
Lampiran 7. Hasil Perhitungan Analisis Parameter Daya Ikat Air	77
Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian	81

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan mengenai : (1.1) Latar Belakang Penelitian, (1.2) Identifikasi Masalah, (1.3) Tujuan Penelitian, (1.4) Manfaat Penelitian, (1.5) Kerangka Pemikiran, (1.6) Hipotesis Penelitian, dan (1.7) Waktu dan Tempat Penelitian.

1.1 Latar Belakang

Produk olahan kaleng telah lama dikenal memiliki umur simpan yang sangat panjang. Hal ini membuat produk olahan kaleng menjadi opsi pangan praktis yang aman dan tahan lama. Produk perikanan sering dijadikan opsi sebagai produk olahan dalam kaleng. Proses pengalengan (*canning*) dapat memperpanjang umur simpan produk perikanan sekaligus mempertahankan kualitas nutrisi di dalamnya (Bratt, 2013). Oleh karena itu, ikan dalam kaleng semakin dianggap sebagai metode pengawetan pangan yang berkelanjutan dibanding penyimpanan beku.

Permintaan global terhadap makanan siap saji yang praktis dan tahan lama terus meningkat. Penjualan produk ikan dalam kaleng dunia melonjak dari 2,3 miliar USD pada tahun 2018 menjadi 2,7 miliar USD pada tahun 2024, dan pasar *seafood* kaleng diproyeksikan mencapai 63,64 miliar USD pada tahun 2032 (Leasca, 2025). Hal ini juga dipicu oleh kesadaran bahwa produk pangan kalengan mampu mendukung pemenuhan kebutuhan gizi masyarakat di daerah terpencil, karena memiliki daya simpan yang panjang serta kandungan nutrisi yang tetap terjaga.

Untuk menjamin keamanan konsumen, penentuan umur simpan yang akurat menjadi sangat penting. Menurut *Europe Food Information Council* (EUFIC) (2013), umur simpan adalah periode waktu di mana suatu produk pangan tetap aman untuk dikonsumsi dan mempertahankan mutunya apabila disimpan sesuai dengan kondisi yang dianjurkan.

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki potensi besar di sektor perikanan, termasuk komoditas ikan bandeng (*Chanos chanos*). Ikan ini telah dibudidayakan secara luas di Indonesia, dengan luas tambak sekitar 600.000 ha dan produksi pada tahun 2014 mencapai 621.393 ton (Zamroni et al., 2015). Bandeng merupakan salah satu sumber protein hewani yang terjangkau serta menjadi komoditas unggulan di bidang perikanan. Selain dikonsumsi dalam bentuk segar atau digoreng, bandeng juga diolah menjadi berbagai produk bernilai tambah tinggi.

Salah satu olahan tradisional yang menonjol adalah pepes ikan bandeng, kuliner khas Nusantara yang kaya cita rasa. Produk ini dibuat menggunakan rempah-rempah khas dan dibungkus daun pisang, sehingga menghasilkan karakteristik rasa yang unik sekaligus mempertahankan kandungan gizinya. Dalam konteks pelestarian kuliner, pepes bandeng juga memiliki nilai ekonomi yang tinggi serta prospek pengembangan yang luas (Hidayat et al., 2025)

Inovasi pengolahan pepes bandeng dalam kemasan kaleng menjadi peluang strategis untuk memperluas jangkauan pasar dan distribusi, baik di tingkat nasional maupun internasional. Penggunaan kemasan kaleng tidak hanya meningkatkan kepraktisan, tetapi juga memperpanjang umur simpan produk, sehingga memungkinkan distribusi ke wilayah yang lebih luas dan turut mendukung upaya ketahanan pangan di Indonesia.

Saat ini, ketersediaan data terkait umur simpan pepes ikan bandeng dalam kemasan kaleng masih sangat terbatas. Penentuan umur simpan dengan metode konvensional melalui penyimpanan pada suhu ruang dan pengamatan berkala cenderung memerlukan waktu lama dan kurang efisien. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) digunakan sebagai pendekatan alternatif dengan cara menyimpan sampel pada suhu yang lebih tinggi guna mempercepat laju penurunan mutu (Hariyadi, 2019). Metode ini memanfaatkan model Arrhenius untuk menggambarkan hubungan antara laju reaksi kerusakan dengan suhu penyimpanan (Surahman et al., 2020). Melalui ASLT, estimasi umur simpan dapat diperoleh dalam waktu yang jauh lebih singkat.

Hingga saat ini, penelitian yang secara khusus mengkaji umur simpan pepes ikan bandeng dalam kemasan kaleng menggunakan metode ASLT berbasis model *Arrhenius* masih belum tersedia. Kekosongan ini menimbulkan tantangan dalam memastikan keamanan, kualitas, dan daya saing produk di pasar, sehingga penelitian ini menjadi krusial untuk mengisi celah pengetahuan tersebut dan memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan industri pangan berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan umur simpan produk pepes ikan bandeng (*Chanos chanos*) dalam kemasan kaleng menggunakan metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) berbasis model *Arrhenius*. Model *Arrhenius* umum digunakan dalam studi umur simpan untuk mengestimasi laju degradasi mutu berdasarkan data hasil penyimpanan pada suhu tinggi tersebut. Dengan pendekatan ini, umur simpan produk pada berbagai kondisi suhu dapat diprediksi secara lebih cepat dan efisien (Syah, 2012).

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi industri pengolahan pangan, khususnya sektor produk ikan kaleng, dalam menetapkan tanggal kedaluwarsa yang lebih akurat pada produk pepes ikan bandeng. Selain itu, penerapan metode ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi dalam penentuan umur simpan tanpa mengurangi aspek keamanan dan mutu pangan.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, pokok permasalahan dalam penelitian ini yaitu bagaimana perkiraan umur simpan produk pepes ikan bandeng kaleng yang diduga menggunakan metode ASLT model *Arrhenius*?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini yaitu untuk melakukan pendugaan umur simpan pepes ikan bandeng kaleng menggunakan metode ASLT model *Arrhenius* berdasarkan perubahan parameter mutu selama penyimpanan pada berbagai suhu.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menentukan umur simpan pepes ikan bandeng kaleng pada berbagai suhu penyimpanan berdasarkan hasil prediksi dari model *Arrhenius*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah dalam menentukan umur simpan pada produk pepes ikan bandeng kaleng yang akan bermanfaat bagi konsumen dan produsen dalam upaya peningkatan kualitas produk makanan tradisional Indonesia.

1.5 Kerangka Pemikiran

Lemak pada ikan bandeng merupakan sumber asam lemak tak jenuh, nilai gizi ikan bandeng segar (%) yaitu omega-3 sebesar 19,56; omega-6 sebesar 7,47; dan omega-9 sebesar 19,24 (Rosari *et al.*, 2014). Omega-3, omega-6, dan omega-9 adalah asam lemak tak jenuh yang mudah mengalami proses oksidasi lemak apabila dilakukan proses pengolahan dengan suhu tinggi (Setyastuti *et al.*, 2022). Jika asam lemak tersebut teroksidasi maka terbentuk senyawa hidroperoksida yang terurai menjadi senyawa aldehid, keton, dan alkohol sehingga menimbulkan ketengikan. Lemak yang tengik tersebut mengandung senyawa aldehid dan kebanyakan malonaldehid (Fauzi *et al.*, 2016).

Malonaldehid atau Malondialdehid (MDA) merupakan salah satu senyawa aldehida utama yang terbentuk selama tahap oksidasi lipid sekunder dari asam lemak tak jenuh ganda. Dalam konsentrasi rendah, MDA sudah dapat memberikan kontribusi terhadap terbentuknya bau tengik, sehingga sering dijadikan parameter mutu (Domínguez *et al.*, 2019).

Riyanto *et al.* (2012) mengutip dari Connell (1990) menyatakan bahwa nilai TBA pada bahan pangan yang berada pada kondisi mutu terbaik umumnya harus lebih rendah dari 3 mg/kg. Selain itu, Ayu *et al.* (2022) menggunakan batas maksimal nilai TBA dari SNI 01-2352-1991 yaitu 3 mg/kg untuk menentukan umur simpan produk ikan patin salai.

Melinda *et al.* (2023) menjelaskan bahwa kapasitas daya ikat air (DIA) pada daging sangat dipengaruhi oleh kandungan proteinnya; semakin tinggi protein, semakin efektif air ditahan dalam struktur daging sehingga meminimalkan air bebas. Penurunan DIA ditandai oleh besarnya volume cairan yang terlepas (*drip loss*). Kondisi ini berdampak negatif terhadap kualitas fisik dan kimia daging, meliputi penyusutan bobot, penurunan cita rasa, dan berkurangnya kandungan nutrisi. Mengutip dari Soeparno (2009) kisaran minimal daya ikat air yang normal berada pada angka 20%.

Shah *et al.* (2017) dalam penelitiannya dengan produk *retort pouch* yang telah melalui proses sterilisasi tetap dapat mengalami penurunan pH seiring dengan lama penyimpanan. Hal ini dapat terjadi disebabkan oleh degradasi protein dan pelepasan asam amino bebas. Selain itu, penurunan ini juga dapat terjadi akibat oksidasi lipid yang dipicu oleh sisa oksigen dalam kemasan serta produk samping degradasi karbohidrat dan glukosa.

Laju suatu reaksi sangat dipengaruhi oleh suhu (Hariyadi, 2019). Peningkatan suhu menyebabkan molekul bergerak lebih cepat sehingga frekuensi dan energi tumbukan antarmolekul meningkat. Kondisi ini meningkatkan kemungkinan molekul mencapai energi aktivasi yang diperlukan untuk terjadinya reaksi, sehingga laju reaksi kimia menjadi lebih cepat (Lower, 2016). Model *Arrhenius* sering dipakai untuk menyatakan pengaruh suhu terhadap laju kerusakan (Surahman *et al.*, 2020).

Pengalengan dapat menjaga produk dari pengaruh eksternal karena bersifat hermetik atau kedap udara. Sterilisasi dilakukan setelah produk ditutup rapat di dalam kaleng lalu dipanaskan pada suhu 121°C sehingga dapat menghilangkan hampir seluruh mikroorganisme perusak. Karena hal tersebut, mutu produk dapat dipertahankan jauh lebih lama jika disimpan pada suhu ruang (Kusumaningrum *et al.*, 2021).

1.6 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kerangka pemikiran yang telah dijabarkan, lama umur simpan produk pepes ikan bandeng dalam kemasan kaleng dapat diperkirakan

menggunakan metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) dengan model *Arrhenius* berdasarkan perubahan parameter mutu pada berbagai suhu penyimpanan.

1.7 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Penelitian Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Teknik Universitas Pasundan, Jl. Dr. Setiabudhi No. 193 Bandung, dilakukan pada bulan Mei tahun 2026 sampai dengan bulan Juni tahun 2026.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan mengenai: (2.1) Ikan Bandeng (*Chanos chanos*), (2.2) Pepes Ikan, (2.3) Sterilisasi Komersial dan Teknologi Pangan, (2.4) Umur simpan, (2.5) Kinetika Reaksi, dan (2.6) Parameter Perubahan Mutu.

2.1 Ikan Bandeng (*Chanos chanos*)

2.1.1 Komposisi

Secara umum, daging ikan bandeng (*Chanos chanos*) memiliki kadar air berkisar antara 70–74%. Kandungan protein kasar berada pada kisaran 20–24%, sehingga menjadikan ikan bandeng sebagai sumber protein hewani yang baik dengan komposisi asam amino yang relatif lengkap. Kadar lemak bandeng bervariasi, umumnya berkisar antara 2–5% atau lebih, tergantung pada kondisi fisiologis ikan. Kandungan abu sebagai representasi mineral berada pada kisaran 1,0–1,5% (Murthy *et al.*, 2016). Komposisi proksimat ikan bandeng tidak bersifat konstan dan dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal, seperti musim, jenis pakan, serta siklus reproduksi, sehingga nilai kandungan gizinya dapat bervariasi antar waktu dan lokasi (Hafiludin, 2015).



Gambar 1. Ikan Bandeng (*Chanos chanos*)

Lemak (lipid) merupakan komponen yang paling bervariasi dalam komposisi ikan bandeng. Secara spesifik, lemak bandeng didominasi oleh asam

lemak tak jenuh diikuti dengan asam lemak tak jenuh ganda (Murthy *et al.*, 2016). Keberadaan ikatan rangkap ganda pada struktur rantai karbon asam lemak menjadikan senyawa ini sangat rentan terhadap reaksi oksidasi akibat serangan radikal bebas oksigen, sehingga mudah mengalami kerusakan oksidatif (Secci & Parisi, 2016). Selain itu, kulit ikan bandeng juga mengandung deposit lemak subkutan yang relatif tinggi (sekitar 4,76%) serta kolagen yang rentan mengalami degenerasi dan hidrolisis selama proses penyimpanan dingin maupun pemanasan, yang dapat berkontribusi terhadap perubahan tekstur dan mutu produk (Perceka *et al.*, 2015).

2.2 Pepes Ikan

Pepes merupakan salah satu masakan tradisional Indonesia yang berasal dari tradisi kuliner masyarakat Sunda di Jawa Barat. Secara tradisional, pepes dibuat dengan teknik memasak bahan pangan, khususnya ikan, yang dibungkus menggunakan daun pisang kemudian dikukus dan/atau dibakar. Istilah “pepes” diduga berasal dari bahasa Sunda, yaitu “pepesan” atau “pais”, yang merujuk pada makanan yang dibungkus dan dimasak dengan cara pengukusan. Bahan-bahan yang biasa digunakan dalam membuat pepes meliputi bawang merah, bawang putih, cabai merah, kemiri, kunyit, jahe, serai, daun salam, daun kemangi, garam, gula, dan penyedap rasa (MSG).



Gambar 2. Ilustrasi Pepes Ikan Bandeng

2.2.1 Referensi Syarat Mutu Olahan Ikan dalam Kemasan Kaleng

2.2.1.1 SNI 01-3548-1994

Badan Standardisasi Nasional (BSN) menetapkan pada SNI 01-3548-1994 mengenai syarat mutu Sardin Media Saus Tomat dalam Kaleng sebagai berikut

Tabel 1. Syarat Mutu dan Keamanan Sardin Media Saus Tomat dalam Kaleng

No	Uraian	Satuan	Syarat Mutu
1	Keadaan kaleng		Dalam kondisi normal (sebelum dan sesudah dieram), tidak bocor, tidak kembung, tidak berkarat, permukaan dalam tidak bernoda, lipatan kaleng baik
2	Kehampaan	mm Hg	Min. 60
3	Keadaan isi		Sesuai dengan SNI 01-2345-1991, Metode pengujian organoleptik - Produk perikanan
4	Media		
4.1	Jenis		Saus tomat
4.2	Kepekatan	Bux	Min. 11
5	pH		4,6 - 6
6	Ruang kosong (<i>head space</i>)	%v/v	maks. 10
7	Bobot tuntas	%b/b	min. 70
8	Zat warna makanan tambahan		Sesuai dengan SNI 01-0222-1995, Bahan tambahan makanan

No	Uraian	Satuan	Syarat Mutu
9	Cemaran logam		
9.1	Cu	mg/kg	Maks. 20,0
9.2	Pb	mg/kg	Maks 2,0
9.3	Hg	mg/kg	Maks. 0,5
9.4	Zn	mg/kg	Maks. 100,0
9.5	Sn	mg/kg	Maks. 250,0
10	Cemaran AS	mg/kg	Maks. 1,0
11	Cemaran mikroba		
11.1	Bakteri aerob termofilik berbentuk spora	Koloni/gram	Maks. 10^2
11.2	Bakteri coliform	APM/gram	< 3
11.3	<i>Clostridium perfringens</i>		Negatif

2.2.1.2 SNI 9193:2023

Badan Standardisasi Nasional (BSN) menetapkan pada SNI 9193:2023 mengenai Bandeng dalam Kemasan Kaleng, syarat mutu dan keamanan mutu bandeng dalam kemasan kaleng adalah sebagai berikut

Tabel 2. Syarat Mutu dan Keamanan Bandeng dalam Kemasan Kaleng

Parameter Uji	Satuan	Persyaratan
a. Sensori	-	Minimum 7
b. Fisik - Bobot tuntas	%	Minimum 50
c. Cemaran Logam Berat - Kadmium (Cd) - Merkuri (Hg)	mg/kg mg/kg	Maksimum 0,3 Maksimum 0,5

- Timbal (Pb) - Arsen (As) - Timah Putih (Sn)	mg/kg mg/kg mg/kg	Maksimum 0,3 Maksimum 2,0 Maksimum 250
d. Cemar Fisik - <i>Filth</i>	potongan	0

2.3 Sterilisasi Komersial dan Teknologi Pengalengan

2.3.1 Sterilisasi Komersial

Sterilisasi komersial adalah proses pengawetan dengan cara pemanasan yang umum diterapkan pada makanan kalengan atau dalam botol. Proses pemanasan ini bukan hanya menonaktifkan mikroorganisme penyebab penyakit dan pembusukan, tetapi juga menjaga agar tekstur, warna, dan kandungan gizi produk tetap terpelihara (Faza *et al.*, 2024).

Produk ikan memiliki nilai pH di atas 4,5, sehingga mampu mendukung pertumbuhan mikroorganisme patogen. Patogen yang dianggap paling tahan panas adalah mikroorganisme pembentuk spora, yaitu *Clostridium botulinum*. Oleh karena itu, proses pemanasan (*thermal processing*) ditetapkan secara khusus untuk menjamin kehancuran mikroorganisme ini (Bratt, 2013).

Bratt (2013) menjelaskan secara matematis bahwa peluang bertahannya satu spora mikroorganisme patogen setelah proses sterilisasi termal dapat mencapai kurang dari satu dalam 10^{12} kemasan. Namun, selain mikroorganisme patogen, terdapat pula mikroorganisme pembentuk spora penyebab kerusakan (*spoilage*) yang dikenal sebagai mikroorganisme termofilik. Mikroorganisme ini umumnya memiliki suhu pertumbuhan optimum sekitar 55°C, sehingga aktivitas metabolismenya menjadi sangat rendah pada suhu penyimpanan yang lebih rendah. Oleh karena itu, pada produk kaleng yang ditujukan untuk penyimpanan dan distribusi pada suhu lingkungan normal, keberadaan mikroorganisme ini dianggap memiliki risiko kerusakan yang rendah, meskipun tetap perlu dipertimbangkan dalam perancangan proses sterilisasi dan pengendalian mutu produk.

Efek sterilisasi total dari suatu proses pemanasan dinyatakan secara numerik melalui parameter yang dikenal sebagai nilai F_0 , yang merepresentasikan

tingkat letalitas panas terhadap mikroorganisme target. Secara konvensional, pemaparan panas pada suhu 121,1 °C selama 1 menit dianggap setara dengan nilai F_0 sama dengan 1. Nilai F_0 ini digunakan sebagai dasar dalam perancangan proses sterilisasi termal untuk menjamin keamanan mikrobiologis produk pangan kaleng (Bratt, 2013)

2.3.2 Teknologi Pengalengan

Pengalengan merupakan teknik pengawetan pangan yang dilakukan dengan cara mengemas produk secara kedap udara (hermetis) di dalam wadah kaleng, kemudian diikuti dengan proses pemanasan untuk menjamin keamanan mikrobiologis. Penggunaan wadah kaleng sebagai kemasan produk pangan olahan berfungsi untuk mempertahankan mutu produk dengan mencegah masuknya udara dan air dari lingkungan, sehingga dapat menghambat reaksi oksidasi serta perubahan mutu selama penyimpanan (Husen *et al.*, 2023).

Menurut Syah (2012), dalam proses pengalengan makanan terdapat beberapa proses penting yaitu:

1) Pengisian (*Filling*)

Pada proses pengisian produk ke dalam kaleng, diperlukan penyisaan ruang kosong di bagian atas kaleng (*head space*). *Head space* berfungsi untuk mencegah terjadinya penggembungan pada badan kaleng akibat pengisian yang terlalu penuh, serta membantu proses penutupan kaleng secara rapat. Setelah proses pemanasan dan penutupan, uap air dan udara di dalam kaleng akan mengalami pendinginan dan pengembunan, sehingga tekanan di dalam *head space* menurun. Penurunan tekanan ini menyebabkan tekanan atmosfer dari luar menekan tutup kaleng ke arah dalam, sehingga terbentuk kondisi vakum yang memperkuat penutupan kaleng.

2) *Exhausting*

Exhausting merupakan proses pengeluaran udara, khususnya oksigen, dari dalam kaleng sebelum dilakukan penutupan secara hermetis. Proses ini bertujuan untuk meminimalkan jumlah gas di dalam kaleng

sehingga dapat mendukung pembentukan kondisi vakum setelah proses pemanasan dan pendinginan. Selain itu, pengurangan oksigen melalui proses *exhausting* juga berperan dalam mencegah terjadinya oksidasi serta kerusakan mutu produk selama penyimpanan.

3) Penutupan Kaleng (*seaming*)

Daya simpan produk pangan kaleng sangat bergantung pada kemampuan kemasan kaleng dalam mengisolasi produk dari lingkungan luar, terutama dari udara dan mikroorganisme. Penutupan kaleng yang baik dan rapat berperan penting dalam mencegah terjadinya kebocoran yang dapat menyebabkan masuknya oksigen dan mikroorganisme, sehingga berpotensi menurunkan mutu dan keamanan produk. Prinsip penutupan yang umum digunakan pada pengalengan adalah penutupan berlapis yang dikenal sebagai *double seam*, yang berfungsi untuk menghasilkan sambungan yang kuat dan kedap udara.

4) Sterilisasi

Proses sterilisasi pada pengalengan dilakukan menggunakan ketel uap atau *retort*. Tahapan ini merupakan tahap kritis dalam proses pengalengan karena berfungsi untuk menghancurkan mikroorganisme patogen maupun pembusuk hingga mencapai tingkat sterilisasi komersial yang diinginkan. Keberhasilan proses sterilisasi sangat bergantung pada pengendalian suhu dan waktu pemanasan yang tepat, karena keduanya menentukan tingkat letalitas panas yang diterima produk.

5) *Cooling Shock*

Setelah proses sterilisasi, kaleng didinginkan secara cepat untuk menghentikan proses pemanasan lanjutan serta menurunkan suhu produk melewati kisaran suhu yang mendukung aktivitas mikroorganisme termofilik. Pendinginan ini bertujuan untuk menjaga mutu produk serta meminimalkan potensi kerusakan selama penyimpanan. Proses pendinginan umumnya dilakukan secara otomatis di dalam *retort*, yaitu

segera setelah aliran uap dihentikan, katup air pendingin dibuka sehingga suhu produk dapat turun dengan cepat dan terkendali.

2.4 Umur Simpan

Umur simpan didefinisikan sebagai rentang waktu produk pangan yang ditentukan mulai dari masa produksi hingga produk tersebut mengalami penurunan mutu atau tidak baik lagi untuk dikonsumsi (Nirwana *et al.*, 2022). Berdasarkan Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan No. 31 Tahun 2018 mengenai Label Pangan Olahan, umur simpan atau keterangan kedaluwarsa merupakan salah satu hal yang wajib untuk dicantumkan pada label pangan dan wajib diketahui oleh konsumen.

Penentuan umur simpan dibagi menjadi dua metode yaitu, metode *Extended Storage Studies* (ESS) yang memanfaatkan kondisi normal untuk penentuan umur simpan dan *Accelerated Shelf Life Test* (ASLT) dengan cara mempercepat perubahan mutu pada parameter kritis dalam kondisi suhu ekstrim. ASLT lebih cepat dibanding ESS karena kondisi penyimpanan diatur pada kondisi di luar kondisi normal sehingga produk lebih cepat mengalami kerusakan pada parameter yang diamati dan umur simpan dapat ditentukan (Arif, 2015).

Parameter atau atribut mutu yang diuji tergantung pada jenis produknya, untuk produk berlemak biasanya digunakan parameter yang menyatakan derajat ketengikan, produk kondisi dingin berupa pertumbuhan mikroba, dan produk yang relatif kering mengukur kadar air (Syah, 2012).

Syah (2012) lebih lanjut menjelaskan bahwa parameter mutu yang digunakan dalam penentuan umur simpan harus memenuhi beberapa kriteria, yaitu: (1) merupakan parameter yang paling cepat mengalami penurunan selama penyimpanan, yang ditunjukkan oleh nilai konstanta laju reaksi (k) paling besar atau koefisien determinasi (R^2) tertinggi; (2) paling sensitif terhadap perubahan suhu, yang ditunjukkan oleh nilai energi aktivasi (E_a) paling rendah; dan (3) apabila terdapat lebih dari satu parameter yang memenuhi kriteria tersebut, maka dipilih parameter yang menghasilkan estimasi umur simpan paling pendek.

2.4.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Umur Simpan

Hariyadi (2019) dalam bukunya menjelaskan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi umur simpan dibagi menjadi dua, yaitu faktor proses produksi (faktor intrinsik) dan faktor lingkungan penyimpanan (faktor ekstrinsik).

1) Faktor Intrinsik

Beberapa karakteristik intrinsik produk pangan olahan terkemas yang berpengaruh terhadap masa simpan antara lain aktivitas air (A_w), nilai pH, ketersediaan oksigen, komposisi gizi, jumlah dan jenis mikroorganisme, sifat biokimia produk, serta keberadaan bahan yang bersifat pengawet. Karakteristik intrinsik tersebut dipengaruhi oleh pemilihan bahan baku, kondisi dan tahapan proses pengolahan, serta jenis dan kualitas kemasan yang digunakan.

2) Faktor Ekstrinsik

Faktor ekstrinsik merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi produk pangan olahan setelah keluar dari pabrik, sepanjang rantai pangan hingga sampai ke konsumen. Faktor ini mencerminkan kondisi penyimpanan, distribusi, dan *display* produk yang dapat mempengaruhi stabilitas mutu selama masa simpan. Beberapa faktor ekstrinsik yang berpengaruh terhadap masa simpan antara lain suhu penyimpanan, kelembaban relatif, paparan cahaya, potensi paparan mikroba akibat kerusakan kemasan, komposisi atmosfer dalam kemasan, perlakuan panas lanjutan, serta cara penanganan produk oleh konsumen.

2.5 Kinetika Reaksi

Hariyadi (2019) menjelaskan bahwa salah satu teori dalam kinetika reaksi adalah Teori Aktivasi (*Activation Theory*). Teori ini menyatakan bahwa suatu reaksi kimia hanya dapat berlangsung apabila molekul reaktan memiliki energi yang cukup untuk mencapai energi aktivasi. Peningkatan suhu akan meningkatkan energi kinetik molekul, sehingga peluang molekul mencapai energi aktivasi

menjadi lebih besar. Setelah melewati energi aktivasi, molekul akan bereaksi dan membentuk produk dengan tingkat energi yang lebih rendah dan lebih stabil.

Laju suatu reaksi kimia sangat dipengaruhi oleh suhu. Semakin tinggi suhu (T), semakin besar laju reaksi (k) yang terjadi. Hubungan antara suhu dan laju reaksi ini dijelaskan oleh teori aktivasi, yang menyatakan bahwa suatu reaksi hanya dapat berlangsung apabila molekul reaktan memperoleh energi minimum tertentu yang disebut sebagai energi aktivasi. Peningkatan suhu akan meningkatkan energi kinetik molekul, sehingga peluang molekul untuk mencapai energi aktivasi dan bereaksi menjadi lebih besar (Hariyadi, 2019).

2.5.1 Ordo Reaksi

Orde suatu reaksi merupakan jumlah semua eksponen dari konsentrasi dalam persamaan laju. Orde reaksi juga menyatakan besarnya pengaruh konsentrasi reaktan terhadap laju reaksi (Syah, 2012). Penggambaran perbedaan perubahan-perubahan mutu yang signifikan pada produk pangan umumnya menggunakan model reaksi ordo nol dan ordo pertama.

Jika perubahan mutu mengikuti model reaksi ordo nol, maka dapat dikatakan laju perubahan mutu adalah konstan selama perubahan terjadi dan perubahan mutu tidak tergantung pada konsentrasi atau tingkat mutu awal. Sedangkan pada model reaksi ordo pertama, laju penurunan mutu berbanding lurus dengan konsentrasi sisa. Laju kecepatan tertinggi terjadi pada awal dan akan menurun selama proses penyimpanan (Hariyadi, 2019).

Syah (2012) menjelaskan dalam penentuan umur simpan, ordo reaksi penurunan mutu ditetapkan dengan memetakan perubahan setiap parameter mutu pada berbagai suhu penyimpanan terhadap waktu pengamatan. Data kemudian diplot sesuai model kinetika yang diuji (misalnya ordo nol dan ordo satu) untuk memperoleh persamaan regresi serta nilai koefisien determinasi (R^2). Ordo reaksi yang paling sesuai ditentukan berdasarkan nilai R^2 tertinggi. Persamaan terpilih selanjutnya digunakan untuk menghitung konstanta laju degradasi (k) pada masing-masing suhu penyimpanan.

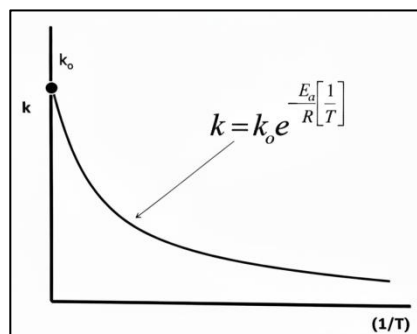
2.5.2 Persamaan *Arrhenius* dalam Metode ASLT

Syah (2012) dalam bukunya menjelaskan bahwa penetapan umur simpan dapat diperoleh melalui ekstrapolasi suhu penyimpanan pada persamaan *Arrhenius*. Persamaan *Arrhenius* dinyatakan sebagai berikut:

$$k = k_0 e^{-(E_a/RT)}$$

Keterangan:

- k : konstanta laju reaksi
 k_0 : Konstanta (tidak tergantung suhu)
 E_a : Energi aktivasi
 T : Suhu mutlak (K)
 R : Konstanta gas (1.986 kal/mol K)

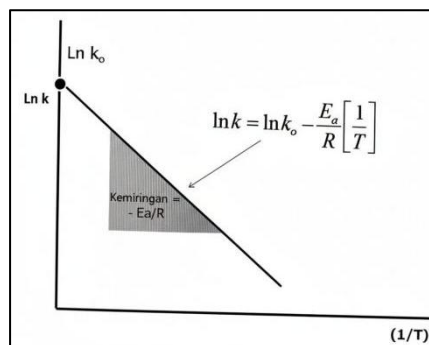


Gambar 3. Perubahan nilai k terhadap perubahan suhu (T)

Persamaan tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk lain, yaitu

$$\ln k = \ln k_0 - (E_a/R)(1/T)$$

Persamaan tersebut merupakan persamaan garis lurus, di mana sumbu X adalah $1/T$ dan sumbu Y adalah $\ln k$, dengan kemiringan garis adalah $(-E_a/R)$.



Gambar 4. Hubungan antara nilai k terhadap suhu (T)

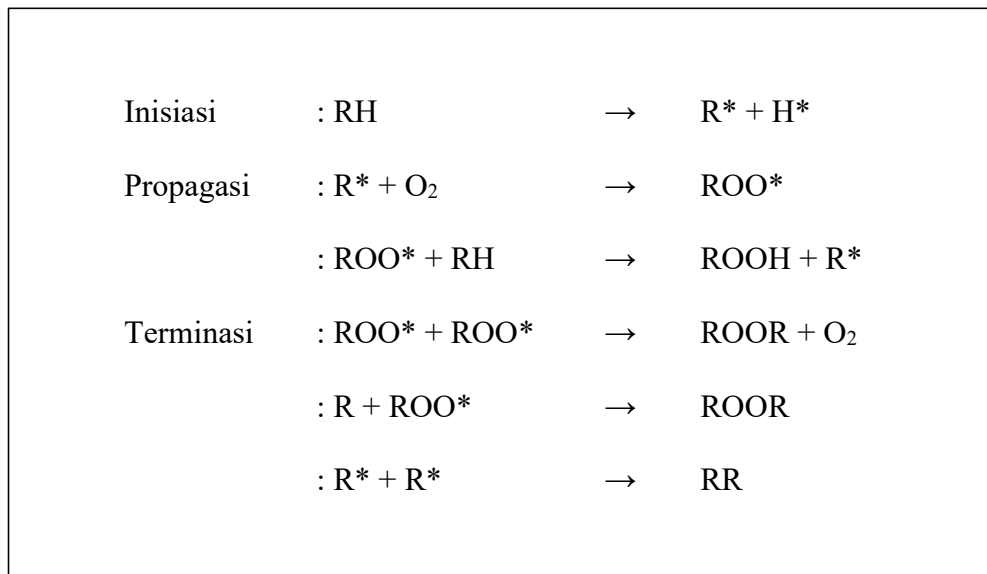
Secara garis besar, nilai k pada suhu penyimpanan aktual dapat diduga dengan menggunakan persamaan *Arrhenius*. Nilai k tersebut nantinya akan digunakan untuk menentukan masa simpan atau masa kedaluwarsa (t_s) produk (Hariyadi, 2019).

2.6 Parameter Perubahan Mutu

2.6.1 Mekanisme Autooksidasi

Kerusakan lemak yang paling umum pada produk pangan ditandai dengan timbulnya bau dan rasa tengik yang dikenal sebagai proses ketengikan. Pada produk yang mengandung asam lemak tidak jenuh, ketengikan terutama disebabkan oleh reaksi autooksidasi, yaitu reaksi radikal bebas pada asam lemak tidak jenuh yang menghasilkan senyawa volatil penyebab bau dan rasa tidak diinginkan (Winarno, 1984).

Aminah (2017) menjelaskan bahwa terdapat tiga tahapan dalam proses terjadinya oksidasi lemak, yaitu inisiasi (permulaan), propagasi (penyebaran), dan terminasi (penghentian). Pada tahap inisiasi, atom hidrogen (H) terlepas dari asam lemak tidak jenuh (RH) akibat pengaruh cahaya atau logam, membentuk radikal bebas. Pada tahap propagasi, radikal lipida (R^*) bereaksi cepat dengan oksigen (O) membentuk radikal peroksida (ROO^*) yang kemudian mengekstrak hidrogen dari lipida lain, menghasilkan hidroperoksida ($ROOH$) dan radikal baru sehingga reaksi berlangsung berantai. Pada tahap terminasi, hidroperoksida yang tidakstabil terurai menjadi senyawa berantai pendek seperti aldehid, keton, alkohol, dan asam yang menyebabkan bau dan rasa tengik



Gambar 5. Reaksi Autooksidasi Lemak

2.6.2 Malonaldehid (MDA) dan Uji TBA

Hidroperoksida lipid (ROOH) bersifat tidak stabil sehingga mudah terurai menjadi produk oksidasi sekunder seperti aldehida, keton, dan alkohol. Salah satu senyawa aldehida yang umum terbentuk adalah malonaldehid (MDA), yaitu aldehida dengan tiga atom karbon yang digunakan sebagai indikator utama terjadinya oksidasi asam lemak tidak jenuh yang memiliki tiga atau lebih ikatan rangkap. Ketaren (2008) menjelaskan bahwa secara teoretis, pembentukan malonaldehida dapat terjadi melalui dua cara. Cara pertama adalah melalui pembentukan diperoksida pada gugus pentadiena yang kemudian diikuti dengan proses pemutusan rantai molekulnya. Sementara itu, cara kedua dilakukan melalui oksidasi lebih lanjut dari senyawa 2-enol, yang mana senyawa tersebut diperoleh dari hasil penguraian monohidroperoksida.

Penentuan kadar MDA dilakukan menggunakan uji TBA (Asam Tiobarbiturat), yang didasarkan pada reaksi kondensasi antara MDA dan asam tiobarbiturat sehingga membentuk kompleks berwarna merah muda (kromofor) yang diukur absorbansinya pada panjang gelombang 532 nm (Geng *et al.*, 2023). Uji TBA merupakan uji yang spesifik untuk hasil oksidasi asam lemak tidak jenuh

dan baik diterapkan untuk uji terhadap lemak pangan yang mengandung asam lemak dengan derajat ketidakjenuhan lebih tinggi (Ketaren, 2008).

2.6.3 Perubahan pH

Nilai pH merupakan salah satu parameter fisikokimia penting yang menunjukkan tingkat keasaman suatu produk pangan dan berperan dalam menentukan stabilitas komponen penyusunnya. Pada ikan segar, perubahan pH setelah kematian diawali oleh penurunan pH akibat terbentuknya asam laktat dari proses glikolisis anaerobik (Muchtadi *et al*, 2019). Seiring waktu, pH kemudian meningkat karena terbentuknya senyawa basa volatil, seperti *Total Volatile Basic Nitrogen* (TVB-N) dan amonia, yang dihasilkan dari aktivitas bakteri pembusuk (Kim *et al*, 2023).

Berbeda dengan ikan segar, produk pepes ikan bandeng dalam kaleng telah melalui proses sterilisasi komersial yang mampu memusnahkan seluruh mikroorganisme pembusuk, baik sel vegetatif maupun spora (Syah, 2012). Oleh karena itu, perubahan pH selama penyimpanan tidak lagi disebabkan oleh aktivitas mikroba, melainkan lebih dipengaruhi oleh berbagai reaksi kimia non-enzimatis, seperti degradasi termal komponen bumbu, hidrolisis lemak, serta pemecahan protein yang berlangsung secara bertahap (Shah *et al*, 2017).

2.6.4 Daya Ikat Air (DIA)

Daya Ikat Air atau *Water Holding Capacity* (WHC) merupakan kemampuan protein pada jaringan otot ikan untuk mempertahankan air, baik air alami yang terdapat di dalam jaringan maupun air yang ditambahkan selama proses pengolahan, pemanasan, dan penyimpanan (Zayas, 1997).

Kemampuan protein dalam mempertahankan air sangat bergantung pada integritas struktur tiga dimensi protein miofibril (Soeparno, 2009). Pada produk pepes ikan bandeng dalam kaleng, proses sterilisasi pada suhu 121°C menyebabkan protein mengalami denaturasi akibat rusaknya ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik yang mempertahankan struktur alaminya. Setelah mengalami denaturasi, molekul-molekul protein akan beragregasi dan berkoagulasi sehingga filamen otot mengalami pengerutan (*shrinkage*) (Khasanah *et al*, 2023).

Pengerutan tersebut menyebabkan ruang di antara filamen aktin dan miosin yang semula menahan air terimobilisasi menjadi semakin sempit. Akibatnya, air yang sebelumnya terperangkap di dalam matriks miofibril terdorong keluar dan berubah menjadi air bebas (Ansharullah *et al*, 2018). Air bebas ini kemudian keluar dari jaringan sebagai cairan eksudat, yang dikenal sebagai *cook loss* atau *drip loss* (Soeparno, 2009).

BAB III. METODE PENELITIAN

Bab ini menguraikan mengenai: (3.1) Bahan dan Alat Penelitian, (3.2) Metode Penelitian, dan (3.3) Prosedur Penelitian.

3.1 Bahan dan Alat Penelitian

3.1.1 Bahan Penelitian

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah produk pepes ikan bandeng duri lunak yang diperoleh secara komersil dari Pepes CGD dengan alamat Jl. Cigadung Selatan Dalam 1 No. 74, Kabupaten Bandung, Jawa Barat lalu dikemas seberat 100 gram dalam kemasan kaleng.

Bahan yang digunakan untuk analisis parameter sampel metode ASLT adalah serbuk *2-Thiobarbituric Acid* (TBA), 1-butanol, dan akuades.

3.1.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah blender, timbangan digital, pisau, talenan.

Alat yang digunakan untuk analisis parameter sampel metode ASLT adalah neraca analitik, labu takar, tabung reaksi, pipet volumetrik, *waterbath*, spektrofotometer UV-VIS, tabung sentrifus, lemari pendingin, *centrifuge*, dan pH meter.

3.2 Metode Penelitian

Metode Penelitian ini terdiri dari rancangan penelitian, rancangan respon, dan rancangan analisis.

3.2.1 Rancangan Penelitian

3.2.1.1 Pendugaan Umur Simpan

Rancangan penelitian yang digunakan untuk menentukan umur simpan produk pepes ikan bandeng kaleng adalah dengan melibatkan variasi suhu dan lama penyimpanan dengan menerapkan metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) melalui pendekatan model *Arrhenius*. Data penelitian mengenai parameter mutu pepes ikan bandeng kaleng akan dikumpulkan dan disajikan dalam bentuk tabel untuk dapat dianalisis lebih lanjut.

Data hasil pengamatan terhadap mutu pepes ikan bandeng kaleng selama penyimpanan akan dicatat pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5. Penurunan mutu pada penyimpanan suhu 30°C akan dicantumkan pada Tabel 3, penurunan mutu pada penyimpanan suhu 40°C akan dicantumkan pada Tabel 4, dan penurunan mutu pada penyimpanan suhu 50°C akan dicantumkan pada Tabel 5. Penurunan mutu pada tiap suhu penyimpanan ini menunjukkan bahwa produk mengalami degradasi selama masa simpan. Semakin tinggi suhu, laju degradasi akan semakin cepat sehingga frekuensi pengambilan data disesuaikan berdasarkan suhu penyimpanan yang digunakan. Semakin tinggi suhu penyimpanan, maka semakin banyak pula pengambilan data yang dilakukan. Hal ini dilakukan untuk mencakup semaksimal mungkin proses perubahan mutu yang terjadi selama penyimpanan (Hariyadi, 2019). Pada suhu penyimpanan 30°C akan dilakukan pengambilan data sebanyak 4 titik, suhu 40°C sebanyak 5 titik, dan suhu 50°C akan dilakukan pengambilan data sebanyak 8 titik.

Tabel 3. Skema Analisis Produk Pepes Ikan Bandeng Kaleng Selama Penyimpanan Pada Suhu 30°C

Suhu	Lama Penyimpanan	Parameter		
		Nilai TBA (mg/kg)	Daya Ikat Air (%)	Nilai pH
30°C	Hari ke-0			
	Hari ke-12			
	Hari ke-19			
	Hari ke-28			

Tabel 4. Skema Analisis Produk Pepes Ikan Bandeng Kaleng Selama Penyimpanan Pada Suhu 40°C

Suhu	Lama Penyimpanan	Parameter		
		Nilai TBA (mg/kg)	Daya Ikat Air (%)	Nilai pH
40°C	Hari ke-0			
	Hari ke-6			
	Hari ke-13			
	Hari ke-19			
	Hari ke-28			

Tabel 5. Skema Analisis Produk Pepes Ikan Bandeng Kaleng Selama Penyimpanan Pada Suhu 50°C

Suhu	Lama Penyimpanan	Parameter		
		Nilai TBA (mg/kg)	Daya Ikat Air (%)	Nilai pH
50°C	Hari ke-0			
	Hari ke-5			
	Hari ke-6			
	Hari ke-12			
	Hari ke-14			
	Hari ke-19			
	Hari ke-26			
	Hari ke-28			

3.2.2 Rancangan Respon

Rancangan respon yang akan dilakukan pada penelitian ini meliputi respon kimia dan fisik.

3.2.2.1 Respon Kimia

Respon kimia yang dianalisis pada produk pepes ikan bandeng kaleng yaitu nilai *Thiobarbituric Acid* (Andarwulan *et al.*, 2011) dan nilai keasaman (pH) (SNI, 1992).

3.2.2.2 Respon Fisik

Respon fisik yang dianalisis pada produk pepes ikan bandeng kaleng yaitu Daya Ikat Air (Muchtadi *et al.*, 2019).

3.2.3 Rancangan Analisis

3.2.3.1 Pendugaan Umur Simpan

Rancangan analisis untuk menentukan umur simpan produk pepes ikan kaleng adalah pendugaan umur simpan menggunakan metode *Accelerated Shelf-*

Life Testing (ASLT) dengan pendekatan model *Arrhenius*. Metode ini bertujuan untuk mengidentifikasi umur simpan dengan mengatur kondisi penyimpanan di luar kondisi normal sehingga produk lebih cepat rusak dan umur simpan dapat ditentukan (Syah, 2012). Parameter yang diamati diantaranya nilai TBA, nilai pH, dan daya ikat air.

Penurunan mutu pada produk digolongkan menjadi dua orde reaksi, yaitu reaksi orde 0 dan reaksi orde 1. Pemilihan orde reaksi pada tiap parameter dilakukan dengan menentukan nilai koefisien determinasi (R^2) menggunakan regresi linier berdasarkan data yang telah didapatkan pada tabel 3, 4, dan 5 menggunakan persamaan regresi linear

$$y = a + bx$$

Keterangan:

y : Variabel respon atau variabel terikat

x : Variabel penyebab/bebas

a : Bilangan konstan (*intercept*)

b : Koefisien regresi (*slope*) = konstanta penurunan mutu (k)

Nilai R^2 ditentukan untuk mengetahui korelasi antara dua variabel yang dinyatakan dari rentang 0 sampai dengan 1. Semakin tinggi nilai R^2 pada dua variabel, maka semakin erat pula hubungan dari kedua variabel tersebut. Sebaliknya jika nilai R^2 semakin kecil, tingkat keeratan hubungan kedua variabel akan semakin lemah (Nuryadi *et al.*, 2017). Ordo reaksi yang dipilih adalah yang memiliki rata-rata nilai R^2 tertinggi sehingga didapatkan nilai k pada ordo terpilih.

Nilai k yang telah diperoleh dapat digunakan untuk mendapatkan persamaan penghitungan umur simpan produk dengan menghubungkannya dan suhu melalui plot ke dalam grafik dalam bentuk $\ln k$ (sebagai sumbu y) dan $1/T$ (sebagai sumbu x) menggunakan persamaan regresi. Persamaan penghitungan umur simpan digunakan untuk memperoleh nilai energi aktivasi (E_a) dan k_0 pada suhu yang telah ditetapkan dengan persamaan *Arrhenius*

$$k = k_0 e^{-(E_a/RT)}$$

Persamaan tersebut dapat di-ln-kan sehingga menjadi

$$\ln k = \ln k_0 - (E_a / R)(1/T)$$

Dikarenakan $\ln k_0$ dan E_a / R merupakan konstanta, maka keduanya dapat digantikan menjadi A dan B sehingga persamaan menjadi

$$\ln k = A - B(1/T)$$

Jika dibandingkan dengan persamaan regresi linear, nilai A sama dengan nilai dari *intercept* dan nilai B sama dengan nilai *slope* sehingga untuk menentukan nilai E_a menggunakan rumus

$$B = E_a / R$$

atau

$$E_a = B \times R$$

Setelah diketahui nilai k_0 dan E_a , dapat ditentukan nilai k pada tiap suhu penyimpanan. Dilanjutkan dengan perhitungan pendugaan umur simpan

Untuk ordo nol:

$$t_s = (A_0 - A_t) / k$$

Untuk ordo satu:

$$t_s = (\ln A_0 - \ln A_t) / k$$

Keterangan:

t_s : Umur simpan (hari)

A_0 : Nilai mutu awal/konsentrasi awal

A_t : Nilai mutu akhir/konsentrasi pada titik batas kadaluwarsa (titik kritis)

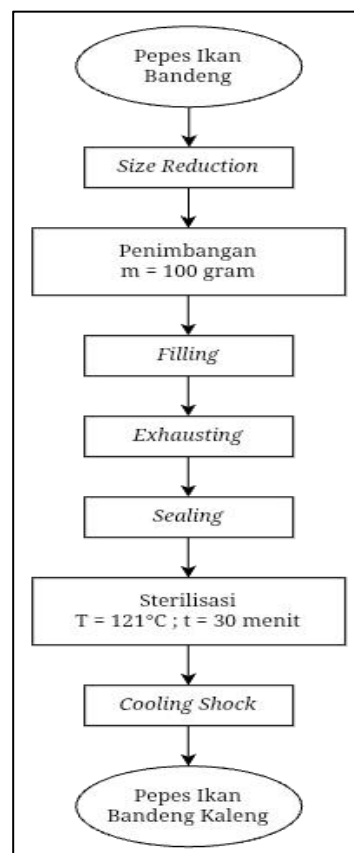
k : Konstanta (laju reaksi)

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian dibagi menjadi dua tahap, meliputi penelitian pendahuluan dan penelitian utama.

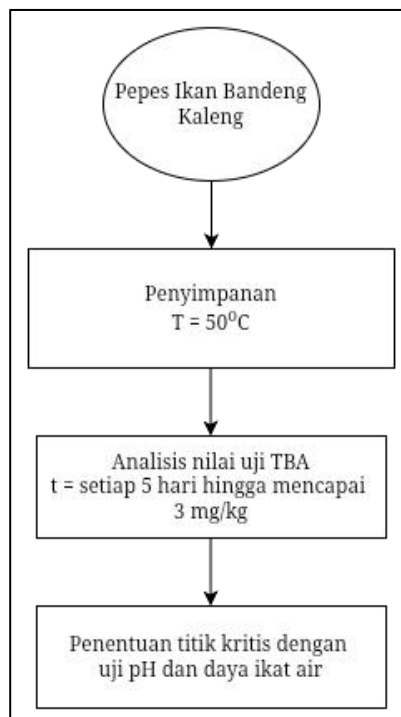
3.3.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan diawali dengan proses pengalengan sampel dilanjutkan dengan penentuan titik kritis tiap parameter kerusakan mutu produk. Proses pengalengan pepes ikan bandeng dimulai dari tahap *size reduction* berupa pemotongan bagian badan ikan. Selanjutnya, bahan masuk ke tahap penimbangan dengan massa pepes ikan sebesar 100 gram untuk tiap porsinya. Setelah ditimbang, potongan pepes ikan dimasukkan ke dalam wadah kaleng pada proses *filling*, lalu dilanjutkan dengan *exhausting* guna mengeluarkan udara terperangkap dari dalam kemasan. Wadah kaleng tersebut kemudian ditutup rapat secara hermetis pada tahap *sealing*. Kaleng yang telah tersegel rapat selanjutnya menjalani proses sterilisasi termal pada kondisi suhu 121°C selama 30 menit untuk memusnahkan spora dan mikroorganisme patogen maupun pembusuk. Rangkaian proses diakhiri dengan tahap *cooling shock* atau pendinginan mendadak untuk menghentikan pemanasan berlebih dan mempertahankan kualitas produk hingga didapatkan produk akhir berupa pepes ikan bandeng kaleng.



Gambar 6. Prosedur Penelitian Pendahuluan Proses Pengalengan Sampel

Penentuan titik kritis dilakukan untuk memvalidasi parameter kerusakan mutu atau respon yang diamati pada produk. Prosedur ini dilaksanakan dengan menginkubasi sampel pepes ikan bandeng dalam kaleng pada suhu 50°C hingga nilai *Thiobarbituric Acid* (TBA) mencapai batas kritis berdasarkan literatur, yaitu sebesar 3 mg/kg. Setelah nilai TBA mencapai batas tersebut, pengujian dilanjutkan dengan melakukan analisis nilai pH dan daya ikat air (DIA) sehingga dapat dijadikan sebagai data titik kritis.

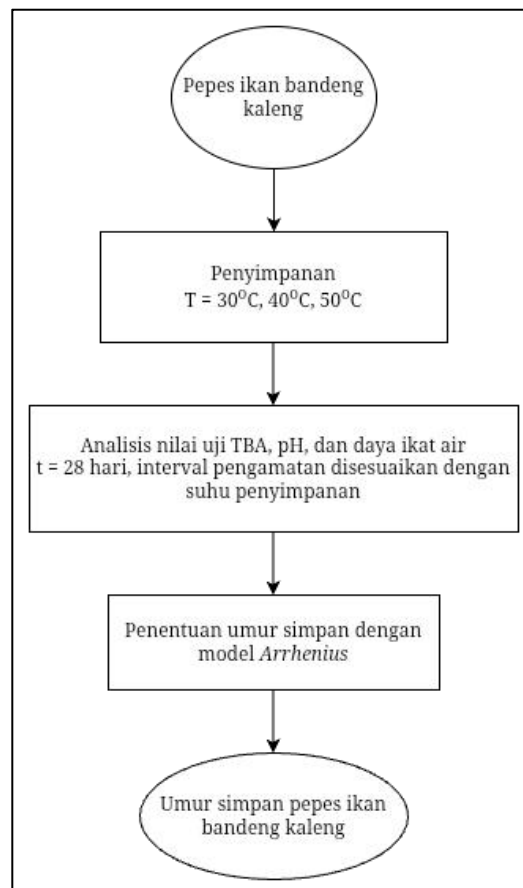


Gambar 7. Prosedur Penelitian Pendahuluan Penentuan Titik Kritis

3.3.2 Penelitian Utama

Penelitian utama dilakukan untuk menentukan laju penurunan mutu dan menduga umur simpan produk pepes ikan bandeng kaleng. Produk akan disimpan pada tiga kondisi suhu berbeda, yaitu 30°C, 40°C, dan 50°C selama 28 hari. Selama masa penyimpanan, dilakukan analisis secara berkala untuk mengetahui laju penurunan mutu produk. Pada suhu penyimpanan 30°C, analisis dilakukan sebanyak 4 kali yaitu pada hari ke-0, 12, 19, dan 28. Pada suhu penyimpanan 40°C, analisis dilakukan sebanyak 5 kali yaitu pada hari ke-0, 6, 13, 19, dan 28. Pada suhu penyimpanan 50°C, analisis dilakukan sebanyak 8 kali yaitu pada hari

ke-0, 5, 6, 12, 14, 19, 26, dan 28. Parameter yang diamati adalah analisis nilai *Thiobarbituric Acid* (TBA), nilai pH, dan Daya Ikat Air. Data penurunan mutu yang telah didapat kemudian akan diolah menggunakan model *Arrhenius* untuk menduga umur simpan dari produk pepes ikan bandeng kaleng.



Gambar 8. Prosedur Penelitian Pendugaan Umur Simpan Pepes Ikan Bandeng Kaleng dengan Metode ASLT

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan mengenai hasil dari: (4.1) Hasil Penelitian Pendahuluan, (4.2) Hasil Penelitian Utama, (4.3) Pembahasan dan Pendugaan Umur Simpan, dan (4.4) Penentuan Umur Simpan

4.1 Hasil Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan bertujuan untuk menentukan titik kritis tiap parameter kerusakan produk pepes ikan bandeng kaleng sehingga dapat memvalidasi parameter kerusakan yang diamati pada produk. Penentuan titik kritis dilakukan dengan cara menginkubasi sampel pepes ikan bandeng kaleng pada suhu 50°C hingga nilai *Thiobarbituric Acid* (TBA) mencapai batas kritis berdasarkan literatur, yaitu sebesar 3 mg/kg. Berikut merupakan hasil dari uji nilai TBA dalam penentuan titik kritis

Tabel 6. Hasil Pengujian Nilai TBA untuk Penentuan Titik Kritis

Lama Penyimpanan (Hari)	Nilai TBA (mg/kg)
0	9,21
5	13,30
10	3,07
15	38,37

Berdasarkan data pada Tabel 6, terlihat jelas bahwa pada hari ke-0 pengujian titik kritis, konsentrasi TBA sampel telah mencapai 9,21 mg/kg. Nilai awal ini secara signifikan telah melampaui ambang batas kritis teoritis sebesar 3 mg/kg sebelum produk mengalami perlakuan inkubasi suhu ekstrem 50°C.

Kandungan pepes ikan seperti asam amino, gula pereduksi, protein terlarut, dan lain-lain juga dapat bereaksi dengan TBA (Mendes *et al*, 2009) sehingga dapat mengganggu hasil dari pembacaan spektrofotometer terhadap malonaldehid. Senyawa penginterferensi ini disebut dengan TBARS (*Thiobarbituric Acid Reactive Substances*) yang bereaksi dengan TBA menghasilkan kromogen kuning sehingga nilai ketengikan menjadi berlebih (*overestimate*) (Laila *et al*, 2020).

Tingginya nilai TBA pada awal penyimpanan serta pola fluktuasi yang ekstrem ini menyebabkan data pengujian pendahuluan tidak dapat dijadikan acuan untuk menetapkan titik kritis bagi dua parameter lainnya, yaitu pH dan Daya Ikat Air (DIA).

Sebagai solusi untuk mengatasi kendala tersebut, penetapan batas akhir penurunan mutu produk pepes ikan bandeng dalam kaleng dialihkan dengan mengadopsi nilai batas kritis standar yang dalam literatur ilmiah serta regulasi. Parameter batas kritis kegagalan mutu (A_t) yang digunakan untuk batas kritis nilai TBA sebesar 3 mg/kg berdasarkan Connell (1990), batas kritis nilai daya ikat air sebesar 20% merujuk pada Soeparno (2009), serta batas kritis pH sebesar 6,0 merujuk pada Huss (1995).

4.2 Penelitian Utama

Penelitian utama dilakukan untuk menentukan umur simpan produk pepes ikan bandeng dalam kaleng menggunakan parameter kritis nilai TBA, pH, dan DIA pada berbagai suhu penyimpanan. Produk disimpan pada suhu 30°C, 40°C, dan 50°C selama 28 hari.

4.2.1 Hasil Pengamatan Suhu Penyimpanan 30°C

Frekuensi pengambilan data penurunan mutu pada suhu penyimpanan 30°C dilakukan sebanyak 4 titik yaitu pada hari ke-0, 12, 19, dan 28. Berikut merupakan data dari hasil pengamatan penyimpanan 30°C

Tabel 7. Hasil Pengamatan Penurunan Mutu Tiap Parameter Pada Suhu Penyimpanan 30°C

Suhu	Lama Penyimpanan	Parameter		
		Nilai TBA (mg/kg)	Daya Ikat Air (%)	Nilai pH
30°C	Hari ke-0	9,21	35,69	6,73
	Hari ke-12	5,63	34,82	6,71
	Hari ke-19	15,86	34,61	6,71
	Hari ke-28	52,18	34,46	6,69

4.2.2 Hasil Pengamatan Suhu Penyimpanan 40°C

Frekuensi pengambilan data penurunan mutu pada suhu penyimpanan 40°C dilakukan sebanyak 5 titik yaitu pada hari ke-0, 6, 13, 19 dan 28. Berikut merupakan data dari hasil pengamatan penyimpanan 40°C

Tabel 8. Hasil Pengamatan Penurunan Mutu Tiap Parameter Pada Suhu Penyimpanan 40°C

Suhu	Lama Penyimpanan	Parameter		
		Nilai TBA (mg/kg)	Daya Ikat Air (%)	Nilai pH
40°C	Hari ke-0	9,21	35,69	6,73
	Hari ke-6	7,16	33,11	6,70
	Hari ke-13	9,72	33,92	6,66
	Hari ke-19	36,84	31,53	6,62
	Hari ke-28	49,12	30,84	6,59

4.2.3 Hasil Pengamatan Suhu Penyimpanan 50°C

Frekuensi pengambilan data penurunan mutu pada suhu penyimpanan 50°C dilakukan sebanyak 8 titik yaitu pada hari ke-0, 5, 6, 12, 14, 19, 26 dan 28. Berikut merupakan data dari hasil pengamatan penyimpanan 50°C

Tabel 9. Hasil Pengamatan Penurunan Mutu Tiap Parameter Pada Suhu Penyimpanan 50°C

Suhu	Lama Penyimpanan	Parameter		
		Nilai TBA (mg/kg)	Daya Ikat Air (%)	Nilai pH
50°C	Hari ke-0	9,21	35,69	6,73
	Hari ke-5	13,30	33,14	6,70
	Hari ke-6	4,09	33,78	6,69
	Hari ke-12	9,72	32,57	6,67
	Hari ke-14	17,90	31,46	6,65
	Hari ke-19	51,16	30,74	6,64
	Hari ke-26	15,35	29,98	6,55
	Hari ke-28	82,88	29,39	6,54

4.3 Pembahasan dan Pendugaan Umur Simpan

4.3.1 Nilai TBA

Pengukuran nilai TBA pada produk pepes ikan bandeng dalam kaleng dilakukan menggunakan metode langsung (*direct method*) berdasarkan standar resmi AOCS Cd 19-90 dengan pelarut utama 1-butanol (Andarwulan *et al.*, 2011). Prinsip pengujian ini didasarkan pada reaksi kondensasi antara satu molekul malonaldehid (MDA), yang merupakan produk sekunder dari reaksi autoksidasi lipid, dengan dua molekul pereaksi asam 2-tiobarbiturat (TBA) (Ketaren, 2008).

Reaksi tersebut menghasilkan senyawa kromogen trimetin berwarna merah-muda (*pink*) yang memiliki serapan cahaya maksimum pada panjang gelombang 530 nm.

Berdasarkan data hasil analisis parameter TBA, nilai TBA pada hari ke-0 untuk seluruh suhu penyimpanan berada pada tingkat yang sangat tinggi, yaitu 9,21 mg/kg. Angka ini telah melampaui batas kritis ketengikan standar yang umumnya ditoleransi pada produk pangan, yaitu sebesar 3 mg/kg. Batas ini dipilih berdasarkan Connell (1990) yang menjelaskan bahwa batas awal deteksi penurunan mutu lemak pada ikan dimulai pada kisaran 3 mg/kg dan menyatakan batas kondisi terbaik dari produk perikanan. Sedangkan produk olahan kaleng dapat mencapai 7 sampai 8 mg/kg. Dengan menerapkan batas 3 mg/kg, umur simpan yang terestimasi tetap berada dalam kondisi terbaik dan penerimaan organoleptik yang optimal.

Hasil dari penelitian ini jauh berbeda jika dibandingkan dengan penelitian oleh Aprilio (2024) yang melakukan uji umur simpan pada tumis tuna kaleng dengan parameter TBA pada hari ke-28 dengan suhu 35°C, 45°C, 55°C nilai TBA secara berturut-turut yaitu 1,92 ; 2,02 ; dan 2,36 mg/kg. Berdasarkan hal tersebut, hasil nilai TBA yang diperoleh tidak dapat menggambarkan ketengikan pada produk pepes ikan bandeng kaleng. Tingginya nilai TBA pada awal penyimpanan ini diduga dipengaruhi oleh efek termal proses pengolahan (sterilisasi komersial) dan adanya interferensi yang signifikan dari komponen pepes terhadap pereaksi TBA.

Proses pengalengan ikan bandeng mensyaratkan sterilisasi komersial suhu tinggi (121°C) untuk menonaktifkan mikroorganisme pembusuk dan spora patogen seperti *Clostridium botulinum* (Bratt, 2013). Paparan suhu tinggi yang intens ini memicu degradasi termal dan autoksidasi asam lemak tak jenuh ganda (PUFA) yang melimpah pada lemak daging ikan bandeng, sehingga mempercepat pembentukan senyawa hidroperoksida yang kemudian pecah menjadi aldehida sekunder (termasuk MDA) bahkan sebelum masa penyimpanan dimulai (Prego *et al.*, 2022).

Karakteristik pepes ikan bandeng dalam kaleng sebagai sistem pangan multikomponen menjadikan produk ini memiliki matriks yang sangat kompleks. Produk tidak hanya terdiri atas daging ikan bandeng yang kaya protein otot dan

asam amino esensial (Hafiludin, 2015), tetapi juga mengandung formulasi bumbu pepes dengan konsentrasi tinggi, seperti bawang merah, bawang putih, cabai, kemiri, serai, jahe, kunyit, serta gula pereduksi (Hidayat *et al*, 2025). Selama proses sterilisasi pada suhu tinggi maupun penyimpanan pada suhu tinggi, berlangsung reaksi pencoklatan non-enzimatis (reaksi Maillard) secara intensif antara gugus amina primer dari asam amino protein ikan dengan gugus karbonil yang berasal dari gula pereduksi (Winarno, 1984). Reaksi tersebut menghasilkan berbagai senyawa intermediat karbonil reaktif, termasuk *Amadori Rearrangement Products* (ARPs), senyawa golongan furfural, dan 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF) (De Schutter *et al.*, 2008).

Selama tahap pemanasan pada pengujian TBA menggunakan metode langsung (*direct method*), senyawa hasil reaksi Maillard, seperti furfural dan 5-HMF, serta sisa gula pereduksi dari bumbu pepes berpotensi bereaksi dengan reagen TBA di dalam pelarut 1-butanol. Hal ini menyebabkan berbagai senyawa non-lipid dan pigmen pengganggu tetap berada dalam larutan selama pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer (Pegg, 2001).

Du & Bramlage (1992) juga menyatakan bahwa keberadaan monosakarida dan disakarida, khususnya sukrosa dapat bereaksi dengan TBA sehingga juga dapat mengganggu hasil dari nilai TBA. Keberadaan senyawa-senyawa tersebut dapat meningkatkan absorbansi pada panjang gelombang analisis, sehingga menyebabkan nilai TBA yang diperoleh menjadi lebih tinggi daripada kadar MDA yang sebenarnya (*overestimation*) (Laila *et al*, 2020).

4.3.2 Nilai pH

Berdasarkan hasil analisis pada seluruh suhu penyimpanan pada tabel 7, 8, dan 9 didapatkan bahwa selama 28 hari penyimpanan, nilai pH menunjukkan tren penurunan yang sangat lambat namun konsisten di semua suhu penyimpanan dengan laju penurunan pH (asidifikasi) yang semakin cepat seiring dengan meningkatnya suhu penyimpanan. Produk pepes ikan bandeng dalam kaleng dengan pH awal 6,73 tergolong ke dalam kategori pangan olahan berasam rendah (*low-acid canned foods*), yaitu produk yang memiliki nilai pH di atas 4,6 dan aktivitas air di atas 0,85 (BPOM, 2023). Pada kategori pangan steril komersial ini, stabilitas nilai pH selama penyimpanan merupakan parameter kritis untuk

menentukan tingkat kesegaran, keamanan mikrobiologis, serta kelayakan konsumsi produk (Fellows, 2017).

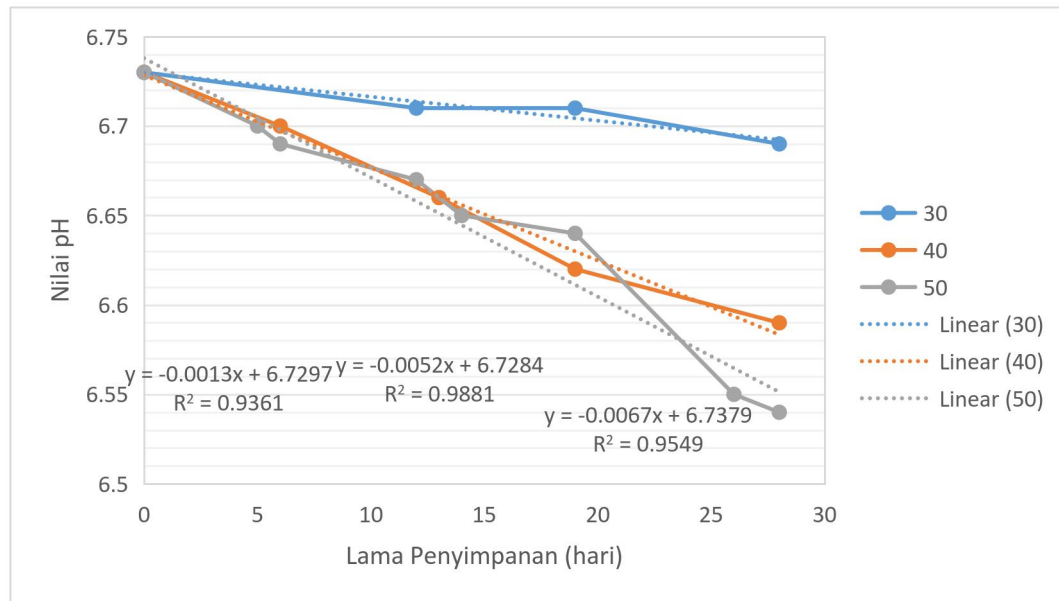
Penurunan nilai pH dari 6,73 menuju batas kritis 6,0 selama masa simpan dapat dipicu oleh reaksi kimia hidrolisis lipid dan degradasi komponen bumbu yang melepaskan asam lemak bebas (Winarno, 1984). Secara kimiawi, paparan suhu hangat dan panas dalam jangka waktu lama memicu terjadinya reaksi hidrolisis pada fraksi lipid ikan bandeng dan minyak dari bumbu pepes. Reaksi hidrolisis lemak ini memecah molekul trigliserida menjadi asam lemak bebas dan gliserol sebagai produk samping (Maulinda *et al.*, 2017). Akumulasi asam lemak bebas di dalam matriks pangan melepaskan ion hidrogen (H^+) bebas ke dalam fase air, sehingga meningkatkan keasaman medium dan menurunkan nilai pH (Jannah *et al.*, 2018).

Selain itu penurunan pH juga dapat disebabkan oleh potensi aktivitas metabolisme bakteri pembusuk tahan panas jenis *flat-sour* seperti *Bacillus stearothermophilus* yang memfermentasi gula sederhana menjadi asam laktat tanpa disertai pembentukan gas (Ray & Bhunia, 2014). Hal ini dapat terjadi karena *Bacillus stearothermophilus* merupakan bakteri yang sangat tahan panas dan dapat bertahan pada sterilisasi untuk membunuh *Clostridium botulinum*. Proses germinasi dari *Bacillus stearothermophilus* berlangsung pada suhu 43°C atau lebih sedangkan fase pertumbuhan vegetatifnya tetap dapat tumbuh pada penyimpanan suhu mulai dari 30°C yang berjalan sangat lambat (Ray & Bhunia, 2014)

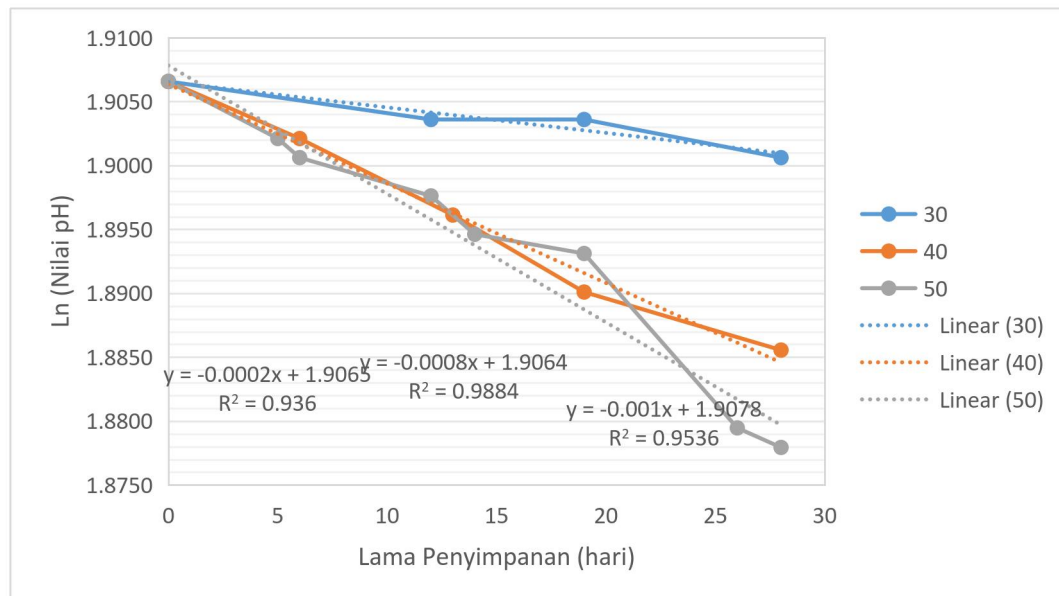
Penetapan pH 6,0 sebagai batas kritis kelayakan konsumsi didasarkan pada ambang toleransi kemunduran mutu fisikokimia produk. Akumulasi asam tersebut menimbulkan penyimpangan cita rasa berupa *sour off-flavor* yang menandakan penurunan mutu organoleptik (Connell, 1990). Dengan demikian, ketika nilai pH produk telah menyentuh angka 6,0, produk dianggap telah mengalami kemunduran mutu yang signifikan sehingga tidak lagi memenuhi standar kriteria kelayakan konsumsi pangan olahan dalam kaleng yang aman (Fellows, 2017).

4.3.2.1 Pemilihan Ordo Reaksi Parameter Nilai pH

Selanjutnya dilakukan pemetaan hubungan antara parameter nilai pH pada berbagai suhu terhadap waktu penyimpanan yang digambarkan pada gambar 9 dan gambar 10 sehingga didapatkan persamaan regresi linier dalam bentuk ordo 0 dan ordo 1.



Gambar 9. Grafik Ordo 0 Nilai pH



Gambar 10. Grafik Ordo 1 Nilai pH

Berdasarkan grafik pada gambar 9 didapatkan persamaan regresi ordo 0 pada suhu penyimpanan 30°C $y = -0.0013x + 6.7297$ dengan $R^2 = 0.9361$, suhu penyimpanan 40°C $y = -0.0052x + 6.7284$ dengan $R^2 = 0.9881$, dan pada suhu penyimpanan 50°C $y = -0.0067x + 6.7379$ dengan $R^2 = 0.9549$.

Berdasarkan grafik pada gambar 10 didapatkan persamaan regresi ordo 1 pada suhu penyimpanan 30°C $y = -0.0002x + 1.9065$ dengan $R^2 = 0.936$, suhu penyimpanan 40°C $y = -0.0008x + 1.9064$ dengan $R^2 = 0.9884$, dan pada suhu penyimpanan 50°C $y = -0.001x + 1.9078$ dengan $R^2 = 0.9536$.

Setelah mendapatkan persamaan regresi pada tiap penurunan mutu dalam bentuk ordo 0 dan ordo 1, maka dapat ditentukan ordo reaksi yang paling sesuai terhadap penurunan pH. Ordo terpilih merupakan ordo dengan koefisien determinasi (R^2) paling tinggi.

Tabel 10. Hasil Penentuan Orde Reaksi Nilai pH

Suhu Penyimpanan	Ordo Reaksi	R^2	Ordo Terpilih
30°C	0	0,9361	0
40°C		0,9881	
50°C		0,9549	
30°C	1	0,936	
40°C		0,9884	
50°C		0,9536	

Berdasarkan data pada Tabel 10, penurunan pH mengikuti kinetika reaksi ordo nol. Hal ini mengindikasikan bahwa penurunan mutu berlangsung dengan laju yang konstan sepanjang periode penyimpanan, tanpa dipengaruhi oleh konsentrasi maupun tingkat mutu awal produk (Hariyadi, 2019). Pemilihan ordo nol didasarkan pada hasil evaluasi koefisien determinasi (R^2) pada berbagai suhu penyimpanan yang menunjukkan nilai paling representatif dibandingkan ordo satu.

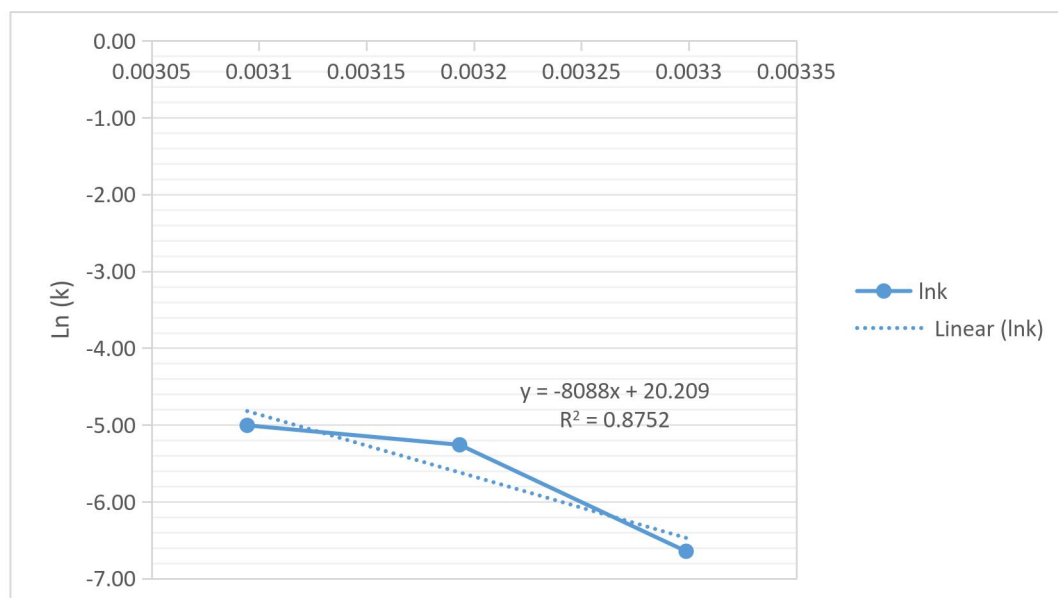
Nilai R^2 yang semakin mendekati angka satu mencerminkan korelasi yang semakin kuat antarvariabel yang diamati (Nuryadi et al., 2017).

4.3.2.2 Perhitungan Umur Simpan Parameter Nilai pH

Dari tabel 10, telah diketahui ordo reaksi yang digunakan untuk penentuan umur simpan berdasarkan nilai pH adalah ordo 0. Dengan kata lain, laju penurunan mutu pH pada pepes ikan bandeng kaleng adalah konstan selama penurunan terjadi dan tidak bergantung pada konsentrasi atau tingkat mutu awal (Hariyadi, 2019). Karena nilai $b = k$, maka didapatkan nilai k dari masing-masing persamaan regresi ordo 0. Nilai k kemudian diplotkan ke dalam grafik dengan $1/T$ sebagai sumbu x dan $\ln(k)$ sebagai sumbu y seperti pada gambar 14.

Tabel 11. Hubungan $1/T$ (K) dengan $\ln(k)$ Nilai pH Pada Ordo 0

Suhu (°C)	Suhu (K)	$1/T$ (K)	k	$\ln(k)$
30°C	303,15	0,003298697	0,0013	-6,65
40°C	313,15	0,003193358	0,0052	-5,26
50°C	323,15	0,003094538	0,0067	-5,01



Gambar 11. Grafik Hubungan $1/T$ (K) dengan $\ln(k)$ Nilai pH

Berdasarkan persamaan tersebut, diperoleh nilai energi aktivasi (E_a) serta konstanta laju penurunan mutu (k) pada suhu penyimpanan 30°C, 40°C, dan 50°C. Nilai k yang meningkat menggambarkan laju penurunan mutu yang semakin cepat seiring dengan suhu penyimpanan yang semakin tinggi (Syah, 2012). Selanjutnya, nilai konstanta laju (k) tersebut disubstitusikan ke dalam persamaan pendugaan umur simpan berdasarkan model kinetika ordo 0 sehingga diperoleh estimasi umur simpan pepes ikan bandeng kaleng. Nilai energi aktivasi (E_a), konstanta laju penurunan mutu (k), dan hasil pendugaan umur simpan berdasarkan parameter pH disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Nilai E_a , k_0 , k , dan Umur Simpan Pepes Ikan Bandeng Kaleng Parameter pH.

Suhu	E_a (kal/mol)	k_0	k /hari	Umur Simpan (hari)
30°C	16062,768	$5,97939 \times 10^8$	0,00154789	472
40°C			0,00362871	201
50°C			0,00806981	90

Penurunan nilai pH pada pepes ikan bandeng kaleng memiliki energi aktivasi (E_a) sebesar 16062,768 kal/mol. Suhu penyimpanan 30°C memiliki konstanta laju penurunan mutu terkecil dibandingkan suhu penyimpanan 40°C dan 50°C. Hal ini sejalan dengan teori kinetika reaksi yaitu semakin tinggi suhu (T), semakin besar laju reaksi (k) yang terjadi (Hariyadi, 2019). Syah (2012) juga menjelaskan bahwa nilai k yang meningkat menggambarkan laju penurunan mutu yang semakin cepat seiring dengan suhu penyimpanan yang semakin tinggi sehingga menghasilkan umur simpan yang lebih pendek. Berdasarkan konstanta laju penurunan mutu tersebut dan batas kritis pH yaitu 6,0 didapatkan umur simpan penyimpanan suhu 30°C memiliki umur simpan 472 hari, suhu 40°C 201 hari, dan suhu 50°C 90 hari.

4.3.3 Daya Ikat Air (DIA)

Daya Ikat Air (DIA) atau *Water Holding Capacity* (WHC) merupakan parameter fisikokimia yang merepresentasikan kemampuan protein daging ikan bandeng untuk mengikat air bebas di dalam jaringannya, baik air bawaan maupun air yang ditambahkan, ketika produk dikenai gaya mekanis eksternal seperti pemerasan, pemanasan, atau berupa gaya sentrifugasi (Zayas, 1997). Metode sentrifugasi mengukur volume air bebas yang terlepas dari kapiler serat otot daging akibat gaya sedimentasi tinggi (Muchtadi *et al.*, 2019).

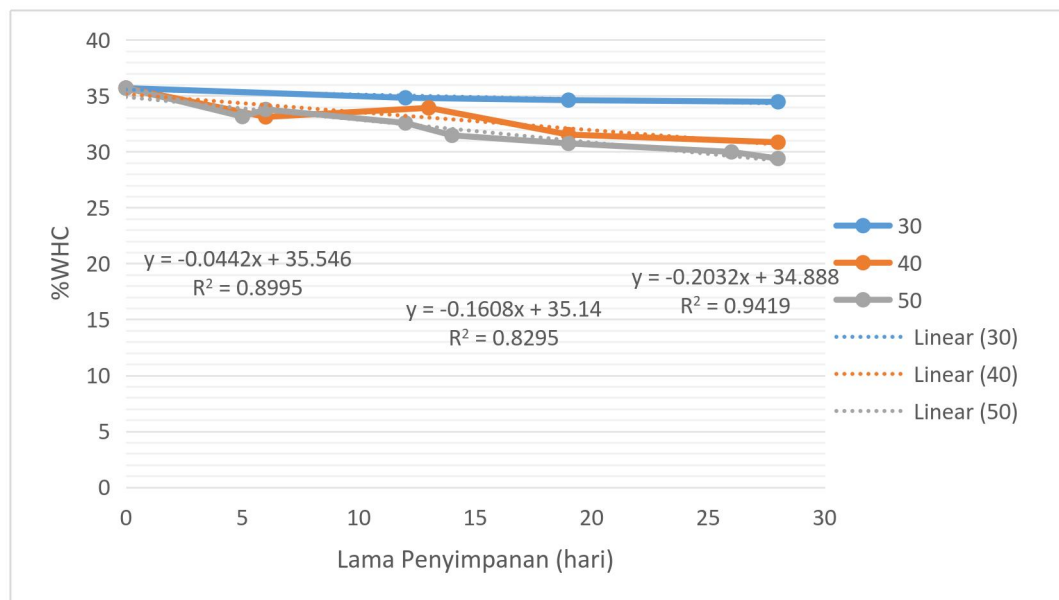
Berdasarkan hasil analisis daya ikat air pada tabel 7, 8, dan 9 didapatkan penurunan daya ikat air paling signifikan terdapat pada suhu penyimpanan 50°C. Penurunan persentase DIA disebabkan oleh proses denaturasi termal dan agregasi protein miofibril (terutama protein miosin dan aktin) pada daging ikan bandeng selama penyimpanan. Degradasi protein miofibril selama penyimpanan menyebabkan perubahan struktur jaringan otot sehingga kemampuan jaringan dalam mengikat dan mempertahankan air menurun. Akibatnya, jumlah air yang terperangkap di dalam matriks jaringan menjadi semakin berkurang (Ansharullah *et al.*, 2018). Suhu penyimpanan yang lebih tinggi memberikan energi termal yang cukup untuk merusak ikatan hidrogen, interaksi hidrofobik, dan ikatan elektrostatik yang menstabilkan struktur tersier serta kuaterner protein otot ikan. Akibatnya, lipatan rantai polipeptida protein miofibril terbuka (*unfolding*) (Strzelczak, 2021).

Terbukanya lipatan protein ini mengekspos gugus-gugus hidrofobik yang semula tersembunyi di bagian dalam struktur protein. Gugus-gugus hidrofobik yang terekspos ini saling berinteraksi secara acak dan berikatan membentuk agregat protein baru yang padat melalui jembatan disulfida silang (Geng *et al.*, 2023). Agregasi protein miofibril menyebabkan terjadinya pengerutan jaringan serat otot daging ikan, yang secara langsung merusak struktur kapiler mikro tempat air bebas terperangkap (Ansharullah *et al.*, 2018). Akibat hilangnya ruang kapiler tersebut, air bebas tidak mampu lagi dipertahankan oleh jaringan protein otot dan bermigrasi ke luar serat daging menjadi cairan eksudat bebas (Geng *et al.*, 2023).

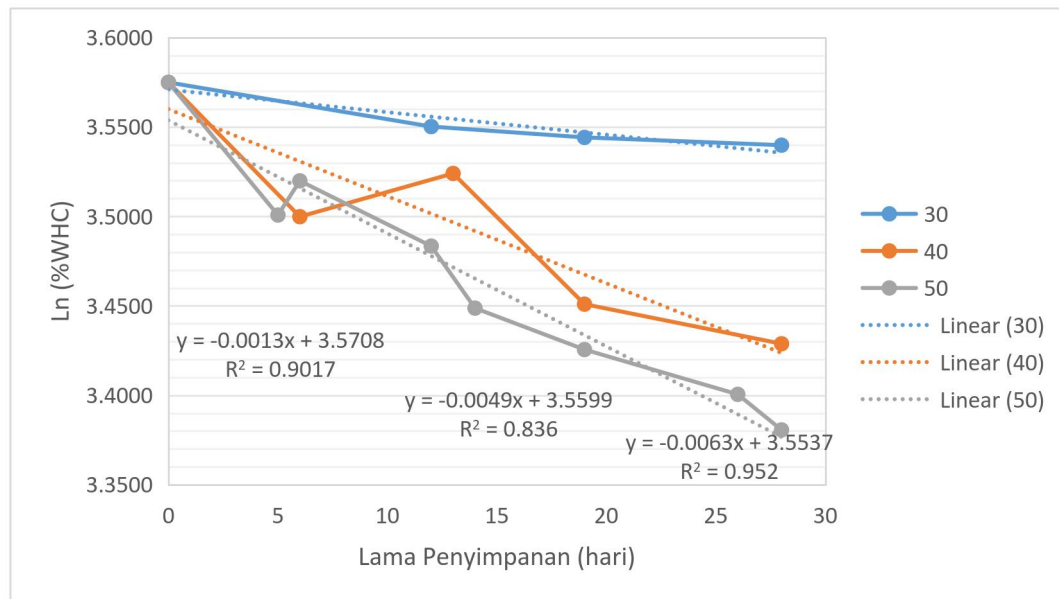
Selama penyimpanan, nilai daya ikat air cenderung menurun secara bertahap. Penurunan kemampuan mengikat air tersebut menyebabkan meningkatnya jumlah cairan yang terpisah di dalam kaleng. Akibatnya, mutu sensoris produk ikut menurun, ditandai dengan tekstur daging ikan yang menjadi lebih keras, rapuh, berpasir, serta berkurangnya kesan berair (*juiciness*) saat dikonsumsi (Soeparno, 2009).

4.3.3.1 Pemilihan Ordo Reaksi Parameter Daya Ikat Air

Data penurunan DIA pada tiap suhu penyimpanan dilakukan pemetaan hubungan pada berbagai suhu terhadap waktu penyimpanan yang digambarkan pada gambar 12 dan gambar 13 sehingga didapatkan persamaan regresi linier dalam bentuk ordo 0 dan ordo 1.



Gambar 12. Grafik Ordo 0 Daya Ikat Air



Gambar 13. Grafik Ordo 1 Daya Ikat Air

Berdasarkan grafik pada gambar 12 didapatkan persamaan regresi ordo 0 pada suhu penyimpanan 30°C $y = -0.0442x + 35.546$ dengan $R^2 = 0.8995$, suhu penyimpanan 40°C $y = -0.1608x + 35.14$ dengan $R^2 = 0.8295$, dan pada suhu penyimpanan 50°C $y = -0.2032x + 34.888$ dengan $R^2 = 0.9419$.

Berdasarkan grafik pada gambar 13 didapatkan persamaan regresi ordo 1 pada suhu penyimpanan 30°C $y = -0.0013x + 3.5708$ dengan $R^2 = 0.9017$, suhu penyimpanan 40°C $y = -0.0049x + 3.5599$ dengan $R^2 = 0.836$, dan pada suhu penyimpanan 50°C $y = -0.0063x + 3.5537$ dengan $R^2 = 0.952$.

Setelah mendapatkan persamaan regresi pada tiap penurunan mutu dalam bentuk ordo 0 dan ordo 1, maka dapat ditentukan ordo reaksi yang paling sesuai terhadap penurunan daya ikat air. Ordo terpilih merupakan ordo dengan koefisien determinasi (R^2) paling tinggi.

Tabel 13. Hasil penentuan Ordo Reaksi Daya Ikat Air

Suhu Penyimpanan	Ordo Reaksi	R ²	Ordo Terpilih
30°C	0	0,8995	1
40°C		0,8295	
50°C		0,9419	
30°C	1	0,9017	
40°C		0,836	
50°C		0,952	

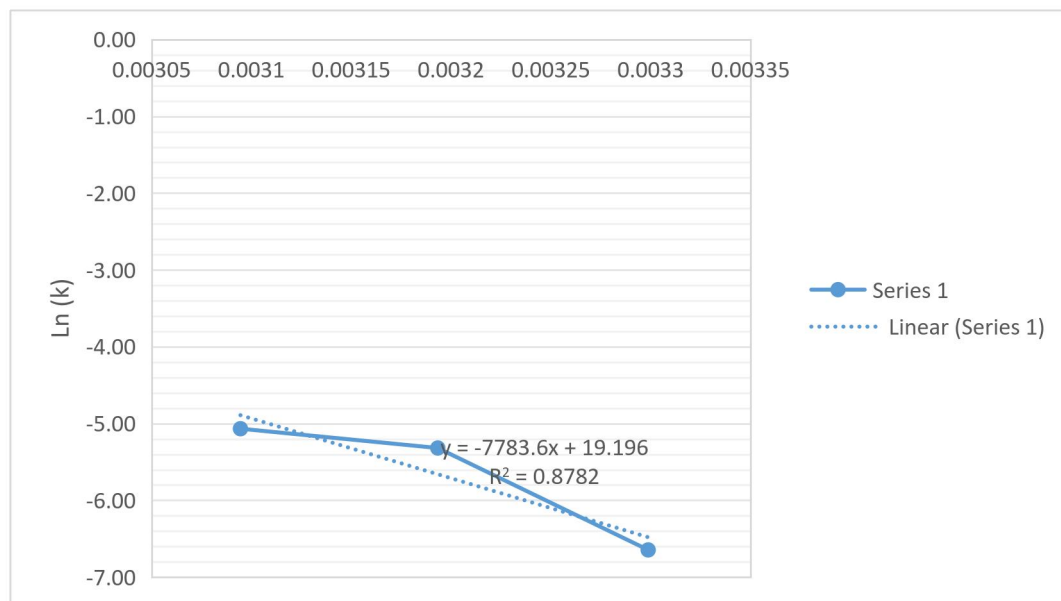
Berdasarkan Tabel 13 didapatkan bahwa penurunan daya ikat air memiliki ordo reaksi 1. Hal tersebut menunjukkan bahwa laju kecepatan tertinggi terjadi pada awal penyimpanan dan akan menurun selama proses penyimpanan (Hariyadi, 2019). Ordo reaksi 1 dipilih karena merupakan ordo yang paling menggambarkan penurunan mutu daya ikat air yang ditunjukkan pada perbandingan koefisien determinasi (R^2) pada berbagai suhu penyimpanan dengan ordo 0 dan ordo 1. Semakin tinggi nilai R^2 pada dua variabel, maka semakin erat pula hubungan dari kedua variabel tersebut (Nuryadi *et al.*, 2017).

4.3.3.2 Perhitungan Umur Simpan Parameter Daya Ikat Air

Dari tabel 13, telah diketahui ordo reaksi yang digunakan untuk penentuan umur simpan berdasarkan nilai daya ikat air adalah ordo 1. Hal ini menandakan bahwa penurunan daya ikat protein terhadap air memiliki laju tertinggi pada awal penyimpanan dan menurun selama proses penyimpanan (Hariyadi, 2019). Karena nilai $b = k$, maka didapatkan nilai k dari masing-masing persamaan regresi ordo 1. Nilai k kemudian diplotkan ke dalam grafik dengan $1/T$ sebagai sumbu x dan $\ln(k)$ sebagai sumbu y seperti pada gambar 13.

Tabel 14. Hubungan $1/T$ (K) terhadap $\ln(k)$ Daya Ikat Air

Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Suhu (K)	$1/T$ (K)	k	$\ln(k)$
30 $^{\circ}\text{C}$	303,15	0,003298697	0,0013	-6,65
40 $^{\circ}\text{C}$	313,15	0,003193358	0,0049	-5,32
50 $^{\circ}\text{C}$	323,15	0,003094538	0,0063	-5,07

Gambar 14. Grafik Hubungan $1/T$ (K) dengan $\ln(k)$ Daya Ikat Air

Berdasarkan persamaan tersebut, diperoleh nilai energi aktivasi (E_a) serta konstanta laju penurunan mutu (k) pada suhu penyimpanan 30 $^{\circ}\text{C}$, 40 $^{\circ}\text{C}$, dan 50 $^{\circ}\text{C}$. Selanjutnya, nilai konstanta laju (k) tersebut disubstitusikan ke dalam persamaan pendugaan umur simpan berdasarkan model kinetika ordo 1 sehingga diperoleh estimasi umur simpan pepes ikan bandeng kaleng. Nilai energi aktivasi (E_a), konstanta laju penurunan mutu (k), dan hasil pendugaan umur simpan berdasarkan parameter daya ikat air disajikan pada Tabel 15.

Tabel 15. Nilai Ea, k0, k, dan Umur Simpan Pepes Ikan Bandeng Kaleng
Parameter Daya Ikat Air.

Suhu	Ea (kal/mol)	k0	k/hari	Umur Simpan (hari)
30°C	15458,2296	$2,17129 \times 10^8$	0,00153422	377
40°C			0,00348315	166
50°C			0,00751657	77

Penurunan daya ikat air pada pepes ikan bandeng kaleng memiliki energi aktivasi (Ea) sebesar 15458,2296 kal/mol. Suhu penyimpanan 30°C memiliki konstanta laju penurunan mutu terkecil dibandingkan suhu penyimpanan 40°C dan 50°C. Meningkatnya nilai k menunjukkan bahwa laju penurunan mutu berlangsung lebih cepat pada suhu penyimpanan yang lebih tinggi, sehingga memperpendek umur simpan produk. Berdasarkan konstanta laju penurunan mutu tersebut dan batas kritis DIA yaitu 20% didapatkan umur simpan penyimpanan suhu 30°C memiliki umur simpan 377 hari, suhu 40°C 166 hari, dan suhu 50°C 77 hari.

4.4 Penentuan Umur Simpan

Berdasarkan data yang telah diperoleh dari perhitungan pendugaan umur simpan pada parameter penurunan pH dan daya ikat air didapatkan data pada tabel berikut

Tabel 16. Data Umur Simpan dan Ea Setiap Parameter

Suhu Penyimpanan	Umur Simpan Berdasarkan Parameter Mutu	
	pH	Daya Ikat Air
30°C	472 hari	377 hari
40°C	201 hari	166 hari
50°C	90 hari	77 hari
Ea (Energi Aktivasi)	16062,768 kal/mol	15458,2296 kal/mol

Syah (2012) menjelaskan bahwa penentuan parameter kerusakan yang dipilih untuk penentuan umur simpan akhir adalah yang memiliki dugaan umur simpan terpendek. Selain itu Hariyadi (2019) menyebutkan bahwa E_a atau Energi Aktivasi merupakan tingkat energi minimum yang diperlukan untuk memulai suatu reaksi perubahan. Mengacu pada hal tersebut dapat dikatakan bahwa semakin kecil E_a suatu reaksi perubahan, maka reaksi tersebut akan berjalan semakin cepat sehingga dapat dijadikan pertimbangan dalam menentukan umur simpan produk akhir.

Pada tabel 16 umur simpan yang paling singkat merupakan parameter daya ikat air dengan umur simpan pada suhu penyimpanan 30°C adalah 377 hari. Angka tersebut lebih kecil dibandingkan umur simpan parameter pH yaitu 472 hari. Selain itu nilai E_a parameter daya ikat air juga lebih kecil dari parameter pH yaitu 15458,2296 kal/mol dibandingkan dengan 16062,768 kal/mol. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka dugaan umur simpan dari parameter daya ikat air dipilih sebagai penentuan umur simpan akhir dari produk pepes ikan bandeng dalam kaleng.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menguraikan mengenai hasil dari: (5.1) Kesimpulan dan (5.2) Saran.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dijabarkan, didapatkan kesimpulan bahwa umur simpan produk pepes ikan bandeng dalam kaleng pada suhu penyimpanan 30°C memiliki umur simpan 377 hari, suhu 40°C 166 hari, dan suhu 50°C 77 hari.

5.2 Saran

Setelah mengevaluasi penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat disampaikan adalah

1. Perlu dilakukan penentuan batas kritis menggunakan organoleptik uji hedonik agar lebih memvalidasi batas kritis berdasarkan penerimaan konsumen.
2. Disarankan adanya analisis lanjutan terhadap profil asam lemak rantai pendek (seperti asam butirat) berbasis GC-MS untuk memperkuat evaluasi ketengikan secara hidrolitik pada produk.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminah, S. (2017). *Teknologi Pengolahan dan Pengawetan Pangan* (Nurrahman, Ed.; 2nd ed.). Unimus Press.
- Andarwulan, N., Kusnandar, F., & Herawati, D. (2011). *Analisis Pangan*. Dian Rakyat.
- Ansharullah, Ibrahim, Moh. N., & Wiranty, E. (2018). Karakteristik Fisikokimia dan Organoleptik Surimi Berbasis Ikan Gabus - Tepung Sagu pada Penyimpanan Dingin. *REKA PANGAN*, 12(1), 47–48.
- Aprilio, K. (2024). *Pendugaan Umur Simpan Tumis Ikan Tuna Kaleng di UMKM XYZ dengan Metode ASLT Model Arrhenius*. Skripsi, Institut Pertanian Bogor.
- Arif, S., Wijana, S., & Mulyadi, A. F. (2015). Pendugaan Umur Simpan Minuman Sari Buah Sirsak (*Annona muricata* L.) Berdasarkan Parameter Kerusakan Fisik Dan Kimia Dengan Metode Accelerated Shelf Life Testing (ASLT). *Jurnal Industria*, 4(2), 89–96.
- Ayu, D. F., Efendy, R., Nopiani, Y., Saputra, E., & Haryani, S. (2022). Pendugaan Umur Simpan Ikan Patin Salai Menggunakan Metode Akselerasi Dengan Kemasan HDPE dan Teknik Pengemasan Aluminium Foil. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pertanian Indonesia*, 14(2), 88–96.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan. (2023). *Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 10 Tahun 2023 tentang Penerapan Program Manajemen Risiko Keamanan Pangan di Sarana Produksi Pangan Olahan*. BPOM RI.
- Badan Standardisasi Nasional. (1991). SNI 01-2352-1991. *Metoda Pengujian Kimia Produk Perikanan Penentuan Angka Asam Tiobarbiturat*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (1992). SNI 01-2891-1992. *Cara Uji Makanan dan Minuman*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (1994). SNI 01-3548-1994. *Sardin Media Saus Tomat dalam Kaleng*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2023). SNI 9193-2023. *Bandeng dalam Kemasan Kaleng*. Badan Standardisasi Nasional.
- Bratt, L. (2013). *Technical Guide To Fish Canning. GLOBEFISH Research Programme* (Vol. 111). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Connell, J. J. (1990). Control of Fish Quality. *Fishing News Books* (3rd ed), Oxford.
- De Schutter, D., De Meester, M. R., Saison, D., Delvaux, F., Derdelinckx, G., Delvaux, F., Rock, J.-M., Brasserie d'Orval S.A., Neven, H., & Brewery Duvel Moortgat N.V. (2008). Characterization and Quantification of Thermal Load during Wort Boiling. In *Centre for Malting and Brewing Science*.
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2019). A Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products. *Antioxidants*, 8(10), 429.
- Du, Z. & Bramlage, W. J. (1992). Modified Thiobarbituric Acid Assay for Measuring Lipid Oxidation in Sugar-Rich Plant Tissue Extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40, 1566-1570.
- Europe Food Information Council. (2013). *Food Shelf Life and Its Importance for Consumers*. EUFIC.
- Fauzi, A., Titi Surti, & Laras Rianingsih. (2016). Efektivitas Daun Teh (*Camellia sinensis*) Sebagai Antioksidan Pada Fillet Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) Selama Penyimpanan Dingin. *Jurnal Pengolahan & Bioteknologi Hasil Perikanan*, 5(4).
- Faza, F. I. I., Wahyu, Y. I., & Ariadi, P. S. (2024). Pengendalian Produk Sterilisasi Komersial Tuna Dalam Kemasan Kaleng Dengan Menggunakan Penerapan Sistem Hazard Analysis Critical Control Point. *Jurnal Sains Dan Teknologi Pangan*, 9(6), 7891–7902.
- Fellows, P. J. (2017). *Food processing technology: Principles and practice* (4th ed.). Woodhead Publishing.
- Geng, L., Liu, K., & Zhang, H. (2023). Lipid Oxidation In Foods And Its Implications On Proteins. *Frontiers in Nutrition*, 10.
- Hafiludin, H. (2015). Analisis Kandungan Gizi Pada Ikan Bandeng Yang Berasal Dari Habitat Yang Berbeda. *Jurnal Kelautan*, 8(1), 37.
- Hariyadi, P. (2019). Masa Simpan dan Batas Kedaluwarsa Produk Pangan: Pendugaan, Pengelolaan, dan Penandaannya. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hidayat, N., Dewi, S. S. N., Rahmadani, P., Bulu, S. Y., Azmiah, D. N., Saptaputra, A. R., & Agung, K. (2025). Kegiatan Pegabdian kepada Masyarakat Mengugah Lidah, Menjaga Warisan- Pepes Ikan Bandeng Sebagai Cita Rasa Nusantara untuk Peningkatan Gizi Warga RT 31 Kelurahan Sebengkok. *Karya Nyata: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(2), 162–169.

- Husen, J., Bahri, S., & Rasulu, H. (2023). Karakteristik Mutu Organoleptik Ayam Paniki Yang Dikemas Dengan Proses Pengalengan. *Jurnal Pertanian Khairun*, 2(2), 224–230.
- Huss, H. H. (1995). *Quality and Quality Changes in Fresh Fish* (FAO Fisheries Technical Paper No. 348). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Jannah, M., Handayani, R., Dipokusumo, B., Werdiningsih, W., Pangan, F. T., Agroindustri, D., & Mataram, U. (2018). Peningkatan Mutu dan Daya Simpan Ikan Pindang Kuning “Pindang Rumbuk” dengan Perlakuan Lama Sterilisasi. *Pro Food (Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan)*, 4(1), 311-323.
- Khasanah, N., Triyannanto, E., & Muhlisin. (2023). Pengaruh Pre-Cooking terhadap Kualitas Fisik dan Total Bakteri Dakgalbi Kaleng. *Jurnal Triton*, 14(1), 276–284.
- Kim, D. Y., Park, S. W., & Shin, H. S. (2023). Fish Freshness Indicator for Sensing Fish Quality during Storage. *Foods*, 12, 1801.
- Kusumaningrum, A., Kurniadi, M., Nurhikmat, A., Susanto, A., Prayogi, S., & Amri, A. F. (2021). Aplikasi Metode Pengalengan Pada Produk Siap Santap Berbasis Nasi. *Jurnal Litbang Industri*, 11(1), 9–15.
- Laila, U., Indriani, S., & Nurhayati, R. (2020). Penentuan Tingkat Ketengikan Secara Spektrofotometri pada Produk Pangan Berwarna Melalui Metode Thiobarbituric Acid. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*, 12(1), 19-30.
- Leasca, S. (2025). *Here’s How Long Your Tinned Fish Lasts — and When to Toss It*. Food & Wine.
- Lower, S. (2016). *Physical and Theoretical Chemistry*. LibreTexts 2016.
- Maulinda, L., Nasrul, Z., & Nurbaity. (2017). Hidrolisis Asam Lemak Dari Buah Sawit Sisa Sortiran. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 6(2), 1–15.
- Mendes, R., Cardoso, C., & Pestana, C. (2009). Measurement of Malondialdehyde in Fish: A Comparison Study Between HPLC Methods and The Traditional Spectrophotometric Test. *Food Chemistry*, 112, 1038-1045.
- Melinda, W., Khasrad, & Jaswandi. (2023). Komposisi pH, Susut Masak, dan Daya Ikat Air pada Berbagai Jenis Umur dan Jenis Otot yang Berbeda pada Sapi Bali. *Wahana Peternakan*, 7(1), 31-39.
- Muchtadi, T., Sugiyono, & Ayustaningwarno, F. (2019). Ilmu Pengetahuan Bahan Pangan. ALFABETA.
- Murthy, L. N., Padiyar, P. A., Rao, B. M., Asha, K. K., Jesmi, D., Girija, P. G., Prasad, M. M., & Ravishankar, C. N. (2016). Nutritional Profile and Heavy

- Metal Content of Cultured Milkfish (*Chanos chanos*). *Fishery Technology*, 53, 245–249.
- Nirwana, N. K., Eris, F. R., Riyanto, R. A., & Putri, N. A. (2022). Pendugaan Umur Simpan Food Bar Talas Beneng Metode Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT) Model Arrhenius dengan Kemasan Aluminium Foil. *Prosiding Seminar Nasional Instiper*, 1(1), 323–331.
- Nuryadi, Astuti, T. D., Utami, E. S., & Budiantara, M. (2017). Dasar-Dasar Statistik Penelitian. SIBUKU MEDIA.
- Pegg, R. B. (2001). Spectrophotometric Measurement of Secondary Lipid Oxidation Products. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, D2.4.1-D2.4.18.
- Perceka, M. L., Nurhayati, T., & Nuryati, S. (2015). Histological Changes On Milkfish Skin (*Chanos chanos*) During Postmortem. *KnE Life Sciences*, 1, 162-167.
- Prego, R., Trigo, M., Martínez, B., & Aubourg, S. P. (2022). Effect of Previous Frozen Storage, Canning Process and Packing Medium On the Fatty Acid Composition of Canned Mackerel. *Marine Drugs*, 20(11), 666.
- Ray, B., & Bhunia, A. (2013). *Fundamental food microbiology* (5th ed.). CRC Press.
- Riyanto, R., Supriyadi, Suparmo, & Heruwati, E. S. (2012). Persamaan Prediksi Umur Simpan Filet Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) yang Dikemas Vakum dalam HDPE. *JPB Perikanan*, 7(2), 105-116.
- Rosari, M. I., Ma'aruf, W. F., & Agustini, T. W. (2014). Pengaruh Ekstra Kasar Buah Mahkota Dewa (*Phaleria macrocarpa*) Sebagai Antioksidan Pada Fillet Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forsk) Segar. *Jurnal Pengolahan Dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 3(2), 34–43.
- Secci, G., & Parisi, G. (2016). From Farm To Fork: Lipid Oxidation In Fish products. A Review. *Italian Journal of Animal Science*, 15(1), 124–136.
- Setyastuti, A. I., Ayu, Rr. N., & Sarmin, S. (2022). Antioxidant Activity of Corncob Liquid Smoke and Traditional to Smoked Milkfish (*Chanos chanos* Forsk) During Frozen Storage. *Acta Aquatica Aquatic Sciences Journal*, 9(3), 216–221.
- Shah, M. A., Bosco, S. J. D., Mir, S. A., & Sunooj, K. V. (2017). Evaluation of Shelf Life of Retort Pouch Packaged Rogan Josh, a Traditional Meat Curry of Kashmir, India. *Food Packaging and Shelf Life*, 12, 76–82.
- Soeparno. (2009). *Ilmu dan Teknologi Daging*. Gadjah Mada University Press.

- Strzelczak, A., Balejko, J., Szymczak, M., & Witczak, A. (2021). Effect of Protein Denaturation Temperature on Rheological Properties of Baltic Herring (*Clupea harengus* membras) Muscle Tissue. *Foods*, 10(4), 829.
- Surahman, D. N., Ekafitri, R., Desnilasari, D., Ratnawati, L., Miranda, J., Cahyadi, W., & Indriati, A. (2020). Pendugaan Umur Simpan Snack Bar Pisang Dengan Model Arrhenius pada Suhu Penyimpanan Berbeda. *Biopropal Industri*, 11(2), 127.
- Syah, D. (2012). *Pengantar Teknologi Pangan*. IPB Press.
- Winarno, F.G. (1984). *Kimia Pangan dan Gizi*. PT Gramedia.
- Zamroni, A., Mulyawan, I., & Priyatna, F. N. (2015). Potensi Ekspor Nener Bandeng Indonesia: Peluang dan Tantangan. *Jurnal Kebijakan Sosek KP*, 5(2), 129–136.
- Zayas, J. F. (1997). *Water Holding Capacity of Proteins. In Functionality of Proteins in Food*. Heidelberg: Springer.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Prosedur Analisis Nilai TBA Metode AOCS method cd 19-90 (Andarwulan *et al.*, 2011)

Sebanyak 200 mg serbuk TBA ditimbang menggunakan neraca analitik, kemudian dimasukkan ke dalam gelas kimia atau labu takar 100 mL. Selanjutnya ditambahkan sebagian 1-butanol, lalu larutan diaduk hingga seluruh serbuk TBA larut sempurna. Setelah larut, volume larutan ditepatkan hingga 100 mL dengan penambahan 1-butanol. Larutan kemudian dikocok hingga homogen dan disimpan dalam botol berwarna gelap untuk menghindari degradasi akibat paparan cahaya.

Sebanyak 50–200 mg sampel ditimbang menggunakan neraca analitik, kemudian dimasukkan ke dalam labu takar 25 mL. Selanjutnya, 1-butanol ditambahkan hingga mencapai tanda batas, lalu larutan dikocok hingga homogen. Sebanyak 5 mL larutan sampel dipipet dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi tertutup. Ke dalam tabung tersebut ditambahkan 5 mL larutan pereaksi TBA, kemudian campuran dikocok hingga homogen. Tabung reaksi kemudian dipanaskan dalam penangas air pada suhu 95°C selama 2 jam. Setelah pemanasan selesai, tabung didinginkan menggunakan air mengalir hingga mencapai suhu ruang. Larutan hasil reaksi selanjutnya diukur nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 528 nm. Larutan blanko dibuat dengan prosedur yang sama tanpa menggunakan sampel.

- Bilangan TBA dihitung menggunakan rumus

$$C = \frac{0,355 \times B}{W}$$

Keterangan:

C = Konsentrasi malonaldehid ($\mu\text{mol/g}$)

B = Absorbansi sampel - absorbansi blangko

W = Berat sampel (g)

- Konversi $\mu\text{mol/g}$ ke dalam bentuk mg/kg

Rumus molekul malonaldehid = $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$

Berat molekul malonaldehid = 72,06 g/mol atau 72,06 mg/mmol

$$\frac{1 \mu\text{mol}}{1 \text{ g}} = \frac{10^{-6} \text{ mol}}{10^{-3} \text{ kg}} = 10^{-3} \text{ mol/kg} = 1 \text{ mmol/kg} \times 1 \text{ mg/mmol} = \text{mg/kg}$$

- Rumus akhir

$$C (\text{mg/kg}) = \frac{0,355 \times B}{W} \times 72,06$$

Lampiran 2. Prosedur Analisis Daya Ikat Air Metode Sentrifugasi (Muchtadi *et al.*, 2019)

Analisis diawali dengan penimbangan sampel daging yang telah dicacah halus sebanyak 10 g, kemudian dimasukkan ke dalam tabung sentrifus yang telah diketahui bobot kosongnya. Selanjutnya, ke dalam tabung tersebut ditambahkan 10 ml akuades, dikocok hingga homogen, dan ditutup rapat. Sampel kemudian didinginkan atau diinkubasi di dalam lemari pendingin selama 1 jam guna memberikan waktu bagi air untuk berinteraksi dengan matriks protein.

Setelah masa inkubasi selesai, sampel disentrifugasi dengan kecepatan 3.000 rpm selama 20 menit. Proses ini akan mengakibatkan terjadinya pemisahan antara air yang terikat oleh jaringan daging dengan air bebas (supernatan). Cairan yang terpisah kemudian dipisahkan dari endapan secara hati-hati. Tahap akhir adalah perhitungan nilai %DIA yang ditentukan berdasarkan rasio massa air yang terserap (selisih antara massa air awal yang ditambahkan dengan massa air yang terserap setelah sentrifugasi) terhadap berat sampel daging yang digunakan.

$$\%DIA = \frac{m2 - m1}{ms} \times 100\%$$

Keterangan:

m1 = Berat sampel + tabung sentrifus (g)

m2 = Berat sampel + tabung sentrifus + air terserap (g)

ms = Berat sampel (g)

Lampiran 3. Prosedur Analisis Penentuan pH (SNI 01-2891-1992)

Analisis diawali dengan menyiapkan pH meter dan sampel. Kemudian elektroda yang telah dibersihkan dengan air suling, dicelupkan ke dalam sampel yang akan diperiksa. Catat dan baca nilai pH pada skala pH meter yang ditunjukkan jarum.

Lampiran 4. Hasil Perhitungan Penelitian Pendahuluan Nilai TBA

$$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times B}{W} \times 72,06$$

Hari	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-Rata
0	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,023}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 11,77 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,013}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 6,65 \text{ mg/kg}$	9,21 mg/kg
5	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,020}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 10,23 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,032}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 16,37 \text{ mg/kg}$	13,30 mg/kg
10	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,004}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 2,05 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,008}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 4,09 \text{ mg/kg}$	3,07 mg/kg
15	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,081}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 41,44 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,069}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 35,30 \text{ mg/kg}$	38,37 mg/kg

Lampiran 5. Hasil Perhitungan Analisis Parameter Nilai TBA

$$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times B}{W} \times 72,06$$

Suhu penyimpanan 30°C

Hari	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-Rata
0	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,023}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 11,77 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,013}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 6,65 \text{ mg/kg}$	9,21 mg/kg
12	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,015}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 7,67 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,007}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 3,58 \text{ mg/kg}$	5,63 mg/kg
19	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,036}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 18,42 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,026}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 13,30 \text{ mg/kg}$	15,86 mg/kg
28	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,100}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 51,16 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,104}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 53,21 \text{ mg/kg}$	52,18 mg/kg

Suhu penyimpanan 40°C

Hari	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-Rata
0	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,023}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 11,77 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,013}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 6,65 \text{ mg/kg}$	9,21 mg/kg
6	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,017}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 8,70 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,011}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 5,63 \text{ mg/kg}$	7,16 mg/kg
13	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,020}{0,05} \times 72,06$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,018}{0,05} \times 72,06$	9,72 mg/kg

	$C \text{ (mg/kg)} = 10,23 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = 9,21 \text{ mg/kg}$	
19	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,074}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 37,86 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,070}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 35,81 \text{ mg/kg}$	36,84 mg/kg
28	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,096}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 49,12 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,096}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 49,12 \text{ mg/kg}$	49,12 mg/kg

Suhu penyimpanan 50°C

Hari	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-Rata
0	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,023}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 11,77 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,013}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 6,65 \text{ mg/kg}$	9,21 mg/kg
5	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,032}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 16,37 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,020}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 10,23 \text{ mg/kg}$	13,30 mg/kg
6	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,005}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 2,56 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,011}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 5,63 \text{ mg/kg}$	4,09 mg/kg
12	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,024}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 12,28 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,014}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 7,16 \text{ mg/kg}$	9,72 mg/kg
14	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,031}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 15,86 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,039}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 19,95 \text{ mg/kg}$	17,90 mg/kg
19	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,108}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 55,25 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,092}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 47,07 \text{ mg/kg}$	51.16 mg/kg

26	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,025}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 12,79 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,035}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 17,91 \text{ mg/kg}$	15,35 mg/kg
28	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,154}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 78,79 \text{ mg/kg}$	$C \text{ (mg/kg)} = \frac{0,355 \times 0,170}{0,05} \times 72,06$ $C \text{ (mg/kg)} = 86,98 \text{ mg/kg}$	82,88 mg/kg

Lampiran 6. Hasil Perhitungan Analisis Parameter pH

Suhu penyimpanan 30°C

Hari	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-Rata
0	6,73	6,73	6,73 ± 0,00
12	6,71	6,71	6,71 ± 0,00
19	6,72	6,70	6,71 ± 0,01
28	6,68	6,69	6,69 ± 0,01

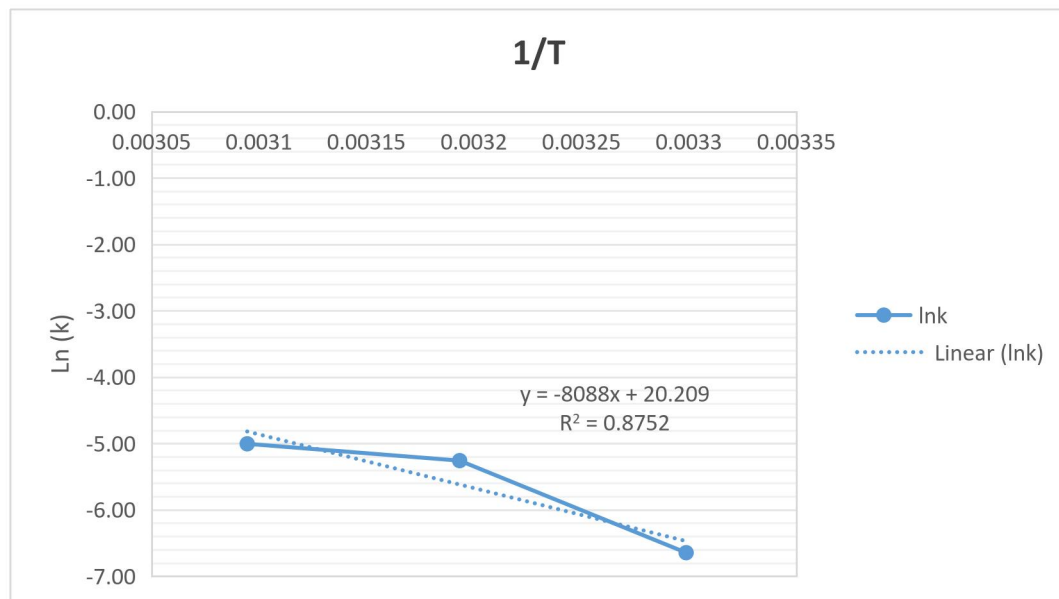
Suhu penyimpanan 40°C

Hari	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-Rata
0	6,73	6,73	6,73 ± 0,00
6	6,69	6,71	6,70 ± 0,01
13	6,67	6,65	6,66 ± 0,01
19	6,62	6,62	6,62 ± 0,00
28	6,61	6,57	6,59 ± 0,03

Suhu penyimpanan 50°C

Hari	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-Rata
0	6,73	6,73	6,73 ± 0,00
5	6,70	6,69	6,70 ± 0,01
6	6,70	6,68	6,69 ± 0,01
12	6,67	6,67	6,67 ± 0,00
14	6,64	6,66	6,65 ± 0,01
19	6,62	6,65	6,64 ± 0,02
26	6,54	6,56	6,55 ± 0,01
28	6,54	6,54	6,54 ± 0,00

Perhitungan Umur Simpan Parameter pH



Persamaan regresi:

$$y = 20,209 - 8088x$$

$$a \text{ (intercept)} = 20,209$$

$$b \text{ (slope)} = -8088$$

Persamaan *Arrhenius*

$$k = k_0 \times e^{(-E_a/RT)}$$

Persamaan *Arrhenius* tersebut di-ln-kan sehingga menjadi

$$\ln(k) = \ln(k_0) - (E_a/R) \times (1/T)$$

Persamaan tersebut sama dengan persamaan regresi, sehingga

$$\ln(k) = 20,209 + 8088(1/T)$$

Penentuan energi aktivasi

$$-E_a/R = b$$

$$-E_a/R = -8088 \text{ dengan } R = 1,986 \text{ kal/mol}$$

$$E_a = 8088 \times 1,986 = 16062,768 \text{ kal/mol}$$

Penentuan k_0

$$\ln(k_0) = a = 20,209$$

$$k_0 = e^{20,209} = 5,97939 \times 10^8$$

$$k = k_0 \times e^{(-E_a/RT)}$$

$$k = 5,97939 \times 10^8 \times e^{(-16062,768/1,986 \times T)}$$

$$k \text{ } 30^\circ\text{C} \text{ (303,15 K)} = 0.00154789/\text{hari}$$

$$k \text{ } 40^\circ\text{C} \text{ (313,15 K)} = 0.00362871/\text{hari}$$

$$k \text{ } 50^\circ\text{C} \text{ (323,15 K)} = 0.00806981/\text{hari}$$

Karena penurunan nilai pH merupakan reaksi ordo 0 maka umur simpan pepes ikan bandeng kaleng berdasarkan parameter nilai pH dihitung menggunakan rumus berikut:

$$t = (A_0 - A_t) / k$$

dengan $A_0 = 6,73$ dan $A_t = 6,00$

Pada suhu 30°C

$$t \text{ (} 30^\circ\text{C)} = (6,73 - 6,00) / 0.00154789 = 471,61 \text{ hari}$$

Pada suhu 40°C

$$t \text{ (} 40^\circ\text{C)} = (6,73 - 6,00) / 0.00362871 = 201,17 \text{ hari}$$

Pada suhu 50°C

$$t \text{ (} 50^\circ\text{C)} = (6,73 - 6,00) / 0.00806981 = 90,46 \text{ hari}$$

Lampiran 7. Hasil Perhitungan Analisis Parameter Daya Ikat Air

$$\%DIA = \frac{m2 - m1}{ms} \times 100\%$$

Suhu penyimpanan 30°C

Hari	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-Rata
0	$\%DIA = \frac{26,990 - 23,417}{10,005} \times 100\%$ $\%DIA = 35,71\%$	$\%DIA = \frac{26,444 - 22,877}{10,002} \times 100\%$ $\%DIA = 35,66\%$	35,69 ± 0,04%
12	$\%DIA = \frac{27,515 - 24,029}{10,008} \times 100\%$ $\%DIA = 34,83\%$	$\%DIA = \frac{26,601 - 23,119}{10,004} \times 100\%$ $\%DIA = 34,80\%$	34,82 ± 0,02%
19	$\%DIA = \frac{27,261 - 23,795}{10,011} \times 100\%$ $\%DIA = 34,62\%$	$\%DIA = \frac{26,406 - 22,946}{10,003} \times 100\%$ $\%DIA = 34,59\%$	34,61 ± 0,02%
28	$\%DIA = \frac{27,011 - 23,562}{10,001} \times 100\%$ $\%DIA = 34,49\%$	$\%DIA = \frac{27,553 - 24,108}{10,006} \times 100\%$ $\%DIA = 34,43\%$	34,46 ± 0,04%

Suhu penyimpanan 40°C

Hari	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-Rata
0	$\%DIA = \frac{26,990 - 23,417}{10,005} \times 100\%$ $\%DIA = 35,71\%$	$\%DIA = \frac{26,444 - 22,877}{10,002} \times 100\%$ $\%DIA = 35,66\%$	35,69 ± 0,04%
6	$\%DIA = \frac{26,315 - 22,999}{10,008} \times 100\%$ $\%DIA = 33,13\%$	$\%DIA = \frac{27,156 - 23,845}{10,002} \times 100\%$ $\%DIA = 33,10\%$	33,11 ± 0,02%

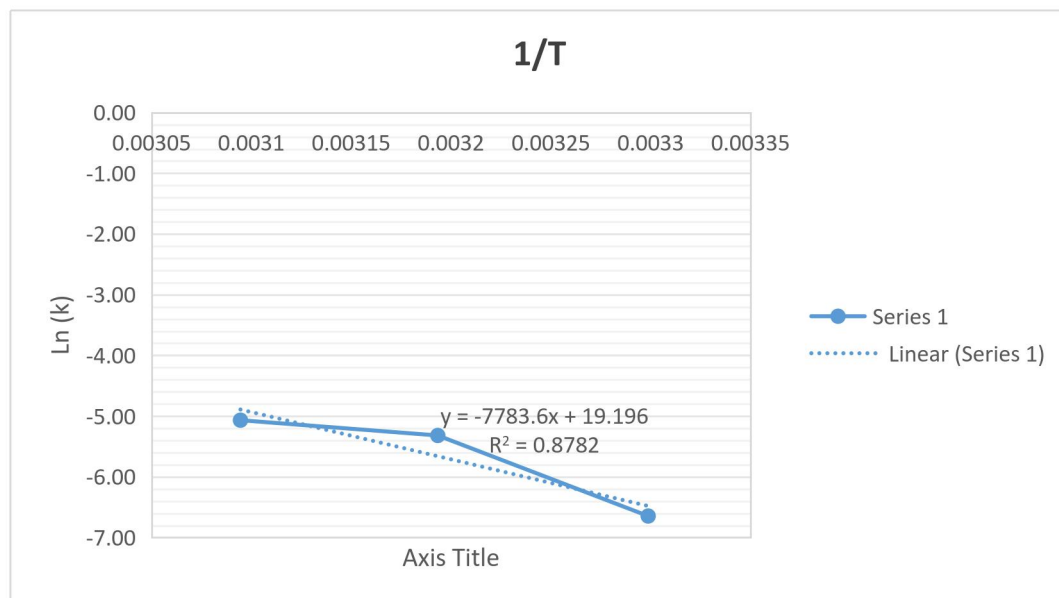
13	$\%DIA = \frac{26,663 - 23,269}{10,005} \times 100\%$ $\%DIA = 33,93\%$	$\%DIA = \frac{27,452 - 24,059}{10,007} \times 100\%$ $\%DIA = 33,91\%$	$33,92 \pm 0,01\%$
19	$\%DIA = \frac{26,681 - 23,526}{10,007} \times 100\%$ $\%DIA = 31,53\%$	$\%DIA = \frac{26,041 - 22,887}{10,003} \times 100\%$ $\%DIA = 31,53\%$	$31,53 \pm 0,00\%$
28	$\%DIA = \frac{27,015 - 23,929}{10,001} \times 100\%$ $\%DIA = 30,86\%$	$\%DIA = \frac{26,214 - 23,128}{10,009} \times 100\%$ $\%DIA = 30,83\%$	$30,84 \pm 0,02\%$

Suhu penyimpanan 50°C

Hari	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-Rata
0	$\%DIA = \frac{26,990 - 23,417}{10,005} \times 100\%$ $\%DIA = 35,71\%$	$\%DIA = \frac{26,444 - 22,877}{10,002} \times 100\%$ $\%DIA = 35,66\%$	$35,69 \pm 0,04\%$
5	$\%DIA = \frac{26,992 - 22,676}{10,004} \times 100\%$ $\%DIA = 33,15\%$	$\%DIA = \frac{26,230 - 22,916}{10,001} \times 100\%$ $\%DIA = 33,13\%$	$33,14 \pm 0,01\%$
6	$\%DIA = \frac{27,506 - 24,124}{10,006} \times 100\%$ $\%DIA = 33,80\%$	$\%DIA = \frac{26,790 - 23,412}{10,008} \times 100\%$ $\%DIA = 33,75\%$	$33,78 \pm 0,04\%$
12	$\%DIA = \frac{26,295 - 23,036}{10,003} \times 100\%$ $\%DIA = 32,58\%$	$\%DIA = \frac{27,119 - 23,861}{10,009} \times 100\%$ $\%DIA = 32,55\%$	$32,57 \pm 0,02\%$
14	$\%DIA = \frac{26,748 - 23,599}{10,005} \times 100\%$ $\%DIA = 31,47\%$	$\%DIA = \frac{26,013 - 22,868}{10,001} \times 100\%$ $\%DIA = 31,45\%$	$31,46 \pm 0,01\%$
19	$\%DIA = \frac{27,084 - 24,007}{10,004} \times 100\%$ $\%DIA = 30,76\%$	$\%DIA = \frac{26,416 - 23,343}{10,002} \times 100\%$ $\%DIA = 30,72\%$	$30,74 \pm 0,03\%$

26	$\%DIA = \frac{26,195 - 23,195}{10,006} \times 100\%$ $\%DIA = 29,98\%$	$\%DIA = \frac{26,955 - 23,956}{10,002} \times 100\%$ $\%DIA = 29,98\%$	$29,98 \pm 0,00\%$
28	$\%DIA = \frac{26,654 - 23,713}{10,002} \times 100\%$ $\%DIA = 29,40\%$	$\%DIA = \frac{25,837 - 22,897}{10,005} \times 100\%$ $\%DIA = 29,39\%$	$29,39 \pm 0,01\%$

Perhitungan Umur Simpan Parameter Daya Ikat Air



Persamaan regresi:

$$y = 19,196 - 7783,6x$$

$$a \text{ (intercept)} = 19,196$$

$$b \text{ (slope)} = - 7783,6$$

Persamaan *Arrhenius*

$$k = k_0 \times e^{(-E_a/RT)}$$

Persamaan *Arrhenius* tersebut di-ln-kan sehingga menjadi

$$\ln(k) = \ln(k_0) - (E_a/R) \times (1/T)$$

Persamaan tersebut sama dengan persamaan regresi, sehingga

$$\ln(k) = 19,196 + 7783,6(1/T)$$

Penentuan energi aktivasi

$$-E_a/R = b$$

$$-E_a/R = -7783,6 \text{ dengan } R = 1,986 \text{ kal/mol}$$

$$E_a = 7783,6 \times 1,986 = 15458.2296 \text{ kal/mol}$$

Penentuan k_0

$$\ln(k_0) = a = 19,196$$

$$k_0 = e^{19,196} = 2.17129 \times 10^8$$

$$k = k_0 \times e^{(-E_a/RT)}$$

$$k = 2.17129 \times 10^8 \times e^{(-15458.2296/1,986 \times T)}$$

$$k \text{ } 30^\circ\text{C} (303,15 \text{ K}) = 0.00153422/\text{hari}$$

$$k \text{ } 40^\circ\text{C} (313,15 \text{ K}) = 0.00348315/\text{hari}$$

$$k \text{ } 50^\circ\text{C} (323,15 \text{ K}) = 0.00751657/\text{hari}$$

Karena penurunan nilai daya ikat air merupakan reaksi ordo 1 maka umur simpan pepes ikan bandeng kaleng berdasarkan parameter nilai daya ikat air dihitung menggunakan rumus berikut:

$$t = (\ln(A_0) - \ln(A_t)) / k$$

$$\text{dengan } A_0 = 35,69\% \text{ dan } A_t = 20,00\%$$

Pada suhu 30°C

$$t (30^\circ\text{C}) = \ln(35,69) - \ln(20,00) / 0.00153422 = 377.48 \text{ hari}$$

Pada suhu 40°C

$$t (40^\circ\text{C}) = \ln(35,69) - \ln(20,00) / 0.00348315 = 166.27 \text{ hari}$$

Pada suhu 50°C

$$t (50^\circ\text{C}) = \ln(35,69) - \ln(20,00) / 0.00751657 = 77.05 \text{ hari}$$

Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian

Proses pengalengan produk pepes ikan bandeng



Sampel pepes ikan bandeng utuh



Sampel pepes ikan bandeng dalam kaleng



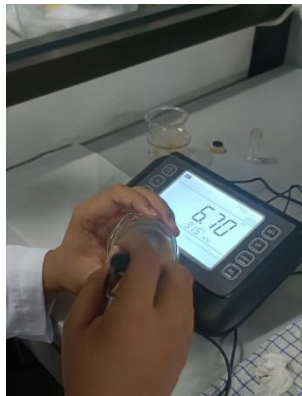
Preparasi analisis



Pemanasan sampel



Sampel yang telah dipanaskan



Analisis pengukuran pH



Analisis daya ikat air menggunakan
sentrifugasi