

**PENDUGAAN UMUR SIMPAN PRODUK LAKSA BOGOR
KALENG DENGAN METODE ASLT (*ACCELERATED SHELF
LIFE TESTING*) MODEL *ARRHENIUS***

TUGAS AKHIR

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

Oleh:
NAZWA ISMLNASYITA
22.302.0068



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

ABSTRAK

PENDUGAAN UMUR SIMPAN PRODUK LAKSA BOGOR KALENG DENGAN METODE ASLT (*ACCELERATED SHELF LIFE TESTING*) MODEL *ARRHENIUS*

Oleh:

Nazwa Ismi Nasyita

NPM: 223020068

(Program Studi Teknologi Pangan)

Laksa Bogor merupakan produk pangan tradisional khas Bogor yang memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai produk siap saji dengan umur simpan yang lebih panjang. Penelitian ini bertujuan untuk menduga umur simpan produk laksa Bogor kaleng melalui metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) model *Arrhenius* dengan parameter kerusakan yaitu TBA, pH, dan warna (ΔE). Proses pembuatan produk meliputi persiapan bahan, pengalengan, dan sterilisasi, dilanjutkan dengan penyimpanan pada tiga suhu akselerasi yaitu 30°C, 40°C, dan 50°C selama 28 hari dengan interval pengamatan setiap 7 hari. Selama penyimpanan parameter pH cenderung menurun dan warna (ΔE) cenderung naik. Kedua parameter, pH dan warna (ΔE) menggunakan kinetika reaksi ordo 0 karena kedua respon tersebut memiliki koefisien determinasi (R^2) lebih besar pada ordo 0. Umur simpan diketahui berdasarkan energi aktivasi terendah dari respon yang diujikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produk laksa Bogor kaleng pada suhu penyimpanan 30°C adalah 206 hari, pada suhu 40°C adalah 129 hari, dan pada suhu 50°C adalah 82 hari berdasarkan parameter warna (ΔE).

Kata kunci: laksa Bogor, kaleng, ASLT, *Arrhenius*, umur simpan, TBA, pH, warna (ΔE)

ABSTRACT

ESTIMATION OF THE SHELF LIFE OF CANNED BOGOR LAKSA USING THE ACCELERATED SHELF LIFE TESTING (ASLT) ARRHENIUS MODEL

By

Nazwa Ismi Nasyita

NPM: 223020068

(Department of Food Technology)

Laksa Bogor is a traditional food product typical of Bogor that has the potential to be developed as a ready-to-eat product with a longer shelf life. This study aimed to estimate the shelf life of canned Laksa Bogor using the Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) Arrhenius model with quality deterioration parameters consisting of TBA, pH, and color (ΔE). The product manufacturing process included ingredient preparation, canning, and sterilization, followed by storage at three accelerated temperatures of 30°C, 40°C, and 50°C for 28 days with observation intervals of every 7 days. During storage the pH parameters tend to decrease and the color (ΔE) tends to increase. Both parameters, pH and color (ΔE) use reaction kinetics of order 0, as both responses exhibit a higher coefficient of determination (R^2) for the zero-order model. The shelf life was determined based on the lowest activation energy of the tested response. The results showed that the shelf life of canned Laksa Bogor at a storage temperature of 30°C is 206 days, at 40°C is 129 days, and at 50°C is 82 days based on the color parameter (ΔE).

Keywords: *Laksa Bogor, canned food, ASLT, Arrhenius, shelf life, TBA, pH, color (ΔE)*

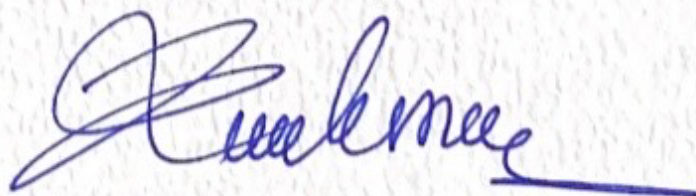
**PENDUGAAN UMUR SIMPAN PRODUK LAKSA BOGOR
KALENG DENGAN METODE ASLT (*ACCELERATED SHELF
LIFE TESTING*) MODEL *ARRHENIUS***

Oleh:
Nazwa Ismi Nasyita
NPM: 223020068
(Program Studi Teknologi Pangan)

Fakultas Teknik
Universitas Pasundan

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

Pembimbing Akademik



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

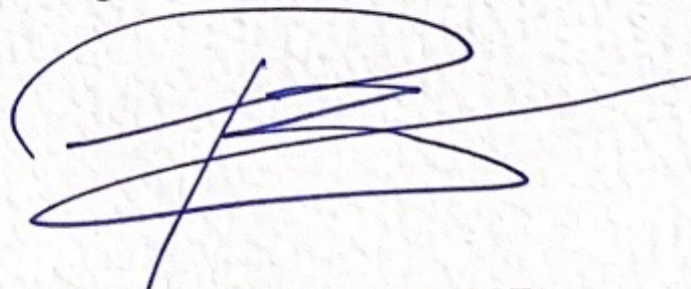
**PENDUGAAN UMUR SIMPAN PRODUK LAKSA BOGOR
KALENG DENGAN METODE ASLT (*ACCELERATED SHELF
LIFE TESTING*) MODEL *ARRHENIUS***

Oleh:
Nazwa Ismi Nasyita
NPM: 223020068
(Program Studi Teknologi Pangan)

Fakultas Teknik
Universitas Pasundan

Menyetujui
Tanggal.....**13-08-2026**.....

**Koordinator Pembelajaran, Kemahasiswaan, Alumni, Agama, dan Budaya
Program Studi Teknologi Pangan**

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke extending to the right.

(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 di tulis dalam bahasa Indonesia sebagai berikut:

Nasyita, N. I. (2026): *Pendugaan Umur Simpan Produk Laksa Bogor Kaleng dengan Metode ASLT (Accelerated Shelf Life Testing) Model Arrhenius*. Tugas Akhir Program Sarjana, Universitas Pasundan.

dan dalam bahasa Inggris sebagai berikut:

Nasyita, N. I. (2026): *Estimation of the Shelf Life of Canned Bogor Laksa Using the Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) 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 sampaikan kepada Allah SWT. berkat rahmatnya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “Pendugaan Umur Simpan Produk Laksa Bogor Kaleng dengan metode ASLT (*Accelerated Shelf Life Testing*) model *Arrhenius*”. Selama proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis mendapat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Jaka Rukmana, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing dan Ketua Program Studi yang telah memberikan ilmu, motivasi, dan membimbing penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Dosen penguji I yaitu Shalli Nurhawa S.T., M.T., yang telah bersedia menjadi penguji dan memberikan masukan maupun saran dalam penulisan laporan Tugas Akhir.
3. Dosen penguji II yaitu Nabila Marthia, S.T., M.Si.P., yang telah bersedia menjadi penguji dan memberikan masukan maupun saran dalam menyempurnakan Tugas Akhir.
4. Sekretaris Program Studi Teknologi Pangan Universitas Pasundan yaitu Dr. Ira Endah Rohima, S.T., M.SI.

5. Koordinator Belmawabud Program Studi Teknologi Pangan Universitas Pasundan yaitu Rizal Maulana Ghaffar, S.T., M.T.
6. Dosen beserta segenap civitas akademik di lingkup Program Studi Teknologi Pangan Universitas Pasundan, Bandung.
7. Kepada kedua orang tua penulis yaitu Bapak Sawaludin dan Ibu Meli Muliawati; kedua kakak penulis, yaitu Sazli Oktafirdaus dan Ilham Ramdani Akbar; serta adik penulis yaitu Nabil Febrio Al-Fauzi, serta keluarga besar penulis yang telah memberikan kasih sayang, dukungan, doa serta motivasi, baik materil maupun moril, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini dengan baik.
8. Kepada Indah Wulandari, Revalina Putri, Nazwa Amelia, Bella Indah, dan Putri Aulia, Nina Juliyanti, Hani Uswatun, Nazmi Ghita, Salwa Afiyah dan Citra Fiqih yang telah memberikan dukungan dan kebersamaan bagi penulis.
9. Kepada Bassam Shauqi dan Fakhriza Saukan sebagai teman satu topik penelitian Umur Simpan yang telah memotivasi dan membantu selama penulisan laporan ini.
10. Kepada Asisten Laboratorium Mesin dan Peralatan Industri Pangan yaitu Teh Firza, Teh Nandita, Teh Dina, Teh Adel, Augustin, Jidan, dan Rangga.
11. Kepada teman-teman Himpunan Mahasiswa Teknologi Pangan Kabinet Penerjang.
12. Kepada seluruh pihak terlibat yang tidak bisa disebutkan oleh penulis satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih belum sempurna dan dapat lebih disempurnakan, penulis terbuka atas segala kritik dan saran mengenai Tugas Akhir ini. Penulis berharap laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan pengembangan ilmu pengetahuan.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	5
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Kerangka Pemikiran	6
1.6 Hipotesis Penelitian	9
1.7 Tempat dan Waktu Penelitian.....	9
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Laksa Bogor.....	10
2.2 Pengalengan dan Sterilisasi Komersial.....	12
2.3 Umur Simpan Metode <i>Accelerated ShelfLife Testing</i> (ASLT) Model <i>Arrhenius</i>	13
2.3.1. Pendefinisian karakter atau mutu produk.....	15

2.3.2. Penentuan karakter kinetika perubahan faktor mutu terpilih	15
2.3.3. Pendugaan masa simpan dan batas kedaluwarsa	15
2.4. Parameter Kemunduran Mutu.....	16
2.4.1. TBA (<i>Thiobarbituric acid</i>).....	16
2.4.2. pH.....	17
2.4.3. Warna (ΔE)	17
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	18
3.1 Bahan dan Alat Penelitian	18
3.2 Metode Penelitian	18
3.2.1 Preparasi dan Pembuatan Laksa Bogor Kaleng	18
3.2.1.1 Pembuatan Bumbu Laksa.....	19
3.2.1.2 Pembuatan Kuah Laksa.....	20
3.2.1.3 Pembuatan Laksa.....	21
3.2.1.4 Pengalengan dan Sterilisasi.....	23
3.2.2 Penelitian Pendahuluan.....	24
3.2.3 Penelitian Utama	25
3.2.3.1 Rancangan Perlakuan	25
3.2.3.2 Rancangan Percobaan	26
3.2.3.3 Rancangan Analisis	31
3.2.3.4 Rancangan Respon	34
3.3 Prosedur Penelitian	34
3.3.1 Penelitian Pendahuluan.....	34
3.3.2 Penelitian Utama	35
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Hasil Penelitian Pendahuluan	37

4.2 Hasil Penelitian Utama	39
4.2.1 Uji <i>Thiobarbituric Acid</i> (TBA)	39
4.2.1.1 Data Hasil Analisis Thiobarbituric Acid (TBA)	39
4.2.2 pH.....	43
4.2.2.1 Data Hasil Analisis Parameter pH.....	43
4.2.2.2 Pemilihan Ordo Reaksi Parameter pH	44
4.2.2.3 Hasil Perhitungan Umur Simpan Parameter pH	46
4.2.3 Warna	48
4.2.3.1 Data Hasil Analisis Warna (ΔE)	48
4.2.3.2 Pemilihan Ordo Reaksi Parameter Warna (ΔE)	50
4.2.3.3 Perhitungan Umur Simpan Parameter Warna (ΔE)	52
4.3 Penentuan Umur Simpan	54
V. KESIMPULAN.....	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN.....	61

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Hasil Analisis Produk Laksa Bogor Kaleng Selama Penyimpanan.....	28
Tabel 2. Nilai Slope, Intercept dan Determinan pada reaksi ordo 0 dan ordo 1 Laksa Bogor Kaleng Selama Penyimpanan.....	29
Tabel 3. Persamaan <i>Arheniuss</i> Penurunan Mutu Produk Laksa Bogor Kaleng Selama Penyimpanan	30
Tabel 4. Hasil Pengujian Titik Kritis	38
Tabel 5. Hasil Analisis TBA	39
Tabel 6. Hasil Analisis pH	43
Tabel 7. Pemilihan Ordo Reaksi Parameter pH	46
Tabel 8. $1/T$ dan $\ln k$ Parameter pH	46
Tabel 9. Konstanta Penurunan Mutu Parameter pH dan Umur Simpan Laksa Bogor	47
Tabel 10. Hasil Analisis Warna	49
Tabel 11. Pemilihan Ordo Reaksi Parameter Warna	52
Tabel 12. $1/T$ dan $\ln k$ Parameter Warna	52
Tabel 13. Konstanta Penurunan Mutu Parameter Warna dan Umur Simpan Laksa ...	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Laksa	10
Gambar 2. Diagram Alir Pembuatan Bumbu Laksa	19
Gambar 3. Diagram Alir Pembuatan Kuah Laksa	20
Gambar 4. Diagram Alir Pembuatan Laksa	22
Gambar 5. Diagram Alir Pengalengan	24
Gambar 6. Grafik $\ln k$ dan $1/T$	33
Gambar 7. Diagram Alir Penelitian Pendahuluan.....	35
Gambar 8. Diagram Alir Penelitian Utama.....	36
Gambar 9. Grafik Perubahan pH Ordo 0 Laksa Bogor Kaleng	45
Gambar 10. Grafik Perubahan pH Ordo 1 Laksa Bogor Kaleng	46
Gambar 11. Grafik Hubungan antara $1/T$ dan $\ln k$ Parameter pH	47
Gambar 12. Grafik Perubahan Warna Ordo 0 Laksa Bogor Kaleng.....	51
Gambar 13. Grafik Perubahan Warna Ordo 1 Laksa Bogor Kaleng.....	51
Gambar 14. Grafik Hubungan $1/T$ dan $\ln k$ Parameter Warna	53
Gambar 15. Dokumentasi Sampel Penelitian.....	77
Gambar 16. Dokumentasi Analisis TBA	78
Gambar 17. Dokumentasi Analisis pH.....	79
Gambar 18. Dokumentasi Analisis Warna.....	79

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Prosedur Analisis Penentuan Thiobarbituric acid (TBA) berdasarkan AOCS method Cd. 19-90 (Andarwulan et al., 2011).....	61
Lampiran 2. Prosedur Analisis Penentuan pH berdasarkan SNI 01-2891-1992	62
Lampiran 3. Prosedur Analisis Warna berdasarkan Bahanawan & Sugiyanto, (2020).62	
Lampiran 4. Lampiran Kebutuhan Bahan Baku	62
Lampiran 5. Lampiran Kebutuhan Bahan Analisis.....	63
Lampiran 6. Lampiran Biaya Analisis Penelitian	63
Lampiran 7. Hasil Perhitungan Titik Kritis Analisis TBA	63
Lampiran 8. Hasil Perhitungan Analisis TBA	65
Lampiran 9. Hasil Perhitungan Pendugaan Umur Simpan Parameter pH	66
Lampiran 10. Hasil Perhitungan Analisis Warna.....	71
Lampiran 11. Perhitungan Standar Deviasi	76
Lampiran 12. Dokumentasi Sampel Penelitian.....	77
Lampiran 13. Dokumentasi Analisis TBA.....	78
Lampiran 14. Dokumentasi Analisis pH.....	79
Lampiran 15. Dokumentasi Analisis Warna	79

I. PENDAHULUAN

Pada Bab ini akan menguraikan terkait: (1) Latar Belakang Penelitian, (2) Identifikasi Masalah, (3) Maksud dan Tujuan Penelitian, (4) Manfaat Penelitian, (5) Kerangka Pemikiran, (6) Hipotesis Penelitian, dan (7) Tempat dan Waktu Penelitian.

1.1 Latar Belakang

Setiap daerah memiliki kekayaan alam yang berbeda yang menjadi ciri khas masing-masing daerahnya. Kekayaan alam tersebut menjadikan makanan tradisional menjadi daya tarik para wisatawan. Makanan tradisional merupakan salah satu warisan budaya turun-temurun yang perlu dilestarikan, namun hal ini menjadi tantangan karena tren global yang terus masuk sehingga perlu adanya adaptasi untuk menjaga keseimbangan dan mempertahankan nilai-nilai budaya dalam pengembangan kuliner tradisional di nusantara. Di Kabupaten Bogor, Jawa Barat terdapat makanan tradisional yang populer yaitu Laksa. Laksa merupakan warisan kuliner yang memiliki potensi besar untuk menjadi daya tarik para wisatawan nasional maupun internasional. Potensi ini perlu dimanfaatkan dengan strategi yang tepat untuk meningkatkan popularitas dan kualitas dari Laksa Bogor.

Laksa merupakan hidangan berbasis kuah santan pekat yang diperkaya dengan telur, tahu, bihun, dan oncom. Laksa memiliki cita rasa yang autentik yang menjadi nilai tambah sebagai identitas kuliner khas Kabupaten Bogor dan sangat berpotensi diangkat ke skala nasional maupun internasional. Laksa Bogor merupakan produk yang mudah rusak dalam waktu yang singkat karena memiliki kandungan lemak yang tinggi

yang terdiri air, lemak, dan protein. Senyawa tersebut rentan ditumbuhi mikroba yang dapat merusak pangan. Tingginya kadar lemak dapat menyebabkan perubahan kimiawi yaitu terjadinya oksidasi pada santan. Untuk menghambat kerusakan tersebut, diperlukan upaya untuk meningkatkan kualitas produk khas Kabupaten Bogor ini dengan proses produksi yang lebih baik agar terstandarisasi dan memiliki nilai jual yang lebih tinggi sehingga terjamin kualitasnya.

Menurut Peraturan Daerah Kabupaten Bogor Nomor 2 Tahun 2024, Kabupaten Bogor memiliki luas wilayah administrasi kurang lebih mencapai 299.178 hektar dengan penduduk sebanyak 5.627.021 jiwa. Dari luas wilayah tersebut menjadikan Kabupaten Bogor memiliki kekayaan alam yang beragam dan memiliki berbagai macam makanan tradisional. Hal ini menjadi dasar untuk meningkatkan pendapatan daerah dari potensi produk unggulan yang ada, UMKM memiliki peranan penting dalam meningkatkan popularitas makanan tradisional di Kabupaten Bogor. Untuk meningkatkan nilai tambah dan daya saing dari suatu produk dapat dilakukan dengan perbaikan proses produksi sehingga dapat menjamin kualitas dari produk tersebut. Maka dari itu, diperlukan peningkatan pemahaman bagi produsen untuk meningkatkan kualitas produk salah satunya yaitu pengembangan produk *Ready To Eat* (RTE) sehingga dapat menjadi daya tarik wisatawan.

Kualitas produk pangan *Ready To Eat* (RTE) dapat ditingkatkan dengan pengalengan, seperti pengalengan *retort*. Prinsip dari pengemasan kaleng dengan *retort* sama seperti pengalengan, yang mana proses sterilisasi akan mematikan mikroba pembusuk dan patogen pada waktu dan suhu yang spesifik (Dasopang et al., 2024).

Manfaat dari pengalengan dengan sterilisasi yaitu dapat memperpanjang umur simpan produk sehingga memungkinkan untuk menunjang distribusi nasional maupun ekspor tanpa resiko kerusakan yang cepat. Pengalengan sterilisasi komersial pada produk Laksa Bogor dapat menjadi solusi untuk meningkatkan kualitas dari Laksa Bogor. Dengan teknologi ini, diharapkan dapat membantu UMKM untuk memproduksi produk dalam kemasan siap saji yang praktis, higienis, dan tahan lama.

Pengalengan dengan sterilisasi terbukti efektif pada beberapa makanan tradisional di Indonesia, seperti Gudeg kaleng pada penelitian Nurhayati et al., (2016) dengan umur simpan 24 bulan. Kemudian Ikan Lemuru kaleng selama 13,85 bulan (Hariono et al., 2023). Akan tetapi, pada produk Laksa Bogor, penerapannya masih terbatas meskipun potensi pasar besar. Oleh karena itu, selain proses pengalengan sterilisasi komersial untuk memperbaiki proses produksi, untuk memaksimalkan keamanan produk, diperlukan juga pendugaan umur simpan untuk menentukan batas waktu produk aman untuk dikonsumsi sesuai dengan regulasi yang ditetapkan.

Menurut Hariyadi (2019), masa atau umur simpan merupakan waktu lamanya penyimpanan produk pada kondisi penyimpanan normal atau sesuai dengan yang disarankan, yang mana produk masih memiliki atau memberikan daya guna seperti yang dijanjikan. Diperkuat oleh PerBPOM No. 31 Tahun 2018 tentang Label Pangan Olahan, label sekurang-kurangnya memuat keterangan nama produk, daftar bahan yang digunakan, berat bersih atau isi bersih, nama dan alamat pihak yang memproduksi atau mengimpor, halal bagi yang dipersyaratkan, tanggal dan kode produksi, keterangan kadaluarsa, nomor izin edar, asal usul bahan pangan tertentu. Keterangan kadaluarsa

menjadi keterangan yang penting wajib dicantumkan pada label produk pangan dan menjadi syarat untuk pengajuan izin edar. Kesesuaian dengan regulasi atau peraturan merupakan hal penting yang tidak bisa ditolerir. Menurut Hariyadi (2019), informasi mengenai masa simpan dan batas kedaluarsa penting untuk disampaikan agar konsumen mengetahui bahwa suatu produk yang dijual industri dan dikonsumsi konsumen adalah produk dengan kualitas mutu sesuai dengan spesifikasi industri.

Pendugaan umur simpan pada makanan kaleng, khususnya Laksa Bogor kaleng dapat dilakukan dengan metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) dengan model *Arrhenius*. Menurut Rusli et al., (2022) metode ASLT dengan model *Arrhenius* ini dilakukan dengan mempercepat kerusakan mutu dari produk dengan merekayasa kondisi lingkungan, diantaranya yaitu suhu, kelembaban, atmosfer gas, dan cahaya. Parameter kerusakan yang biasa digunakan yaitu suhu. Semakin tinggi suhu, maka akan mempercepat laju reaksi kimia yang menyebabkan semakin cepatnya penurunan mutu dari produk. Hal ini dapat mempersingkat waktu pengujian sehingga pengujian ini cocok untuk produk yang sekiranya memiliki waktu umur simpan yang panjang.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menduga umur simpan Laksa Bogor dalam kemasan kaleng sterilisasi menggunakan metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) model *Arrhenius*. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi rekomendasi teknis bagi industri pangan, mendukung pengembangan makanan tradisional di Kabupaten Bogor, serta meningkatkan nilai jual dan daya saing produk Laksa Bogor secara nasional maupun internasional. Maka dari itu, peneliti ingin

mengangkat judul penelitian, “**Pendugaan Umur Simpan Produk Laksa Bogor Kaleng Metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) Model *Arrhenius***”

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian yang terdapat pada latar belakang, dapat diidentifikasi bahwa masalah dari penelitian ini berapa lama umur simpan produk Laksa Bogor Kaleng pada berbagai suhu penyimpanan (30°C, 40°C, 50°C) berdasarkan metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) dengan model *Arrhenius*.

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini yaitu melakukan pendugaan umur simpan produk Laksa Bogor Kaleng pada berbagai suhu penyimpanan (30°C, 40°C, 50°C) dengan metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) dengan model *Arrhenius*.

Tujuan dari penelitian ini yaitu memperoleh data umur simpan pada berbagai suhu penyimpanan (30°C, 40°C, 50°C) dan menganalisis perubahan kualitas produk Laksa Bogor Kaleng selama penyimpanan dengan metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) dengan model *Arrhenius*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu diharapkan dapat memberikan informasi bagi UMKM dalam pengembangan produk Laksa Bogor kaleng serta dapat dijadikan referensi dalam menentukan umur simpan dari produk Laksa Bogor Kaleng.

1.5 Kerangka Pemikiran

Menurut Sari (2017) laksa merupakan hidangan tradisional yang populer di Bogor, laksa terdiri dari kuah santan berwarna kekuningan yang dimasak sampai kental. Komposisi laksa terdiri dari telur, tahu, bihun, dan oncom.

Santan merupakan emulsi minyak dalam air atau *oil in water* (o/w) (Yulinda et al., Dalam Dasopang et al., 2025). Santan mempunyai karakteristik mudah mengalami kerusakan dalam suhu ruang karena memiliki kandungan air, lemak, dan protein. Lemak pada santan juga dapat menimbulkan ketengikan akibat oksidasi lemak oleh udara (Santosa et al., dalam Dasopang et al., 2025). Menurut Endang dalam (Cahyono & Yuwono, 2015) santan mengandung lemak sebesar 88,30%, protein sebesar 6,10%, dan karbohidrat sebesar 5,60%.

Santan didominasi oleh asam lemak jenuh sebanyak 89,1% dengan total asam laurat sebanyak 42,0%. Kemudian Asam lemak monotakjenuh sebanyak 15,8%, yang mana palmitat dan oleat masing-masing sebanyak 7,9%. Lalu asam lemak polidakjenuh yaitu linoleat sebanyak 2,2% (Hayati, 2010). Berdasarkan penelitian Yalegama et al., (2009), produk santan cair secara organoleptik tidak dapat diterima ketika nilai pH berada pada rentang 5,9-6,0. Nilai ini sejalan dengan produk santan segar yang memiliki rentang pH sekitar 5,9-6,3 menurut Banzon & Velasco (1982) dalam Yalegama et al. (2008). Hal ini juga sesuai dengan standar mutu santan menurut Codex Alimentarius CXS 240-2003, yang menetapkan nilai pH minimum sebesar 5,9 untuk seluruh kategori produk santan.

Lemak di dalam santan dapat mengalami ketengikan karena teroksidasi oleh udara (Santosa et al., dalam Dasopang et al., 2025). Ketengikan merupakan salah satu parameter kerusakan pada produk pangan yang mengandung lemak yang ditandai dengan bau tidak sedap. Ketengikan disebabkan oleh reaksi oksidasi antara asam lemak tak jenuh dan oksigen, reaksi yang dihasilkan yaitu radikal bebas dan peroksida sebagai produk primer yang tidak stabil, kemudian malonaldehid (MDA) sebagai produk sekunder yang menjadi indikator oksidasi lemak. Dalam menentukan tingkat ketengikan, dapat dilakukan dengan metode bilangan TBA (*2-Thiobarbituric acid*) secara spektrofotometri (Laila, et al., 2020). Menurut penelitian Aprilio (2024), produk ditolak oleh panelis ketika bilangan TBA pada produk mencapai 3 mg malonaldehid/kg sampel.

Warna merupakan salah satu atribut mutu yang penting karena menjadi karakteristik pertama yang diamati oleh konsumen dalam menilai kualitas produk pangan (Andres-Bello et al., 2013). Selain memengaruhi tingkat penerimaan konsumen, perubahan warna juga dapat mencerminkan terjadinya reaksi kimia selama penyimpanan (Mahmud et al., 2026). Perubahan warna dapat dinotasikan dengan nilai ΔE berdasarkan sistem CIELAB. Semakin besar nilai ΔE , semakin besar pula perubahan warna yang terjadi. Menurut klasifikasi ΔE_{76} , nilai 0–1 menunjukkan perbedaan warna yang tidak terlihat, 1–2 hanya dapat dibedakan oleh pengamat berpengalaman, 2–3,5 mulai dapat dikenali oleh pengamat awam, 3,5–5 menunjukkan perbedaan warna yang jelas, sedangkan $\Delta E > 5$ menunjukkan bahwa kedua warna tampak berbeda secara nyata. (Mokrzycki et al., 2012).

Untuk meningkatkan umur simpan, pangan siap saji dapat dikalengkan dengan sterilisasi komersial agar dapat langsung dikonsumsi tanpa dilakukan pemanasan lagi atau disebut dengan *Ready To Eat* (RTE) (Mardiyana et al., 2024).

Menurut Nurhikmat et al., (2016) pengalengan merupakan suatu cara untuk mengawetkan makanan yang kemudian dikemas secara hermetis dan disterilisasi. Proses sterilisasi bertujuan untuk menghancurkan semua mikroba beserta sporanya. Sterilisasi yang cukup dapat diperoleh apabila titik terdingin dalam kaleng cukup menerima panas untuk menghancurkan mikroba. Derajat sterilitas disimbolkan dengan nilai F yang memiliki makna waktu dalam menit pada suhu 121°C yang diperlukan untuk menghancurkan mikroba. Dengan adanya pengalengan sterilisasi, dapat menghilangkan risiko adanya *Clostridium botulinum*, dan memperpanjang umur simpan pada suhu ruang tanpa pendingin.

Mutu produk pangan dapat mengalami kemunduran (Hariyadi, 2019). Perubahan mutu tersebut dapat diakibatkan oleh dua faktor, yaitu faktor lingkungan eksternal seperti cahaya, suhu, dan tekanan serta faktor internal pada bahan pangan seperti keasaman, kandungan gizi, dan kadar air. Pada beberapa produk seperti salad sayur atau buah dapat terjadi kerusakan mutu seperti kehilangan air dan oksidasi lemak, kemudian pada rempah-rempah terjadi reaksi kimia dan pertumbuhan mikroba (Hariyadi, 2019). Suhu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi mutu suatu produk, semakin tinggi suhu penyimpanan, maka laju reaksi dari berbagai senyawa kimia akan semakin meningkat (Syarief, 1993).

Menurut BPOM (2025), kondisi umum untuk uji stabilitas jangka panjang (*long term*) di wilayah ASEAN berada dalam zona IV B dengan suhu 30°C dan kelembaban relative 75%. Kondisi ini menjadi dasar untuk menentukan suhu penyimpanan normal produk makanan maupun obat-obatan di Indonesia.

Untuk menduga umur simpan Laksa Bogor Kaleng dapat dilakukan dengan metode percepatan umur simpan atau *Accelerated Shelf Life Testing (ASLT)* model *Arrhenius*. Tahapan dalam metode ini dapat dimulai dengan menentukan suhu penyimpanan dengan suhu yang dipilih adalah suhu yang lebih tinggi dari penyimpanan normal. Kemudian menentukan respon penurunan mutu dari produk tersebut dan menentukan lama waktu penyimpanan dari pendugaan umur simpan (Hariyadi, 2019).

1.6 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan kerangka pemikiran diatas, diduga data umur simpan produk Laksa Bogor yang dikalengkan dapat diperoleh serta perubahan mutunya dapat dianalisis pada berbagai suhu penyimpanan (30°C, 40°C, 50°C) melalui metode *Accelerated Shelf Life Testing (ASLT)* dengan model *Arrhenius*.

1.7 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Penelitian Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Teknik Universitas Pasundan, Jalan Doktor Setiabudhi No. 193 Bandung, yang dilakukan pada bulan Mei s.d. Juni 2026.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan menjelaskan mengenai: (1) Laksa Bogor, (2) Pengalengan dan Sterilisasi Komersial, (3) Umur Simpan Metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) Model *Arrhenius*, (4) Parameter Kemunduran Mutu.

2.1 Laksa Bogor



Gambar 1. Laksa
(Sumber: travel.tribunnews.com)

Laksa merupakan makanan khas Kabupaten Bogor dengan karakteristik berbasis santan pekat berwarna kuning. Di Indonesia, laksa adalah makanan hasil akulturasi antara makanan Cina dan makanan lokal setempat (Sari, 2017). Menurut Winarno (2013) pada Sari (2017), belum terdapat literatur yang memberikan informasi asal kata laksa, namun terdapat satu teori yang mengatakan bahwa laksa berasal dari

Cina, dari Bahasa Kanton “liet’sa” yang artinya pasir berbumbu. Teori lainnya menyatakan bahwa laksa berasal dari India, “lakshah” yang artinya bihun.

Laksa juga terkenal negeri jiran yaitu Malaysia. Di negara tersebut, laksa terbagi atas dua varian, yaitu laksa lemak dengan kuah santan dan laksa dengan kuah kaldu ikan. Terdapat juga laksa kari yang terkenal di negara tetangga yaitu Singapura. Laksa kari berisi mi atau bihun sebagai bahan utama dan ditambah dengan tahu atau baso ikan yang kemudian ditambahkan kuah santan dengan bumbu kari yang kental. Adapula varian laksa berkuah jernih karena terbuat dari kaldu ikan dan bercita rasa asam. (Sari, 2017).

Laksa memiliki isian yang terdiri dari tahu, telur, bihun, oncom, daun kemangi, tauge, dan ketupat yang kemudian disiram dengan kuah santan kuning yang pekat. Bumbu laksa terdiri dari bawang merah, bawang putih, kemiri, kunyit, jahe, ketumbar, serai, temu mangga, merica, gara, dan daun salam. Proses penyajian dari Laksa ini, isian dari laksa yaitu tauge, bihun, dan lain-lain diseduh dengan kuah laksa panas secara berulang-ulang. Hal ini agar mematangkan bahan bahan tersebut, kemudian disajikan kedalam piring saji dan ditambahkan ketupat dan tahu yang sudah direbus pada kuah santan, serta ditaburi kelapa sangrai atau serundeng. (Sari, 2017).

Laksa yang dikalengkan dengan sterilisasi merupakan salah satu diversifikasi makanan siap saji atau *Ready To Eat* (RTE). Produk RTE didefinisikan sebagai pangan yang dapat langsung dikonsumsi tanpa memerlukan pengolahan lebih lanjut dan umumnya diproses menggunakan teknologi pengawetan seperti sterilisasi termal agar memiliki umur simpan panjang dan aman (Mardiyana et al., 2024).

2.2 Pengalengan dan Sterilisasi Komersial

Menurut Mugale et al., (dalam Faza et al., 2024) bahwa pengalengan merupakan salah satu dari metode pengawetan dengan proses thermal bersuhu tinggi. Dengan proses thermal, dapat menjadi alternatif dalam memperoleh produk pangan dengan kandungan gizi yang stabil selama penyimpanan. Menurut Mayasari (dalam Faza, et al., 2024), prinsip dasar dari pengalengan yaitu mengemas bahan pangan dalam wadah yang tertutup dengan rapat yang menyebabkan udara dan organisme maupun zat-zat yang dapat merusak atau membusuk tidak dapat masuk, setelah itu wadah dipanaskan sampai dengan kondisi suhu tertentu untuk mematikan pertumbuhan mikroorganisme atau dapat disebut sebagai proses sterilisasi. Menurut Ismail (dalam Faza, et al. (2024) proses sterilisasi merupakan proses dengan tujuan untuk menghasilkan produk yang steril komersial dan untuk memasak makanan kaleng yang siap dikonsumsi oleh konsumen.

Sterilisasi komersial merupakan sterilisasi yang digunakan untuk produk makanan seperti produk dalam kaleng maupun botol. Perlakuan panas yang diberikan selain dapat membunuh mikroba penyebab penyakit dan pembusukan, diharapkan agar tekstur, warna, dan kandungan nutrisi produk tidak rusak (Dwiari dalam Faza et al., 2024). Proses dari sterilisasi komersial dapat dilakukan secara optimum yang memenuhi persyaratan keamanan pangan dengan nilai dari F_0 yang mencukupi serta mutu pada produk yang tidak menerima panas secara berlebihan pada *retort* dengan melakukan validasi proses sterilisasi. Validasi dapat dilakukan dengan dua tahap, yaitu uji distribusi panas dan uji penetrasi panas. (Faza et al., 2024). Menurut PerBPOM No.

27 Tahun 2021 tentang Persyaratan Pangan Olahan Berasam Rendah Dikemas Hermetis, bahwa sterilisasi komersial dengan proses pemanasan harus memberikan kecukupan panas dengan nilai F_0 sekurang-kurangnya 3,0 (tiga koma nol) menit dihitung terhadap spora *Clostridium botulinum*.

Proses sterilisasi komersial dapat dilakukan dengan menggunakan mesin *retort* uap (*steam retort*). *Steam retort* umumnya dilakukan pada suhu standar sterilisasi yaitu $121,1^{\circ}\text{C}$ atau 250°F . Kemudian oleh CFR (2023) (dalam Kusnandar et al., 2023) mensyaratkan untuk proses sterilisasi komersial terhadap produk pangan yang berasam rendah dan dikalengkan untuk dapat mencapai tingkat pembunuhan *Clostridium botulinum* hingga 10^{-9} CFU/ml dengan asumsi jumlah mikroba awal adalah 10^3 CFU/ml atau setara dengan Tingkat pembunuhan mikroba sebesar 12 siklus logaritma. (Murano dalam Kusnandar et al., 2023). Pada proses pengalengan, dilakukan proses *exhausting* untuk pengeluaran udara pada kaleng, kemudian dilakukan *seaming* atau penutupan kaleng, setelah itu dilakukan proses sterilisasi oleh *steam retort*. Praktik dari sterilisasi komersial di industri sering kali melampaui nilai F_0 yang dipersyaratkan. Hal ini dapat membuat proses pemanasan yang berlebih atau *over-processing*. (Haryadi dalam Kusnandar et al., 2023). Kemudian akan mengakibatkan penurunan dari mutu produk dari kandungan gizi maupun sensori.

2.3 Umur Simpan Metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) Model *Arrhenius*

Umur simpan menurut Institute Of Food Technology (IFT) (dalam Syah, 2012) adalah selang waktu antara produksi sampai konsumsi yang mana kondisi produk

berada dalam kondisi yang memuaskan baik dari penampakannya, rasa, aroma, tekstur, dan nilai gizi. Dalam menentukan umur simpan, landasan untuk penentuannya berdasarkan dari penurunan kualitas yang dapat diketahui secara matematis dengan laju perubahannya menurut ordo reaksi. Terdapat beberapa tingkatan ordo reaksi secara kimiawi yaitu ordo nol, satu, dan dua.

Menentukan umur simpan dapat dilakukan secara konvensional atau metode ESS (*Extended Storage Studies*) yang dilakukan dengan menyimpan satu sampel pada kondisi lingkungan normal dan dilakukan pengamatan terhadap penurunan mutu dari produk tersebut hingga mencapai mutu yang kedaluarsa. Selain itu terdapat metode akselerasi atau *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT). Metode ini kondisi penyimpanan diatur secara ekstrem sehingga produk dapat rusak secara cepat dan dapat ditentukan umur simpannya berdasarkan penurunan mutu produk (Syah, 2012).

Pada metode ASLT yang sering digunakan dalam pendugaan umur simpan adalah model *Arrhenius* dan kadar air kritis. Model *Arrhenius* digunakan untuk produk pangan yang mudah rusak akibat dari reaksi kimia, seperti oksidasi lemak, reaksi maillard, denaturasi protein, dan lain-lain. Sedangkan model kadar air kritis diterapkan untuk produk pangan yang mudah rusak oleh adanya penyerapan air pada produk. Model ini biasa digunakan pada produk pangan yang memiliki karakteristik kering (Palupi, et al., 2010). Menurut Kusnandar (dalam Palupi, et al., 2010) model *Arrhenius* biasanya digunakan untuk pendugaan umur simpan produk kaleng steril komersial, susu *Ultra High Temperature* (UHT), susu bubuk/formula, produk *chip/snack*, jus buah, mi instan, *frozen meat*, dan produk pangan lainnya yang

berpotensi terjadinya oksidasi lemak atau produk yang berpotensi terjadinya reaksi pencokelatan. Berikut langkah-langkah dalam percobaan ASLT menurut Hariyadi (2019):

2.3.1. Pendefinisian karakter atau mutu produk

Langkah pertama dilakukan identifikasi karakteristik atau faktor penentu mutu produk (A), kemudian penentuan kondisi awal produk (A_0), yaitu kondisi mutu awal produk saat baru saja diproduksi dan penentuan batas mutu kritis (A_t), yaitu batas mutu produk menjadi tidak layak lagi karena mutu produk tidak lagi sesuai.

2.3.2. Penentuan karakter kinetika perubahan faktor mutu terpilih

Setelah penetapan faktor A, dilakukan percobaan penyimpanan. Untuk melakukan percobaan tersebut perlu mempertimbangkan kondisi suhu (T) dan waktu penyimpanan (t). Percobaan penyimpanan dapat mengetahui bagaimana pola perubahan (ordo reaksi) dan seberapa cepat A berubah terhadap t, serta bagaimana laju perubahan tersebut dipengaruhi oleh suhu (T). Hal tersebut dapat dilakukan dengan analisis data, akan dilakukan penentuan parameter kinetika seperti ordo reaksi, konstanta laju perubahan mutu (k), energi aktivasi (E_a), dan informasi kinetika lain yang relevan.

2.3.3. Pendugaan masa simpan dan batas kedaluwarsa

Setelah dilakukan analisis penetapan ordo reaksi, dapat ditentukan nilai konstanta laju reaksi dengan persamaan:

$$k = k_0 \cdot e^{-\left(\frac{E_a}{RT}\right)} \dots \dots \dots (1)$$

R = konstanta gas (1.986 kal/mol K; 8.314 J/mol.K)

Persamaan diatas dapat diubah menjadi persamaan linier berikut ini.

$$\ln k = \ln k_0 - \left(\frac{E_a}{R}\right) \left(\frac{1}{T}\right) \dots\dots\dots(2)$$

Melalui pemetaan antara $\ln k$ dan $1/T$ akan menghasilkan garis lurus yang digunakan untuk ekstrapolasi dalam rangka menduga umur simpan produk. Setelah pemetaan $\ln k$ dan $1/T$, didapatkan nilai energi aktivasi. Semakin kecil energi aktivasi, semakin kecil energi yang dibutuhkan suatu reaksi, dan memberikan umur simpan yang lebih singkat.

Untuk umur simpan untuk ordo nol dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$t = (A_0 - A_t)/k \dots\dots\dots (3)$$

Kemudian untuk ordo satu dapat menggunakan persamaan berikut:

$$t = (\ln A_0 - \ln A_t)/k \dots\dots\dots(4)$$

2.4. Parameter Kemunduran Mutu

2.4.1. TBA (*Thiobarbituric acid*)

Karakteristik produk laksa yaitu memiliki kuah santan kental (Sari, 2017). Kadar lemak pada santan yang tinggi (88,30%) membuat produk mudah mengalami ketengikan akibat oksidasi. Tahap terjadinya oksidasi lemak diawali dengan terbentuknya peroksida dan hidroperoksida, kemudian terurainya asam-asam lemak yang disertai dengan berubahnya hidroperoksida menjadi keton dan aldehid. (Rorong et al., 2008). Pada tahap awal oksidasi lemak, dapat dinyatakan dengan bilangan peroksida. Namun pada pengemasan dengan pengalengan tidak dapat menggunakan uji bilangan peroksida karena perlakuan panas dapat merusak uji bilangan peroksida,

sehingga pengukuran kemunduran mutu lemak dapat dinyatakan dengan uji TBA. (Putra, 2025).

2.4.2. pH

Menurut BPOM (2021), pangan olahan berasam rendah dikemas hermetis memiliki pH lebih besar dari 4,6. Perubahan pH suatu produk dapat menjadi tanda bahwa produk tersebut rusak. Produk laksa memiliki komponen dan senyawa-senyawa yang rentan mengalami perubahan keasaman, seperti lemak yang terkandung dalam santan dapat mengalami proses oksidasi dan hidrolisis selama penyimpanan. Maka dari itu, pH dapat menjadi parameter kemunduran mutu produk pangan (Liputo et al., 2024).

2.4.3. Warna (ΔE)

Warna merupakan karakteristik kualitas yang penting dan faktor yang besar dalam mempengaruhi persepsi dan penerimaan konsumen terhadap produk. (Echavarría et al., 2012). Laksa memiliki pigmen yang alami yang terdapat pada produk seperti kurkumin yang terkandung dalam kunyit dan karotenoid dari kuning telur. Pigmen ini memiliki ikatan rangkap terkonjugasi yang sensitive terhadap degradasi (Natalina et al., 2009). Kemudian protein dalam telur dan gula tereduksi pada santan dapat mengalami reaksi maillard yang turut menyumbang perubahan warna (Echavarría et al., 2012). Maka dari itu perubahan warna dapat dijadikan sebagai salah satu parameter kemunduran dari penelitian ini.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan terkait: (1) Bahan dan Alat Penelitian, (2) Metode Penelitian, dan (3) Prosedur Penelitian.

3.1 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah produk Laksa Tradisional yang baru diproduksi dan diperoleh dari Kedai Laksa yang terdapat di Jalan Kelenteng Nomor 6, Kebon Jeruk, Kecamatan Andir, Kota Bandung.

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini yaitu Reagen *2-Thiobarbituric acid* (TBA), 1-Butanol, dan aquades.

Sedangkan alat yang digunakan adalah timbangan analitik, spektrofotometer UV-Vis, pH meter, kolorimeter, kaleng, mesin penutup kaleng (*can sealer*), autoklaf, waterbath, vortex mixer, inkubator, thermometer, aluminium foil, blender, pipet seukuran, batang pengaduk, spatula, gelas ukur, tabung reaksi, labu ukur 25 ml, labu ukur 100 ml, dan corong.

3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian ini terdiri dari preparasi dan pembuatan laksa kaleng, penelitian pendahuluan dan penelitian utama.

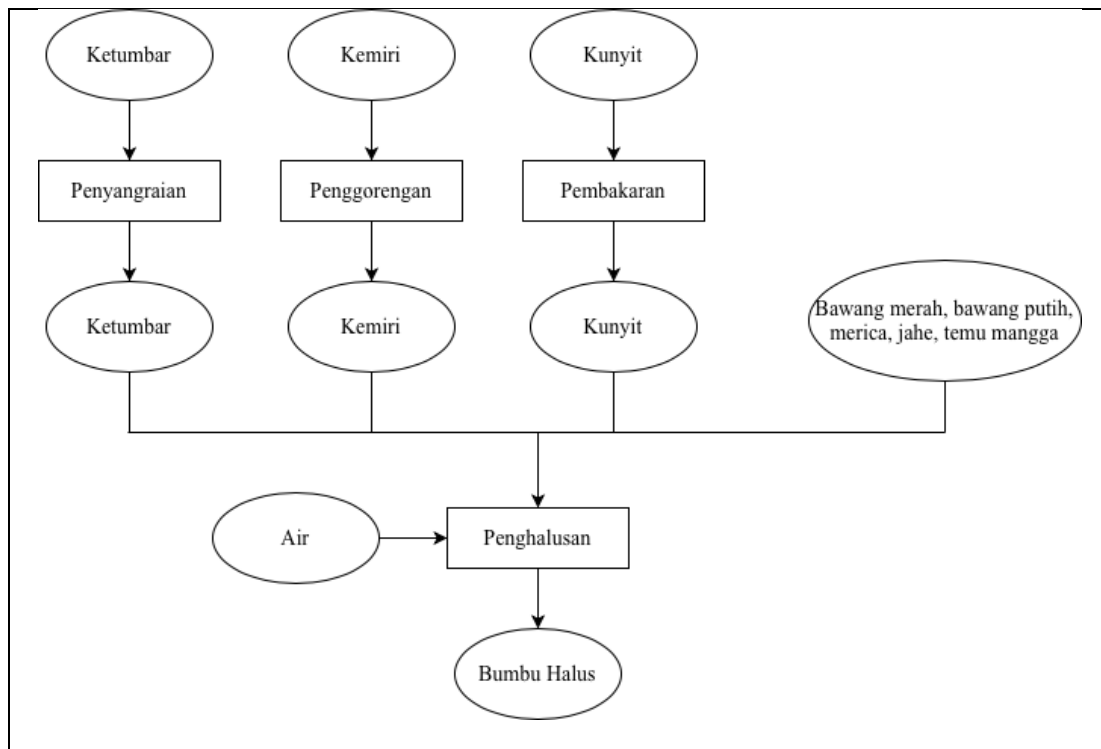
3.2.1 Preparasi dan Pembuatan Laksa Bogor Kaleng

Sebelum dilakukan penelitian pendahuluan dan penelitian utama, terlebih dahulu dilakukan pembuatan produk Laksa Bogor kaleng melalui tahapan pembuatan

bumbu, kuah, laksa, dan proses pengalengan sterilisasi komersial, sebagaimana disajikan pada Gambar 2 hingga Gambar 5.

3.2.1.1 Pembuatan Bumbu Laksa

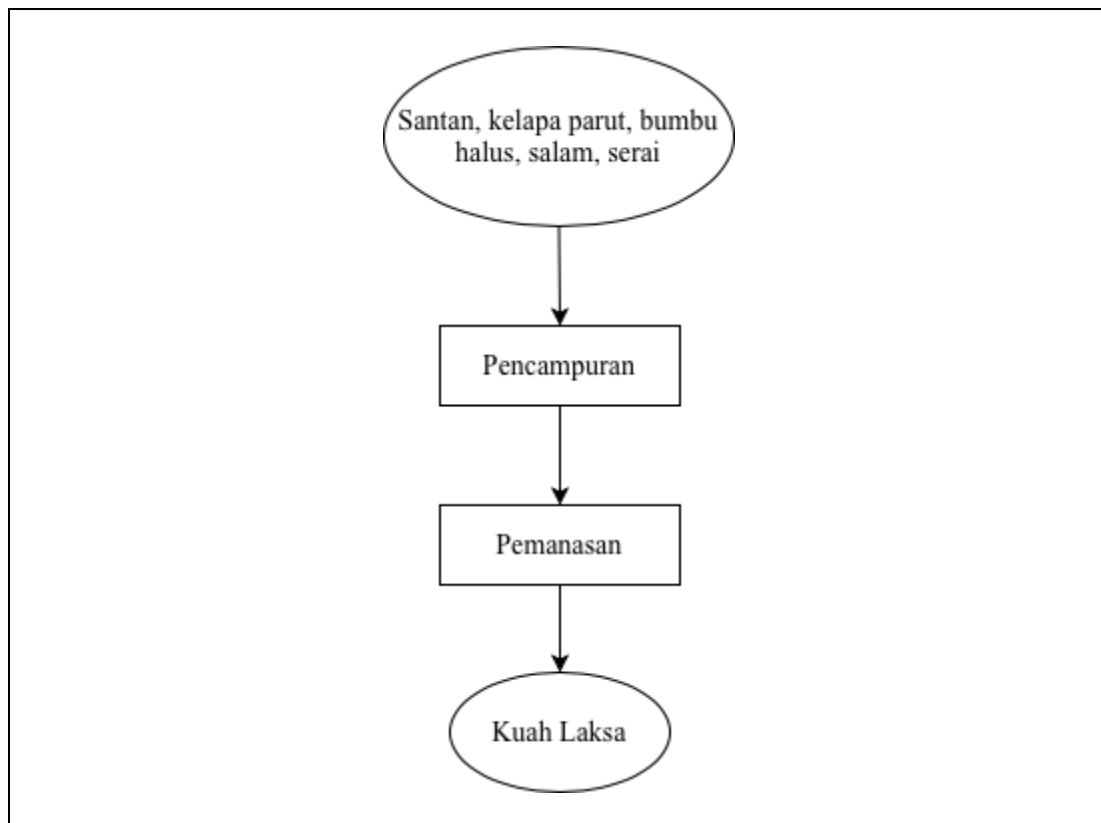
Pembuatan bumbu laksa diawali dengan perlakuan pendahuluan pada masing-masing bahan rempah untuk mengoptimalkan cita rasa dan aroma. Ketumbar disangrai hingga matang, sementara kemiri digoreng dan kunyit Dibakar, perlakuan tersebut untuk mengeluarkan aroma khas pada rempah. Ketumbar, kemiri, dan kunyit yang telah diberi perlakuan pendahuluan tersebut selanjutnya dicampurkan dengan bawang merah, bawang putih, merica, jahe, dan temu mangga yang kemudian dihaluskan bersama air menggunakan blender hingga diperoleh bumbu halus, sebagaimana disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Pembuatan Bumbu Laksa

3.2.1.2 Pembuatan Kuah Laksa

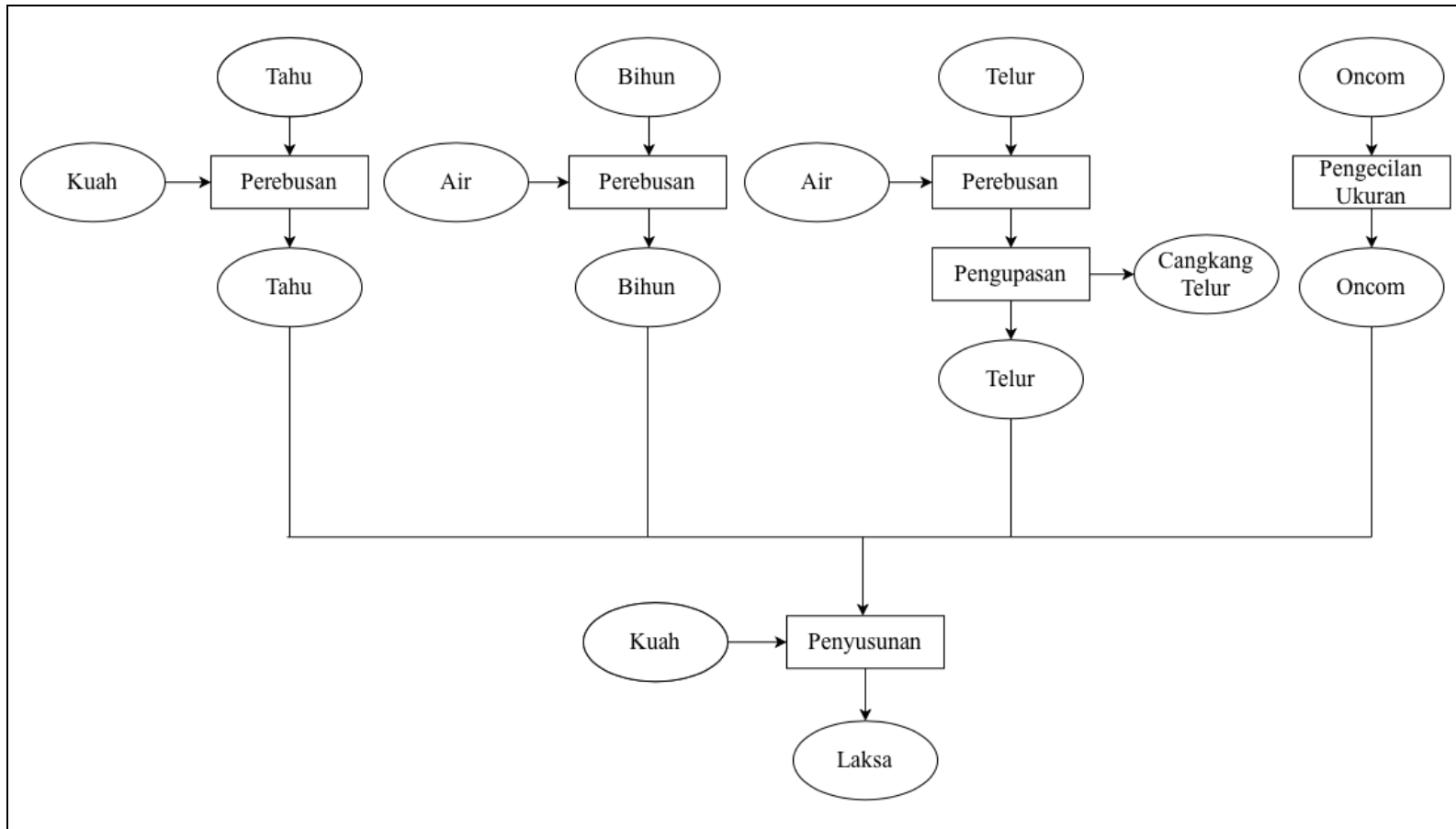
Bumbu halus yang telah diperoleh selanjutnya dicampurkan dengan santan, kelapa parut, daun salam, dan serai. Campuran tersebut kemudian dipanaskan hingga seluruh bahan tercampur sempurna dan diperoleh kuah laksa dengan tekstur kental berwarna kuning, sebagaimana disajikan pada Gambar 3. Proses pemanasan ini bertujuan untuk mematangkan bumbu, mengekstraksi santan dari kelapa parut, serta menghomogenkan seluruh komponen kuah.



Gambar 3. Diagram Alir Pembuatan Kuah Laksa

3.2.1.3 Pembuatan Laksa

Tahap pembuatan laksa meliputi persiapan masing-masing komponen isian secara terpisah sebelum disatukan. Pertama, tahu direbus bersama kuah laksa hingga matang dan meresap bumbu. Bihun direbus dengan air hingga lunak dan siap digunakan. Telur direbus bersama air hingga matang sempurna, kemudian dikupas untuk memisahkan cangkang dari bagian dalam telur. Oncom diperkecil ukurannya untuk memudahkan penataan dan penyajian. Keempat komponen isian tersebut, yaitu tahu, bihun, telur, dan oncom selanjutnya disusun bersama kuah laksa hingga diperoleh laksa siap konsumsi, sebagaimana disajikan pada Gambar 4.



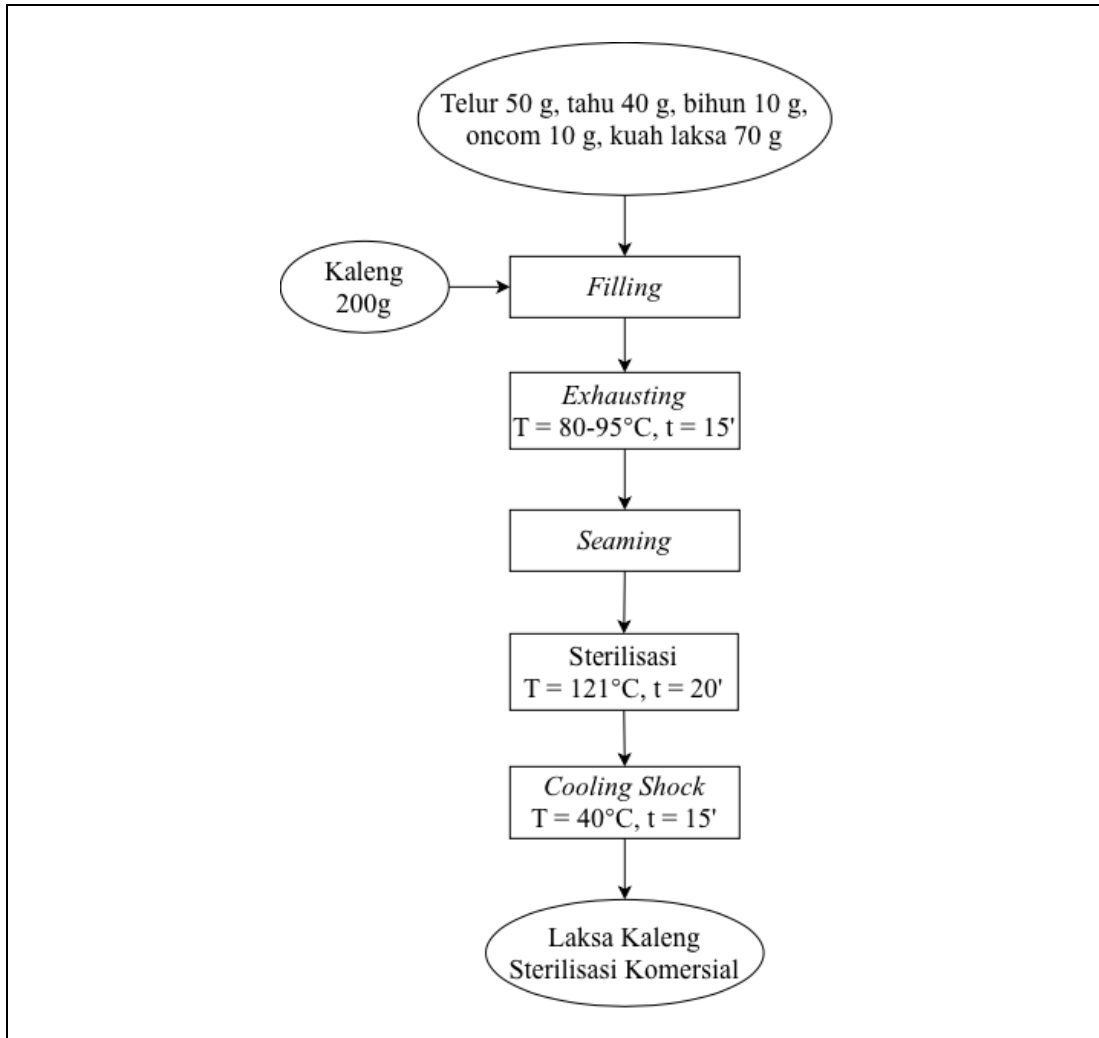
Gambar 4. Diagram Alir Pembuatan Laksa

3.2.1.4 Pengalengan dan Sterilisasi

Produk laksa yang telah disusun kemudian dimasukkan ke dalam kaleng berkapasitas 200 g berdiameter 8 cm dengan jenis kaleng *thinplate (two piece can)* melalui proses pengisian (*filling*), dengan komposisi isi terdiri atas telur 50 g, tahu 40 g, bihun 10 g, oncom 10 g, dan kuah laksa 70 g. Setelah pengisian, kaleng melalui tahap *exhausting* pada suhu 80–95°C selama 15 menit untuk mengeluarkan udara dari headspace kaleng, sehingga tercipta kondisi vakum parsial setelah kaleng ditutup dan mencegah oksidasi produk selama penyimpanan. Kaleng kemudian ditutup secara hermetis melalui proses penyegelan (*seaming*) menggunakan mesin penutup kaleng (*can sealer*).

Tahap selanjutnya adalah sterilisasi komersial menggunakan *steam retort* horizontal pada suhu 121°C selama 20 menit (Nurhikmat et al., 2016), bertujuan untuk menginaktivasi mikroba pembusuk maupun patogen, termasuk spora *Clostridium botulinum*, sesuai dengan persyaratan pangan olahan berasam rendah dikemas hermetis (PerBPOM No. 27 Tahun 2021). Setelah proses sterilisasi selesai, kaleng didinginkan secara cepat (*cooling shock*) hingga mencapai suhu 40°C selama 15 menit untuk menghentikan proses pemanasan lebih lanjut (*over-processing*) sekaligus mencegah pertumbuhan bakteri termofilik yang berpotensi aktif pada kondisi suhu hangat pascasterilisasi. Seluruh tahapan pengalengan dan sterilisasi komersial ini disajikan pada Gambar 6, dan menghasilkan produk akhir berupa Laksa Bogor kaleng sterilisasi

komersial yang selanjutnya digunakan sebagai sampel pada penelitian pendahuluan dan penelitian utama.



Gambar 5. Diagram Alir Pengalengan

3.2.2 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan merupakan penelitian untuk melakukan validasi titik kritis dari parameter kemunduran mutu atau respon yang diujikan. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan nilai ambang batas kerusakan (*cut-off point*) pada parameter pH dan Warna (ΔE) saat nilai TBA mencapai batas toleransi literatur, yaitu

3 mg malonaldehid/kg. Data yang diperoleh akan digunakan sebagai titik kritis dalam perhitungan estimasi umur simpan menggunakan persamaan *Arrhenius*.

3.2.3 Penelitian Utama

Penelitian utama merupakan penelitian yang dilakukan untuk menguji masa simpan produk Laksa Bogor kaleng menggunakan metode penyimpanan dipercepat (*Accelerated Shelf Life Testing*/ASLT). Produk selanjutnya disimpan pada suhu yang berbeda, yaitu 30°C, 40°C, dan 50°C selama 28 hari dengan pengamatan yang dilakukan setiap 7 hari sekali. Sebelum produk disimpan (hari ke-0), dilakukan terlebih dahulu analisis awal yang meliputi analisis *Thiobarbituric Acid* (TBA), pengukuran pH, dan analisis warna (ΔE) untuk mengetahui nilai awal dari masing-masing parameter. Nilai awal tersebut berfungsi sebagai data sehingga perubahan mutu yang terjadi selama penyimpanan juga digunakan pada perhitungan umur simpan.

3.2.3.1 Rancangan Perlakuan

Rancangan perlakuan pada penelitian pendahuluan dilakukan untuk menentukan titik kritis parameter pH dan warna (ΔE) ketika produk mencapai batas toleransi nilai *Thiobarbituric Acid* (TBA) sebesar 3 mg malonaldehid/kg sampel. Penentuan titik kritis ini bertujuan untuk memperoleh nilai batas mutu (A_t) yang akan digunakan sebagai acuan dalam perhitungan umur simpan menggunakan metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) model *Arrhenius*. Produk disimpan pada suhu kritis, yaitu 50°C, untuk mempercepat laju kerusakan, kemudian dilakukan pengujian nilai TBA setiap 3 hari sekali hingga diperoleh nilai TBA yang mendekati atau

mencapai 3 mg malonaldehid/kg sampel. Pada saat nilai TBA tersebut tercapai, dilakukan pengujian parameter pH dan warna (ΔE). Nilai pH dan warna (ΔE) yang diperoleh pada kondisi tersebut selanjutnya digunakan sebagai titik kritis (A_t) untuk masing-masing parameter mutu.

Rancangan perlakuan pada penelitian utama bertujuan untuk menentukan umur simpan produk laksa Bogor kalengan dengan menggunakan metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) model *Arrhenius* berdasarkan parameter mutu berupa nilai *Thiobarbituric Acid* (TBA), pH, dan warna (ΔE). Produk disimpan pada tiga kondisi suhu yang berbeda, yaitu 30°C, 40°C, dan 50°C, untuk mempercepat laju penurunan mutu dan mengetahui pengaruh suhu terhadap perubahan karakteristik produk selama penyimpanan. Pengamatan dilakukan selama 28 hari dengan interval analisis setiap 7 hari, sehingga diperoleh data perubahan masing-masing parameter mutu pada setiap suhu penyimpanan. Data hasil pengujian kemudian digunakan untuk menentukan orde reaksi, menghitung konstanta laju reaksi (k), menentukan energi aktivasi (E_a) melalui persamaan *Arrhenius*, serta mengestimasi umur simpan produk pada masing-masing suhu penyimpanan.

3.2.3.2 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang akan diimplementasikan dalam penelitian ini melibatkan variasi suhu dan waktu lama penyimpanan dengan menerapkan metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) melalui pendekatan model *Arrhenius*. Data utama penelitian laksa Bogor kalengan akan disajikan dalam bentuk tabel untuk dianalisis lebih lanjut ke tahap berikutnya.

Berdasarkan Syah (2022), tahapan utama dari metode ASLT dimulai dari pengumpulan data parameter mutu yang diujikan dalam berbagai variasi suhu yang kemudian disajikan pada tabel 1, kemudian dianalisis untuk melihat adanya penurunan kualitas mutu selama waktu penyimpanan. Data pada tabel 1 dilakukan analisis untuk menghasilkan nilai *slope*, *intercept*, serta koefisien determinasi (R^2) pada dengan cara regresi linier yang kemudian disajikan pada tabel 2. Kemudian penentuan ordo dengan memplotkan parameter mutu terhadap waktu untuk masing-masing ordo, yaitu ordo satu dan ordo nol. Setelah memplotkan data kedalam ordo nol dan ordo satu, ordo reaksi yang memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) lebih besar adalah ordo reaksi terpilih.

Tahapan berikutnya adalah melakukan pendugaan umur simpan berdasarkan persamaan *Arrhenius*. Perhitungan umur simpan dapat ditentukan dengan menghubungkan nilai k yang diperoleh dengan nilai suhu yang diinginkan melalui pemplotan $\ln k$ dan $1/T$. Berdasarkan grafik antara $\ln k$ dan $1/T$, didapat nilai energi aktivasi (E_a) dan laju perubahan mutu (nilai k) yang disajikan pada tabel 3. Setelah itu dapat diketahui umur simpan dari sebuah produk dengan memasukkan nilai k, nilai kritis, dan nilai awal produk pada persamaan *Arrhenius*.

Tabel 1. Hasil Analisis Produk Laksa Bogor Kaleng Selama Penyimpanan

Suhu	Hasil Analisis	Lama Penyimpanan				
		Hari ke-0	Hari ke-7	Hari ke-14	Hari ke-21	Hari ke-28
30°C	TBA					
	pH					
	Warna (ΔE)					
40°C	TBA					
	pH					
	Warna (ΔE)					
50°C	TBA					
	pH					
	Warna (ΔE)					

Tabel 2. Nilai Slope, Intercept dan Determinan pada reaksi ordo 0 dan ordo 1 Laksa Bogor Kaleng Selama Penyimpanan

Suhu	Hasil Analisis	Ordo 0			Ordo 1		
		Kemiringan (<i>Slope</i>) (k)	<i>Intercept</i>	Determinasi (R ²)	Kemiringan (<i>Slope</i>) (k)	<i>Intercept</i>	Determinasi (R ²)
30°C	TBA						
	pH						
	Warna (ΔE)						
40°C	TBA						
	pH						
	Warna (ΔE)						
50°C	TBA						
	pH						
	Warna (ΔE)						

Tabel 3. Persamaan *Arrhenius* Penurunan Mutu Produk Laksa Bogor Kaleng Selama Penyimpanan

Suhu	Hasil Analisis	k	ln k	T (°K)	1/T(°K)	Persamaan linier ln k dengan 1/T (°K)	Persamaan <i>Arrhenius</i>
30°C	TBA						
	pH						
	Warna (ΔE)						
40°C	TBA						
	pH						
	Warna (ΔE)						
50°C	TBA						
	pH						
	Warna (ΔE)						

3.2.2.3 Rancangan Analisis

Rancangan analisis pada produk Laksa Bogor Kaleng yang akan dilakukan adalah pendugaan umur simpan dengan menggunakan metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) dengan model *Arrhenius*. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi tingkat penurunan mutu produk serta menentukan suhu penyimpanan optimal yang dapat memperpanjang umur simpan produk.

Data yang terkumpul pada tabel 1 akan dianalisis dengan menggunakan metode regresi linier untuk mengevaluasi pengaruh suhu penyimpanan dan durasi penyimpanan terhadap parameter mutu yang diukur dengan menggunakan persamaan

$$y = a + bx \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

y = Parameter kemunduran mutu atau respon

x = Waktu penyimpanan

a = bilangan konstan (*intercept*)

b = koefisien regresi (*slope*)

Dengan regresi linier, akan didapatkan nilai *slope*, *intercept*, serta koefisien determinasi (R^2). Kemudian penentuan ordo dengan memplotkan parameter mutu terhadap waktu untuk masing-masing ordo, yaitu ordo satu dan ordo nol. Ordo reaksi yang memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) lebih besar adalah ordo reaksi terpilih. Setelah menentukan ordo terpilih, di dapatkan persamaan yang dapat digunakan untuk menentukan nilai konstanta laju degradasi parameter mutu produk (k) pada masing-masing suhu penyimpanan, dan diperoleh nilai k.

Umur simpan untuk ordo nol dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$t = (A_0 - A_t)/k \dots\dots\dots (2)$$

Kemudian untuk ordo satu dapat menggunakan persamaan berikut.

$$t = (\ln A_0 - \ln A_t)/k \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

t = umur simpan (hari)

A₀ = nilai mutu awal/konsentrasi awal

A_t = nilai mutu akhir/konsentrasi pada titik batas kedaluarsa (titik kritis)

k = konstanta (laju reaksi)

Nilai k yang diperoleh kemudian dihubungkan dengan suhu menggunakan persamaan *Arrhenius*. Secara empiris, pengaruh suhu terhadap kecepatan reaksi dinyatakan sebagai persamaan berikut.

$$k = k_0 \cdot e^{-\left(\frac{E_a}{RT}\right)} \dots\dots\dots (4)$$

E_a = energi aktivasi

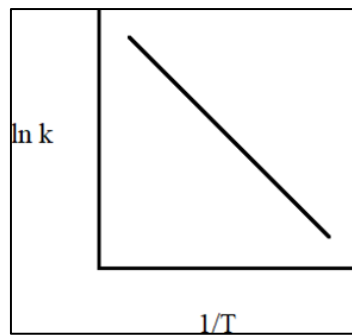
T = suhu mutlak (K)

R = konstanta gas (1.986 kal/mol K; 8.314 J/mol.K)

Persamaan diatas dapat diubah menjadi persamaan linier berikut ini.

$$\ln k = \ln k_0 - \left(\frac{E_a}{R}\right)\left(\frac{1}{T}\right) \dots\dots\dots (5)$$

Melalui pemetaan antara $\ln k$ dan $1/T$ akan menghasilkan garis lurus yang digunakan untuk ekstrapolasi dalam rangka menduga umur simpan produk. Setelah pemetaan $\ln k$ dan $1/T$, didapatkan nilai energi aktivasi. Energi aktivasi yang kecil memberikan dugaan umur simpan yang pendek, semakin besar energi aktivasi suatu reaksi, semakin tinggi pula energi yang dibutuhkan untuk terjadinya suatu reaksi, sehingga reaksi deteriorasi yang terjadi pun tidak secepat reaksi dengan energi aktivasi yang lebih kecil dan akan menghasilkan umur simpan yang lebih lama.



Gambar 6. Grafik $\ln k$ dan $1/T$

Kriteria yang dapat digunakan untuk menentukan umur simpan suatu produk menurut Syah (2012) yaitu: (1) Parameter mutu yang paling cepat mengalami penurunan selama penyimpanan yang ditunjukkan dengan nilai koefisien k mutlak atau nilai koefisien determinasi *lebih* besar, (2) parameter mutu yang paling sensitive terhadap perubahan suhu yang dilihat dari nilai kemiringan (slope) persamaan *Arrhenius* atau energi aktivasi yang paling rendah, (3) bila terdapat lebih dari satu parameter mutu yang memenuhi kriteria, maka dipilih parameter mutu yang memiliki umur simpan yang lebih pendek.

3.2.2.4 Rancangan Respon

Rancangan respon yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah analisis mutu produk laksa Bogor kalengan selama penyimpanan, yang meliputi analisis kimia, mikrobiologi, dan uji organoleptik.

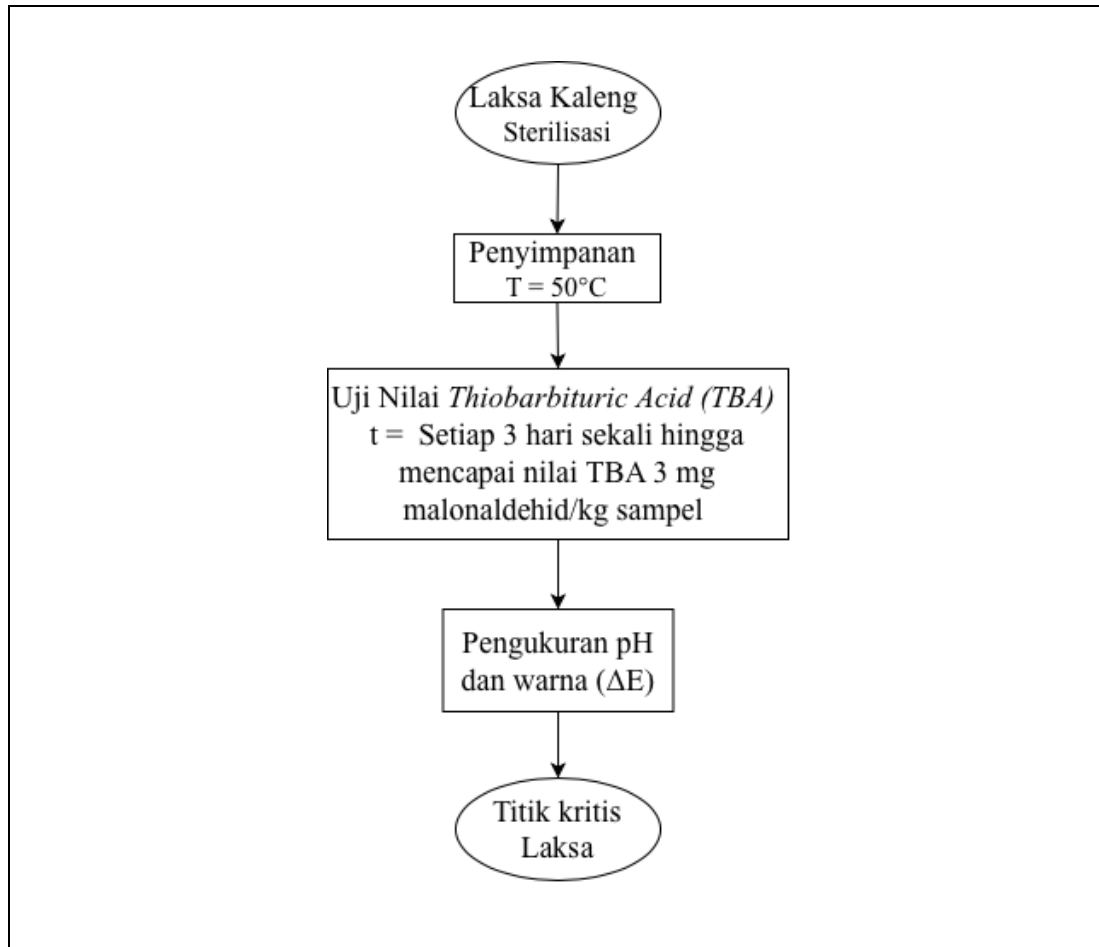
1. Respon Kimia

Analisis kimia yang dilakukan terhadap produk laksa Bogor kalengan adalah Analisis TBA, pengujian pH dan warna (ΔE). Parameter TBA ini penting untuk menentukan kadar senyawa seperti *malondialdehyde* (MDA) yang menyebabkan ketengikan dan *off-flavor*. Kemudian pengujian pH untuk melihat perubahan derajat keasaman pada produk laksa Bogor kaleng yang dapat diterima konsumen dan pengujian warna (ΔE) untuk mengetahui perubahan warna yang terjadi selama penyimpanan.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan bertujuan untuk melakukan validasi titik kritis berdasarkan literatur. Produk disimpan pada suhu ekstrem (50°C) hingga produk mencapai bilangan TBA sebesar 3 mg malonaldehid/kg sampel, ketika produk mencapai bilangan TBA tersebut kemudian diukur nilai pH dan warna (ΔE) sehingga didapatkan besarnya nilai pH dan warna (ΔE) pada kondisi tersebut. Produk diujikan dengan interval 24 jam sekali hingga produk mencapai bilangan TBA 3 mg malonaldehid/kg sampel.



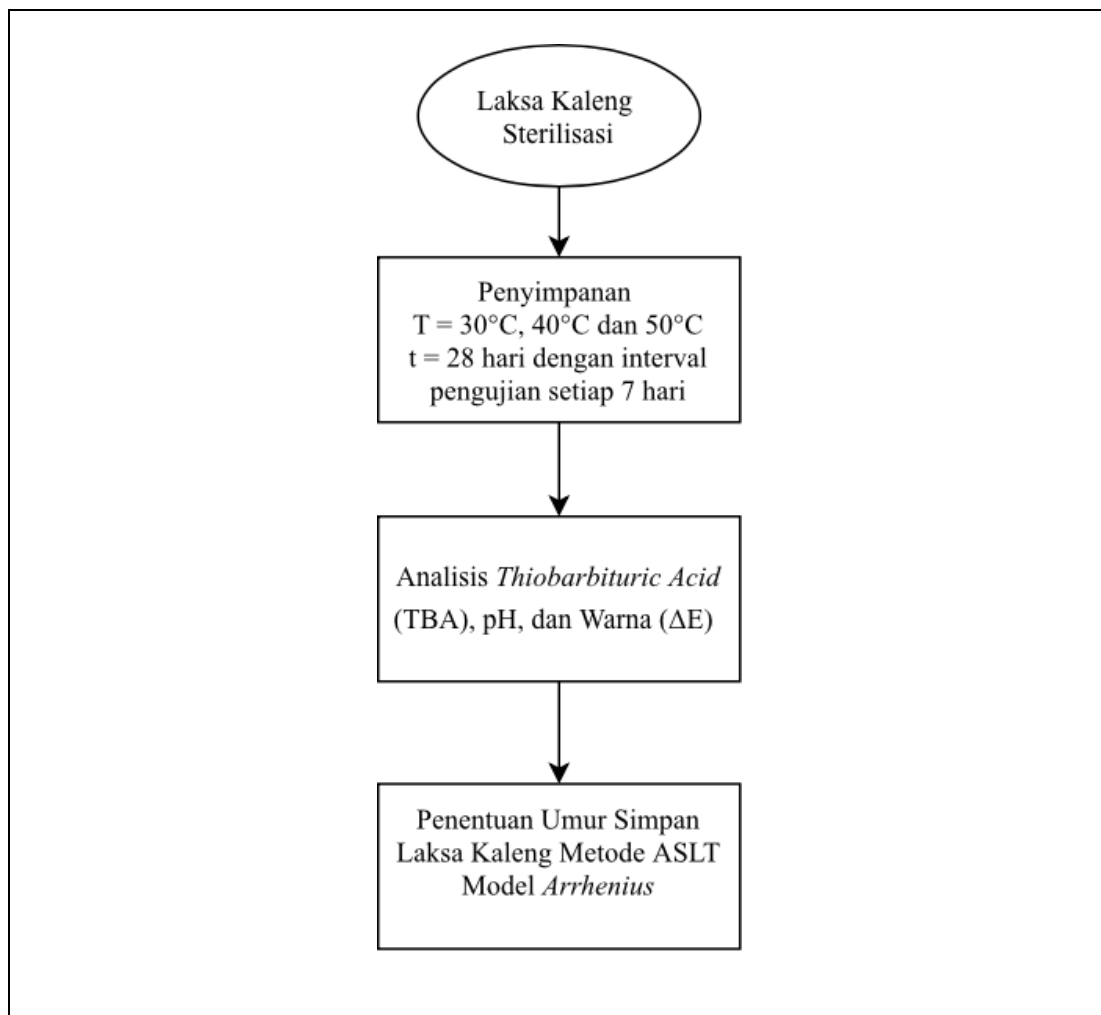
Gambar 7. Diagram Alir Penelitian Pendahuluan

3.3.2 Penelitian Utama

Penelitian utama bertujuan untuk menentukan laju penurunan mutu dan menduga umur simpan produk laksa Bogor kalengan. Produk akan disimpan pada tiga kondisi suhu berbeda, yaitu 30°C, 40°C, dan 50°C selama 28 hari.

Selama masa penyimpanan, dilakukan analisis kimia dan mikrobiologi secara berkala untuk mengetahui laju penurunan mutunya. Parameter yang diamati adalah analisis *Thiobarbituric Acid* (TBA), pengukuran pH, dan warna (ΔE). Pengamatan dilakukan pada interval 7 hari yaitu pada hari ke-0, 7, 14, 21, dan 28. Data penurunan

mutu yang telah didapat kemudian akan diolah menggunakan model *Arrhenius* untuk menduga umur simpan dari produk laksa Bogor kalengan



Gambar 8. Diagram Alir Penelitian Utama

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menguraikan terkait: (1) Penelitian Pendahuluan, dan (2) Penelitian Utama.

4.1 Hasil Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan merupakan penelitian untuk memvalidasi titik kritis yang terdapat pada literatur dari parameter kemunduran mutu yang diujikan. Pengujian ini dilakukan mengukur parameter pH dan Warna saat nilai TBA mencapai batas toleransi literatur, yaitu 3 mg malonaldehid/kg (Aprilio, 2024).

Sebelum memasuki pengujian titik kritis, sampel terlebih dahulu dilakukan preparasi seperti yang tertera pada diagram alir, setelah itu dilakukan proses pengalengan yang dimulai dari *filling* hingga proses *seaming*. Selanjutnya produk dilakukan sterilisasi yang semula pada alat *steam retort* menjadi autoklaf untuk sterilisasi alat, meskipun begitu autoklaf dan steam retort memiliki prinsip yang sama yaitu dengan menggunakan panas dan uap air bertekanan tinggi. Autoklaf memiliki kapasitas sekitar 75 liter dan proses sterilisasi berlangsung pada suhu 121°C selama 20 menit. Kemudian produk disimpan pada berbagai suhu penyimpanan yakni 30°C, 40°C, dan 50°C.

Data yang diperoleh akan digunakan sebagai titik kritis dalam perhitungan estimasi umur simpan menggunakan persamaan *Arrhenius*. Pengujian ini dilakukan setiap 3 hari sekali hingga produk mencapai nilai TBA 3 mg malonaldehid/kg produk yang disimpan pada suhu kritis yaitu 50°C.

Tabel 4. Hasil Pengujian Titik Kritis

Waktu Penyimpanan (Hari)	0	3	6	9	12	15	18
Nilai TBA (mg/kg sampel)	50,66	43,49	48,61	28,66	43,49	31,21	59,87
Standar Deviasi (SD)	2,89	2,17	1,45	2,17	3,62	1,45	2,17

Berdasarkan tabel 4, hasil pengujian pendahuluan titik kritis menunjukkan bahwa nilai TBA yang didapat sudah melampaui jauh dari batas kritis nilai TBA yaitu 3 mg malonaldehid/kg sampel sejak hari ke-0 pengujian nilai TBA. Tingginya nilai TBA ini merupakan keterbatasan dari metode pengujian TBA, yang mana terdapat interferensi dari senyawa selain malodaldehid (MDA) seperti gula, asam amino, protein terlarut, peptide, droplet lemak, dan lain-lain (Mendes et al., 2009), yang menyebabkan overestimasi dari nilai TBA yang terukur (Laila et al., 2020). Akibatnya, penelitian pendahuluan tidak dapat mengidentifikasi titik kritis saat TBA mencapai ambang 3 mg malonaldehid/kg sampel karena nilai yang didapat berada diluar rentang wajar dan tidak mencerminkan kondisi ketengikan yang sesungguhnya terjadi pada produk Laksa Bogor kaleng.

Oleh karena itu, data hasil penelitian pendahuluan ini tidak dapat digunakan sebagai penentuan titik kritis pH dan warna. Sebagai pengganti, penentuan titik kritis respon kimia pH dan warna akan mengacu pada literatur. Berdasarkan Codex (2003), produk santan cair memiliki nilai minimal pH sebesar 5,9 dan titik kritis warna (ΔE) sebesar 5 (perbedaan warna yang terlihat jelas) berdasarkan standar perseptual warna CIE (Mokrzycki et al., 2012)

4.2 Hasil Penelitian Utama

Penelitian Utama merupakan penelitian untuk melakukan pendugaan umur simpan Laksa Bogor Kaleng yang disimpan tiga suhu berbeda yaitu pada suhu 30°C, 40°C, dan 50°C selama 28 hari dengan parameter kerusakannya yaitu TBA, pH dan Warna (ΔE).

4.2.1 Uji *Thiobarbituric Acid* (TBA)

4.2.1.1 Data Hasil Analisis *Thiobarbituric Acid* (TBA)

Produk pangan yang mengandung lemak dapat mengalami kerusakan dengan timbulnya bau dan rasa tengik yang disebut dengan ketengikan (Winarno, 2004). Ketengikan atau *rancidity* merupakan kerusakan atau perubahan bau dan flavor dalam lemak ataupun suatu bahan pangan berlemak. Penentuan tingkat ketengikan suatu produk pangan dapat diuji dengan Uji *Thiobarbituric Acid* (TBA), uji ini akan mereaksikan lemak yang tengik (aldehida) dengan asam tiobarbiturat yang menghasilkan warna merah (Ketaren, 1986).

Tabel 5. Hasil Analisis TBA

Keterangan: satuan mg MDA/kg sampel

Suhu	Waktu Penyimpanan									
	Hari ke-0	SD	Hari ke-7	SD	Hari ke-14	SD	Hari ke-21	SD	Hari ke-28	SD
30°C	50,66	2,89	39,40	2,17	48,10	2,17	45,54	5,07	50,66	3,62
40°C	50,66	2,89	33,77	8,68	41,45	1,45	48,10	3,62	55,27	5,79
50°C	50,66	2,89	41,96	3,62	37,35	1,45	53,73	4,34	59,87	8,68

Berdasarkan data yang terdapat pada tabel 5 diatas, diketahui bahwa hasil pengujian TBA Laksa Bogor kaleng memiliki hasil yang melampaui batas kritis berdasarkan literatur yaitu 3 mg malonaldehid/kg sampel sama seperti penelitian pendahuluan. Nilai ini juga jauh lebih tinggi dibanding dengan penelitian Gudeg kaleng yang mengalami sedikit perubahan bilangan TBA yaitu 0,22-0,28 mg malonaldehid/kg selama 18 bulan penyimpanan (Nurhikmat et al., 2015). Hal ini mengindikasikan bahwa hasil dari TBA yang diperoleh kemungkinan tidak murni mencerminkan tingkat ketengikan dari suatu produk pangan.

Nilai TBA pada hasil analisis TBA cenderung memiliki *trend* kenaikan selama penyimpanan. Kenaikan TBA ini menjadi indikasi bahwa produk mengalami oksidasi lemak (Pegg, 2001). Sejalan dengan penelitian Putra (2025) nilai TBA mengalami kenaikan selama penyimpanan pada produk mangut manyung asap yang dikemas dalam *retort pouch*. Hari ke-0 analisis TBA memiliki nilai yang sangat tinggi diduga karena panas dari sterilisasi memicu oksidasi awal dan juga interferensi dari senyawa non-malonaldehid sehingga pembacaan malonaldehid (MDA) menjadi *overestimate*. Pada hari tertentu seperti pada hari ke-7 penyimpanan, terjadi penurunan nilai TBA pada ketiga suhu penyimpanan (30°C, 40°C, dan 50°C), hal ini diduga reagen TBA yang mengalami degradasi akibat suhu dan penyimpanan dari reagen TBA yang menyebabkan warna reagen yang menguning. Reagen TBA seharusnya disimpan pada suhu 4°C dan digunakan dalam waktu satu minggu (Pegg, 2001). Data hasil analisis TBA pada beberapa waktu penyimpanan mengalami fluktuasi yang diduga karena malonaldehid dapat reaktif terhadap senyawa seperti asam amino dan protein.

Malonaldehid merupakan produk dekomposisi dari hidroperoksida yang diduga labil dan juga reaktif, yang mana hidroperoksida dapat terurai menjadi senyawa yang lain seiring berlanjutnya proses oksidasi lemak. (Arbi et al., 2016).

Proses oksidasi dapat dijelaskan dengan mekanisme autooksidasi yang terdiri dari tiga rantai utama yaitu inisiasi, propagasi, dan terminasi. Tahap inisiasi, radikal bebas mengambil atom hidrogen yang mudah terlepas dari gugus metilen pada asam lemak tak jenuh ganda atau *polyunsaturated fatty acids* (PUFA) dan terbentuk radikal lipid yang lebih stabil dari penataan ulang molekul membentuk diena terkonjugasi. Pada tahap propagasi, radikal lipid tersebut bereaksi dengan oksigen membentuk radikal peroksil yang selanjutnya mengabstraksi atom hidrogen dari molekul asam lemak lain sehingga menghasilkan hidroperoksida lipid sekaligus radikal lipid baru. Hidroperoksida yang terbentuk bersifat tidak stabil dan akan terdekomposisi lebih lanjut menjadi berbagai senyawa karbonil salah satunya malonaldehid (MDA). Reaksi ini akan berakhir pada tahap terminasi, ketika dua radikal saling berikatan membentuk senyawa nonradikal yang stabil (Abeyrathne et al., 2021).

Metode TBA pada prinsipnya mereaksikan sampel yang mengandung malonaldehid (MDA) dengan pereaksi TBA (*2-thiobarbituric acid*) yang akan menghasilkan senyawa kromogen berwarna merah muda yang memiliki absorbansi maksimum pada panjang gelombang 532-535 nm. (Laila et al., 2020). Metode TBA dengan spektrofotometri telah dikritik karena kurangnya sensitivitas dan ketidakakuratan yang tinggi karena TBA tidak hanya reaktif terhadap malodaldehid (MDA), tetapi reaktif terhadap senyawa lain, diantaranya gula, asam amino, protein

terlarut, *peptide*, droplet lemak, dan lain-lain yang disebut dengan senyawa penginterferensi. (Mendes et al., 2009). Senyawa-senyawa yang reaktif terhadap TBA dinamakan *Thiobarbituric Acid Reactive Substance* (TBARS) (Laila et al., 2020).

Pada dasarnya, senyawa penginterferensi dan TBA akan menghasilkan warna kuning dengan absorbansi maksimum 420-460 nm. Namun hal ini dapat menyebabkan *overlapping* dari pembacaan MDA pada absorbansi 532-535 nm. *Overlapping* tersebut menyebabkan nilai absorbansi yang terbaca menjadi *overestimate* terhadap kadar MDA yang sebenarnya. (Díaz et al., 2014). Selain dari interferensi senyawa TBARS, pengujian TBA dengan metode *direct* (AOCS Cd 19-90) yang mereaksikan sampel secara langsung dengan reagen TBA, sehingga besar kemungkinan terdapat senyawa interferensi yang bereaksi dengan TBA. Menurut Pegg (2001), fraksi lemak sebaiknya diisolasi terlebih dahulu melalui tahap ekstraksi sebelum dilakukan penentuan TBA, atau senyawa TBA-reaktif yang bersifat volatil dikumpulkan terlebih dahulu melalui distilasi uap. Hal ini guna memisahkan malonaldehid dari senyawa pengganggu lain dalam sampel yang kompleks seperti Laksa Bogor.

Mendes et al., (2009) menyimpulkan bahwa pengukuran MDA menggunakan *high performance liquid chromatography* (HPLC) memiliki akurasi dan spesifisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan spektrofotometri TBA konvensional, yang menunjukkan tingkat perolehan kembali atau *recovery* yang rendah (di bawah 71%) serta rentan terhadap interferensi dari senyawa selain MDA.

4.2.2 pH

4.2.2.1 Data Hasil Analisis Parameter pH

Perubahan pH dapat menjadi salah satu parameter kemunduran mutu produk pangan karena nilai pH dapat mencerminkan terjadinya reaksi kimia pada suatu produk (Bahanawan & Sugiyanto, 2020). Perubahan pH yang terjadi pada produk pangan dapat diakibatkan dari lama waktu dan suhu penyimpanan yang lebih tinggi (Bubelová et al., 2017). BPOM (2021) menyebutkan pangan olahan berasam rendah dikemas hermetis memiliki pH lebih besar dari 4,6.

Tabel 6. Hasil Analisis pH

Suhu	Waktu Penyimpanan									
	Hari ke-0	SD	Hari ke-7	SD	Hari ke-14	SD	Hari ke-21	SD	Hari ke-28	SD
30°C	6,73	0,00	6,72	0,03	6,69	0,03	6,7	0,08	6,66	0,01
40°C	6,73	0,00	6,68	0,03	6,62	0,02	6,57	0,00	6,59	0,04
50°C	6,73	0,00	6,61	0,01	6,54	0,03	6,41	0,03	6,3	0,01

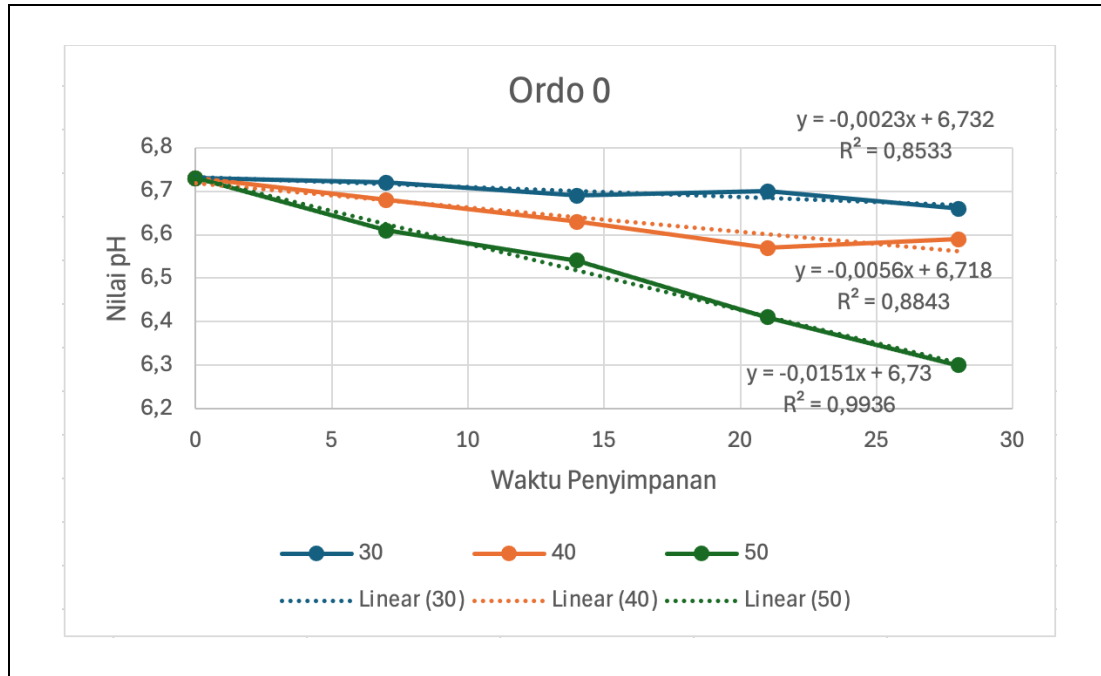
Berdasarkan tabel 6, nilai pH awal produk laksa pada hari ke-0 pada penelitian ini adalah 6,73 dan mengalami penurunan seiring waktu penyimpanan pada ketiga suhu berbeda (30°C, 40°C, dan 50°C). Penurunan pH pada laksa diduga dapat dipengaruhi oleh terbentuknya senyawa asam selama penyimpanan, terutama asam lemak bebas (FFA) yang terbentuk akibat hidrolisis lemak yaitu hidrolisis trigliserida yang terkandung dalam santan. Reaksi ini membentuk ikatan ester pada trigliserida dan air yang dipicu oleh panas residual dan kandungan air yang tinggi pada produk. Sistem emulsi pada santan tidak memiliki sistem penyangga (*unbuffered*) sehingga

pembentukan FFA dapat menurunkan pH seiring berjalannya waktu setelah proses sterilisasi (Estiasih et al., 2015).

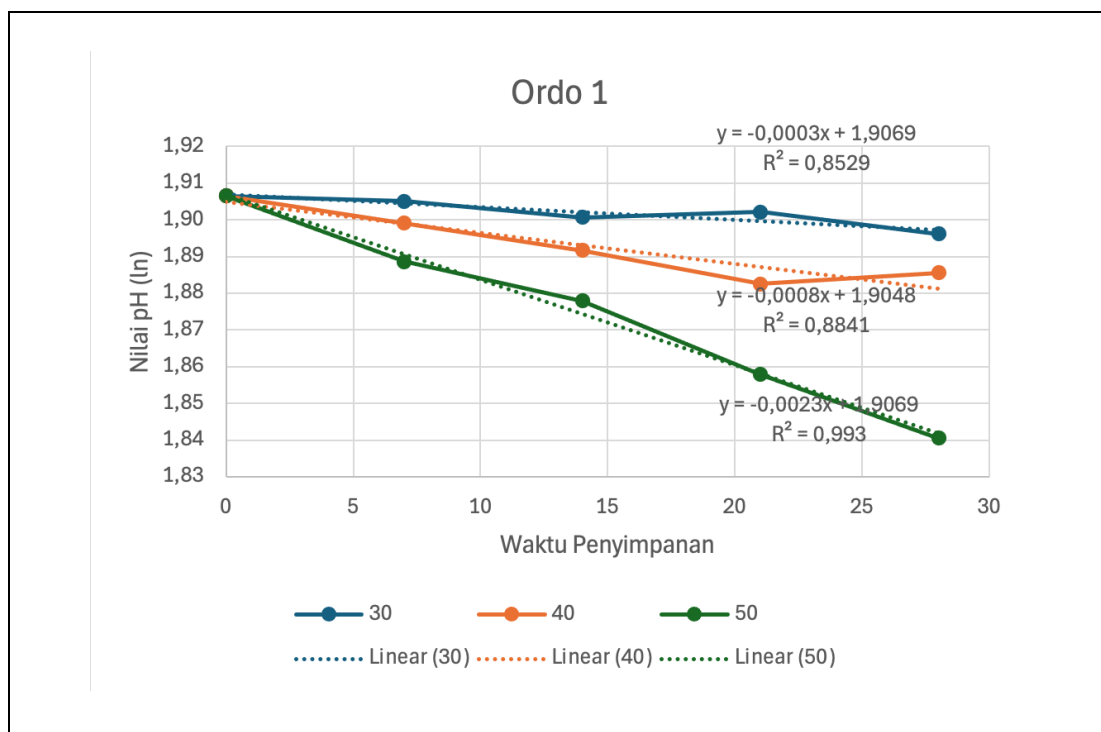
Penurunan pH juga dapat diduga oleh degradasi protein yang berasal dari bahan-bahan yang terdapat pada laksa seperti telur, tahu, dan oncom selama penyimpanan. Hidrolisis ikatan peptida pada protein menghasilkan asam amino. Asam amino terdiri dari gugus karboksil (COOH) dan amina (NH_2) yang menyebabkan asam amino bersifat asam dan basa (pH dapat ditentukan dari gugus-R). Valin, alanin, serin dan treonin merupakan asam amino dengan sifat netral, sedangkan asam glutamat dan asam aspartat bersifat asam, kemudian asam amino yang bersifat basa yaitu arginin dan lisin (Putri, 2025). Protein pada kedelai memiliki kandungan asam amino bersifat asam yang tinggi, tersusun atas 25% atas asam amino yang bersifat asam, yaitu asam glutamat dan asam aspartat. Hal ini mendukung bahwa penurunan pH pada laksa dapat diduga karena kontribusi asam amino yang bersifat asam dari kedelai (Nugraha, 2022).

4.2.2.2 Pemilihan Ordo Reaksi Parameter pH

Dilakukan pemetaan data pada parameter pH terhadap waktu penyimpanan untuk menentukan ordo reaksi 0 dan ordo reaksi 1 yang kemudian disajikan pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Grafik Perubahan pH Ordo 0 Laksa Bogor Kaleng



Gambar 10. Grafik Perubahan pH Ordo 1 Laksa Bogor Kaleng

Tabel 7. Pemilihan Ordo Reaksi Parameter pH

Parameter	Suhu (°C)	R ²		Ordo Terpilih
		Ordo 0	Ordo 1	
pH	30°C	0,8533	0,8529	0
	40°C	0,8843	0,8841	
	50°C	0,9936	0,9930	
Rata-rata		0,9104	0,9100	

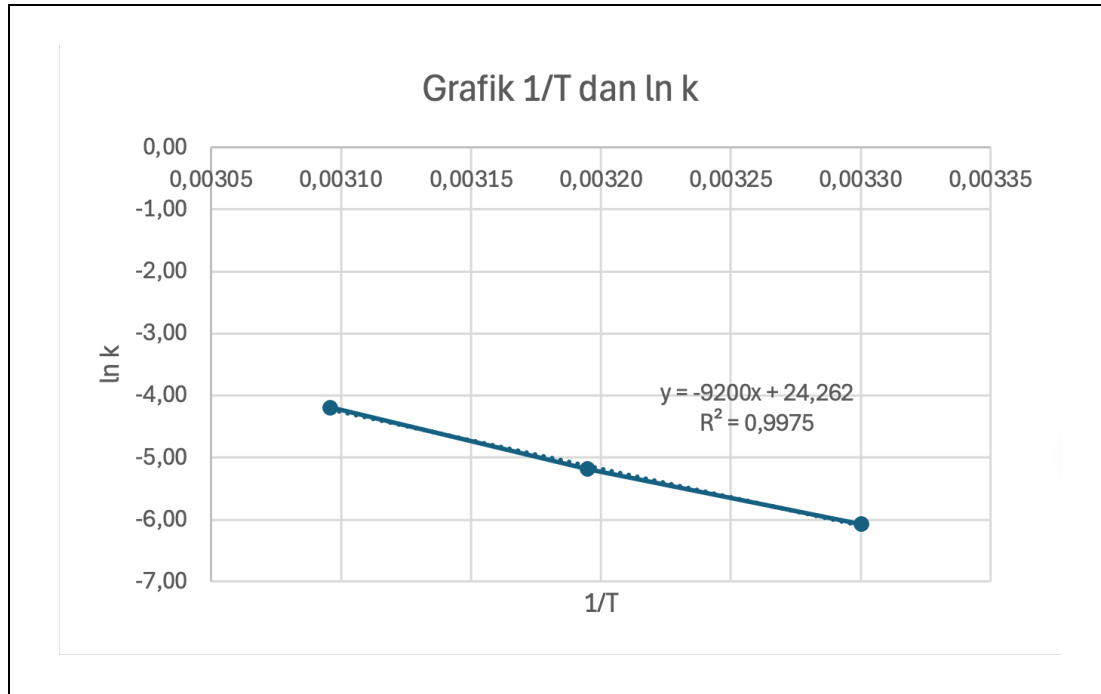
Berdasarkan data grafik perubahan pH pada ordo 0 dan ordo 1, nilai koefisien determinasi (R^2) dari masing masing suhu antara ordo 0 dan ordo 1 hampir identik namun dapat diidentifikasi bahwa nilai R^2 yang lebih besar terdapat pada ordo 0, sehingga ordo reaksi yang digunakan yaitu ordo 0 berdasarkan perbandingan nilai R^2 dari ordo 0 dan ordo 1 diseluruh suhu penyimpanan. Hal ini menandakan bahwa perubahan mutu dari pH produk laksa berlangsung secara konstan (Sahambangung et al., 2016).

4.2.2.3 Hasil Perhitungan Umur Simpan Parameter pH

Setelah penentuan ordo, didapatkan nilai k dari persamaan regresi ordo 0 sebagai berikut.

Tabel 8. 1/T dan ln k Parameter pH

Suhu (C)	Suhu (K)	(1/T) K	k	ln k
30	303	0,00330	0,0023	-6,07
40	313	0,00319	0,0056	-5,18
50	323	0,00310	0,0151	-4,19



Gambar 11. Grafik Hubungan antara $1/T$ dan $\ln k$ Parameter pH

Dari persamaan yang disajikan dalam gambar 10, kemudian diplotkan antara $1/T$ (sumbu x) dan $\ln k$ (sumbu y) untuk mendapatkan nilai energi aktivasi, lalu diperoleh nilai k_0 untuk menentukan perhitungan umur simpan berdasarkan ordo 0 dan diperoleh umur simpan dari produk Laksa Bogor Kaleng berdasarkan parameter pH. Nilai E_a , k dan umur simpan Laksa Bogor Kaleng dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 9. Konstanta Penurunan Mutu Parameter pH dan Umur Simpan Laksa Bogor

Suhu (°C)	E_a (kal/mol)	k_0	Konstanta Penurunan Mutu (k)/hari	Umur Simpan (Hari)
30	18.271,2	$3,44 \times 10^{10}$	0,00224	370
40			0,00591	140
50			0,01468	56

Berdasarkan data pada tabel 8 diatas, didapatkan nilai E_a sebesar 18271,2 kal/mol dan laju penurunan mutu (k) mengalami kenaikan setiap kenaikan suhu yang menandakan laju penurunan mutu dipercepat oleh suhu. Kenaikan suhu dapat menyebabkan lebih besarnya kecepatan reaksi pada produk yang ditunjukkan dengan kemiringan garis yang semakin tajam dengan konstanta penurunan mutu yang semakin besar pula. Semakin besar kecepatan reaksi maka konsentrasi reaktan hasil reaksi akan semakin besar dan produk mejadi cepat rusak, dan umur simpan semakin pendek (Estiasih et al., 2015). Berdasarkan penelitian pendugaan umur simpan Laksa Bogor kaleng pada parameter pH didapatkan pada suhu 30°C memiliki umur simpan selama 370 hari, pada suhu 40°C selama 140 hari dan pada suhu 50°C selama 56 hari.

4.2.3 Warna

4.2.3.1 Data Hasil Analisis Warna (ΔE)

Warna merupakan atribut mutu yang penting dalam lingkup produk pangan yang mempengaruhi pilihan dan preferensi konsumen. Perubahan warna merupakan indikator terjadinya reaksi kimia tertentu selama pengolahan maupun penyimpanan (Pathare et al., 2013). Pengukuran warna selama penyimpanan dilakukan dengan alat kolorimeter, prinsip kerjanya berdasarkan pada pemantulan warna yang dihasilkan oleh sampel yang dinyatakan dengan sistem notasi warna *Hunter* yang dicirikan dengan tiga parameter warna yaitu warna kromatik (*Hue*) yang ditulis dengan notasi a^* , intensitas warna (*chroma*) dengan notasi b^* , dan kecerahan (*lightness*) dengan notasi L^* . (Andarwulan et al., 2011).

Tabel 10. Hasil Analisis Warna

Suhu	Waktu Penyimpanan									
	Hari ke-0	SD	Hari ke-7	SD	Hari ke-14	SD	Hari ke-21	SD	Hari ke-28	SD
30°C	0	0,00	0,68	0,11	0,63	0,23	0,73	0,02	0,81	0,07
40°C	0	0,00	0,72	0,08	0,92	0,10	1,08	0,09	1,2	0,08
50°C	0	0,00	1,03	0,17	1,45	0,18	1,64	0,28	1,78	0,16

Berdasarkan hasil analisis warna pada tabel 9, didapatkan bahwa Laksa Bogor kaleng mengalami kenaikan ΔE secara konsisten. Nilai ΔE digunakan untuk menentukan tingkat degradasi warna secara objektif, semakin besar ΔE semakin besar pula perbedaan warna yang terjadi. Hari ke-0 memiliki nilai 0 karena pada sistem CIELab hari ke-0 ditetapkan sebagai standar untuk membandingkan warna dengan hari berikutnya sehingga makna 0 dapat dikatakan produk belum terjadi perubahan warna dari kondisi awal.

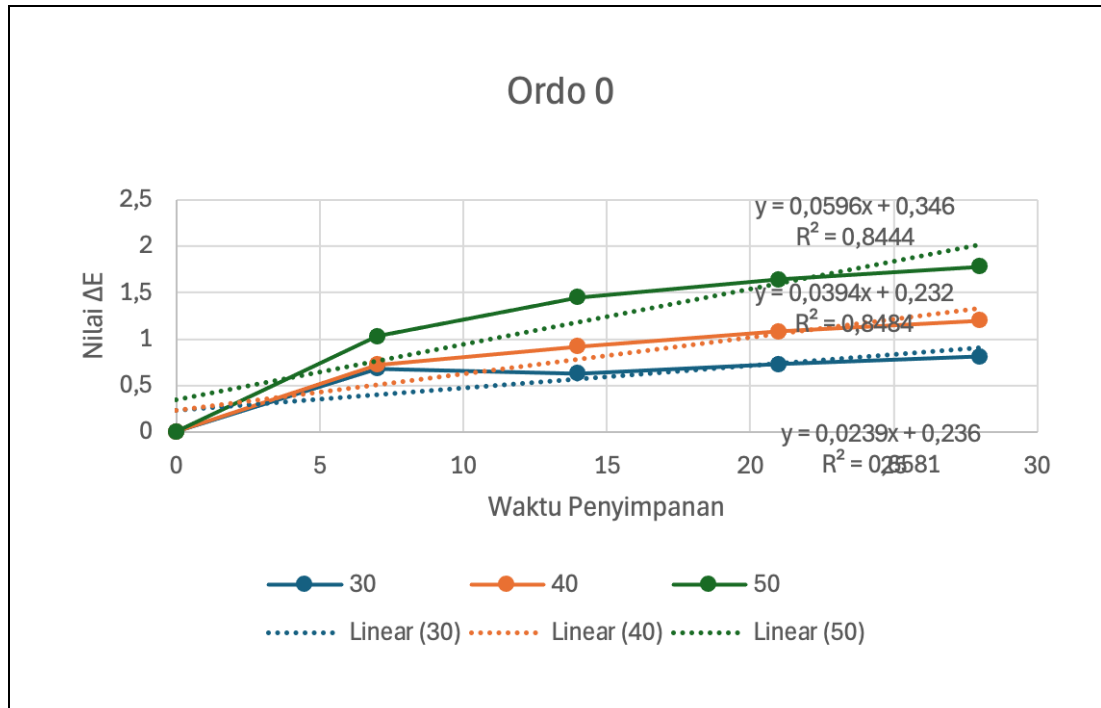
Lama penyimpanan dan suhu penyimpanan mempengaruhi kenaikan nilai ΔE pada produk Laksa Bogor kaleng. (Gong et al., 2025). Peningkatan nilai ΔE pada penelitian ini terutama didorong oleh berubahnya nilai L yang meningkat (kecerahan bertambah) dan nilai b yang menurun (warna kuning memudar), dengan nilai a^* yang turut meningkat. Pola perubahan yang mendasari peningkatan ΔE produk ini adalah pemudaran warna (*fading*) akibat degradasi pigmen alami, bukan reaksi pencoklatan atau *browning* seperti reaksi maillard (Hu et al., 2024). Produk ini memiliki pigmen alami seperti kurkumin yang berasal dari kunyit pada kuah santan, karotenoid dari

kuning telur dan oncom, yang secara bersamaan memberikan warna kuning-oranye pada produk. Pigmen-pigmen tersebut memiliki ikatan rangkap terkonjugasi yang sensitif terhadap degradasi akibat panas (Natalina et al., 2009). Panas setelah sterilisasi dan suhu akselerasi selama penyimpanan memutus ikatan rangkap tersebut sehingga intensitas warna dari pigmen menurun.

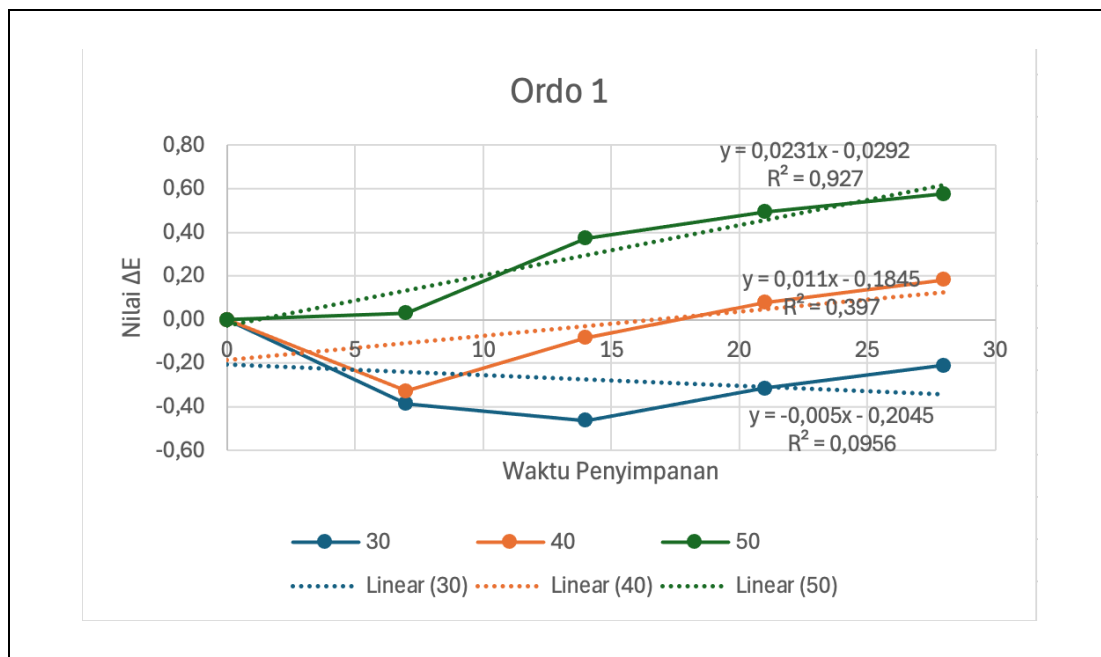
Perubahan kimiawi seperti reaksi maillard juga berkontribusi dalam perubahan warna produk meskipun tidak terlalu besar. Reaksi antara gugus amino bebas pada protein dalam telur dan tahu dengan gula pereduksi pada santan menghasilkan senyawa melanoidin warna coklat dalam jumlah kecil (Echavarría et al., 2012). Secara keseluruhan peningkatan ΔE pada produk ini cenderung pada hasil akumulasi dari degradasi pigmen alami, dengan reaksi maillard dan reaksi sekunder lainnya berkontribusi secara minor selama penyimpanan.

4.2.3.2 Pemilihan Ordo Reaksi Parameter Warna (ΔE)

Data diatas kemudian dilakukan pemetaan data antara parameter warna terhadap waktu penyimpanan untuk menentukan ordo reaksi 0 dan ordo reaksi 1 yang kemudian disajikan pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Perubahan Warna Ordo 0 Laksa Bogor Kaleng



Gambar 13. Grafik Perubahan Warna Ordo 1 Laksa Bogor Kaleng

Tabel 11. Pemilihan Ordo Reaksi Parameter Warna

Parameter	Suhu (°C)	R ²		Ordo Terpilih
		Ordo 0	Ordo 1	
Warna (ΔE)	30°C	0,6581	0,0956	0
	40°C	0,8484	0,3970	
	50°C	0,8444	0,9270	
Rata-rata		0,7836	0,4732	

Berdasarkan nilai R^2 dari masing-masing ordo, terlihat bahwa ordo 0 memiliki nilai R^2 yang lebih besar pada semua suhu dibandingkan dengan data ordo 1 yang memiliki nilai R^2 yang besar pada suhu 50°C saja. Pada kondisi ini penulis memilih ordo 0 sebagai ordo terpilih karena nilai R^2 pada ordo 0 memiliki nilai rata-rata R^2 yang lebih besar dibandingkan dengan rata-rata R^2 pada ordo 1. Hal ini sejalan dengan Syah (2012) bahwa pemilihan ordo reaksi berdasarkan nilai R^2 ordo yang lebih besar dengan membandingkan nilai rata-rata R^2 dari masing-masing ordo.

4.2.3.3 Perhitungan Umur Simpan Parameter Warna (ΔE)

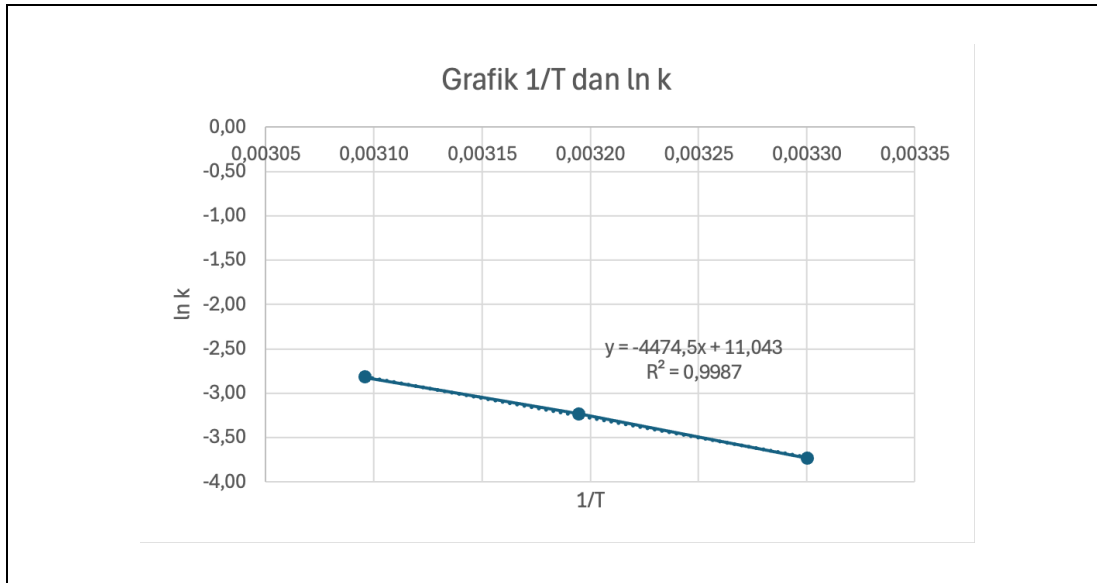
Setelah penentuan ordo reaksi terpilih, dilakukan perhitungan nilai konstanta laju penurunan mutu (k) dan nilai $\ln k$. Hasil perhitungan disajikan sebagai berikut.

Tabel 12. $1/T$ dan $\ln k$ Parameter Warna

Suhu (C)	Suhu (K)	(1/T) K	k	ln k
30	303	0,00330	0,0239	-3,76
40	313	0,00319	0,0394	-3,24
50	323	0,00310	0,0596	-2,83

Setelah diperoleh nilai $\ln k$, dilakukan plotting antara nilai $1/T$ (sebagai sumbu x) dan $\ln k$ (sebagai sumbu y). Plot tersebut menghasilkan persamaan *Arrhenius* yang

digunakan untuk menentukan nilai energi aktivasi. Grafik antara $1/T$ dan $\ln k$ pada parameter warna dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 14. Grafik Hubungan $1/T$ dan $\ln k$ Parameter Warna

Persamaan yang didapatkan dari plot antara $1/T$ (sumbu x) dan $\ln k$ (sumbu y) kemudian dihitung untuk mendapatkan nilai energi aktivasi dan nilai k_0 untuk menentukan perhitungan umur simpan. Lalu diperoleh nilai energi aktivasi, k_0 , nilai k maupun umur simpan dari produk laksa berdasarkan parameter warna yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 13. Konstanta Penurunan Mutu Parameter Warna dan Umur Simpan Laksa

Suhu (°C)	Ea (kal/mol)	k_0	Konstanta Penurunan Mutu (k)/hari	Umur Simpan (Hari)
30	8.885,364	$6,25 \times 10^4$	0,02416919	206
40			0,03873818	129
50			0,06030181	82

Berdasarkan data pada Tabel 11, nilai energi aktivasi pada parameter warna sebesar 8885,364 kal/mol yang lebih kecil dibandingkan dengan energi aktivasi pada parameter pH. Nilai energi aktivasi yang lebih rendah menunjukkan bahwa perubahan warna lebih mudah terjadi selama penyimpanan dibandingkan dengan perubahan pH. Kemudian dapat dilihat bahwa konstanta penurunan mutu (k) semakin besar seiring dengan meningkatnya suhu penyimpanan, yang menandakan bahwa semakin tinggi suhu penyimpanan maka semakin cepat laju reaksi yang terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa suhu penyimpanan memberikan pengaruh terhadap kecepatan penurunan mutu produk berdasarkan parameter warna. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan umur simpan berdasarkan parameter warna (ΔE) pada suhu 30°C selama 206 hari, pada suhu 40°C selama 129 hari, dan pada suhu 50°C selama 82 hari.

4.3 Penentuan Umur Simpan

Berdasarkan Syah (2012) kriteria yang dapat digunakan untuk menentukan umur simpan suatu produk menurut yaitu: (1) Parameter mutu yang paling cepat mengalami penurunan selama penyimpanan yang ditunjukkan dengan nilai koefisien k mutlak atau nilai koefisien determinasi lebih besar, (2) parameter mutu yang paling sensitive terhadap perubahan suhu yang dilihat dari nilai kemiringan (*slope*) persamaan *Arrhenius* atau energi aktivasi yang paling rendah, (3) bila terdapat lebih dari satu parameter mutu yang memenuhi kriteria, maka dipilih parameter mutu yang memiliki umur simpan yang lebih pendek. Kriteria tersebut digunakan untuk menentukan

parameter kritis yang paling representatif dalam menggambarkan penurunan mutu produk selama penyimpanan.

Berdasarkan kriteria disebutkan oleh Syah (2012) diatas bahwa parameter yang paling cocok untuk digunakan sebagai hasil dari umur simpan produk laksa adalah parameter warna (ΔE). Parameter warna memiliki nilai energi aktivasi yang lebih kecil yaitu 8.885,364 kal/mol dan juga paling cepat mengalami penurunan mutu (k) dibandingkan dengan parameter pH. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan warna merupakan indikator mutu yang paling peka terhadap kondisi penyimpanan pada produk Laksa Bogor kaleng. Maka dari itu, umur simpan produk laksa kaleng dapat diidentifikasi berdasarkan parameter warna (ΔE) yaitu selama 206 hari pada suhu 30°C, 129 hari pada suhu 40°C dan 82 hari pada suhu 50°C.

V. KESIMPULAN

Bab ini akan menguraikan terkait: (1) Kesimpulan dan (2) Saran.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pendugaan umur simpan produk Laksa Bogor kaleng dengan metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) model *Arrhenius* didapatkan bahwa produk Laksa Bogor kaleng mengalami perubahan mutu selama penyimpanan pada suhu 30°C, 40°C, dan 50°C, yang ditunjukkan oleh penurunan nilai pH secara konsisten dan peningkatan nilai warna (ΔE). Berdasarkan hasil tersebut, umur simpan produk Laksa Bogor kaleng adalah 206 hari pada suhu 30°C, 129 hari pada suhu 40°C, dan 82 hari pada suhu 50°C berdasarkan parameter warna (ΔE).

5.2 Saran

1. Dilakukan perhitungan F0 untuk mengetahui kondisi sterilisasi yang baik untuk produk laksa kaleng.
2. Melakukan pengujian titik kritis dengan panelis untuk mengetahui batas kritis penurunan mutu berdasarkan penerimaan konsumen.
3. Pengujian *Thiobarbituric Acid* (TBA) dilakukan dengan instrument *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) untuk meningkatkan keakuratan pembacaan senyawa malonaldehid (MDA).
4. Dilakukan pengujian *Total Plate Count* (TPC) pada hari ke-0 dan hari ke-28 untuk mengetahui keberhasilan dari sterilisasi yang dilakukan.
5. Rekomendasi penyimpanan produk Laksa Kaleng yaitu pada suhu 30°C.

DAFTAR PUSTAKA

- Abeyrathne, E., Nam, K., Ahn, D. (2021): Analytical Methods for Lipid Oxidation and Antioxidant Capacity in Food Systems. *Antioxidants*, 10 (1587), 2-19.
- Andarwulan N., Kusnandar, F., Herawati, D. (2011): *Analisis Pangan*. Dian Rakyat, Jakarta.
- Aprilio, K. (2024): Pendugaan Umur Simoan Tumis Ikan Tuna Kaleng di UMKM XYZ dengan Metode ASLT Model Arrhenius. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Arbi, B., Ma'ruf, W., Romadhon. (2016): Aktivitas Senyawa Bioaktif Selada Laut (*Ulva Lactuca*) Sebagai Antioksidan Pada Minyak Ikan. *Saintek Perikanan*, 12 (1), 12-18.
- Bahanawan, A., & Sugiyanto, K. (2020): Pengaruh Pengeringan Terhadap Perubahan Warna, Penyusunan Tebal, dan Pengurangan Berat Empat Jenis Bambu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 38(2), 69–80. <https://doi.org/10.20886/jphh.2020.38.2.69-80>
- BPOM. (2018): Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 31 Tahun 2018 tentang *Label Pangan Olahan*
- BPOM. (2021): Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 27 Tahun 2021 tentang *Persyaratan Pangan Olahan Berasam Rendah Dikemas Hermetis*.
- BPOM. (2025): Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 6 Tahun 2025 tentang *Pedoman Uji Stabilitas Suplemen Kesehatan*.
- Bubelová, Z., Cerníková, M., Bunková, L., Talár, J., Zajíček, V., Foltin, P., & Bunka, F. (2017): Quality changes of long-life foods during three-month storage at different temperatures. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 11(1), 43–51. <https://doi.org/10.5219/688>
- Cahyono, M., & Yuwono, S. (2015): Proporsi Santan dan Lama Pemanasan Terhadap Sifat Fisiko Kimia dan Organoleptik Bumbu Gado-Gado Instan. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 3 (3). 1095-106.
- Codex A.C. (2003): *Coconut Milk and Coconut Cream* (CODEX STAN 240-2003). Codex Alimentarius Commission, FAO/WHO, Rome.
- Dasopang, S. B., Ardilla, D., & Hussin, A. B. (2025): Karakteristik Minuman Santan Pada Perlakuan Kecepatan dan Lama Waktu Homogenisasi yang Berbeda. *J. Sains Dan Teknologi Pangan*, 10(2), 8387–8396.
- Díaz, P., Linares, M. B., Egea, M., Auqui, S. M., & Garrido, M. D. (2014): TBARs distillation method: Revision to minimize the interference from yellow pigments in meat products. *Meat Science*, 98(4), 569–573. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.012>

- Echavarría, A. P., Pagán, J., & Ibarz, A. (2012): Melanoidins Formed by Maillard Reaction in Food and Their Biological Activity. *Food Engineering Reviews* 4(4), 203–223. <https://doi.org/10.1007/s12393-012-9057-9>
- Estiasih, T., Heppy, F., & Ahmadi, K. (2015): Pendugaan Umur Simpan Tape Ketan Hitam Mojokerto. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 3.
- Faza, F., Wahyu, Y., Ariadi, P. (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.
- Gong, P., Guo, J., Sun, W., Liu, P., Guo, L., Peng, Z., Zhang, A., Wang, S., Huang, X., Li, Z., Zhang, Y., Liu, Y. (2025): Comparative Assessment of Storage Conditions on Vacuum-Packaged Ready-to-Eat Corn: Temporal Changes in Physicochemical Parameters and Sensory Quality. *Journal of Food Science*, 9 (12).
- Hariono, B., Kurnianto M., Brilliantina, A. (2023): Pendugaan Umur Simpan Ikan dalam Kaleng Metode Arrhenius. *The First National Conference On Innovative Agriculture 2023* (44-51), Politeknik Negeri Jember, Jember
- Hu, Y., Zeng, X., Jiang, K., Luo, Y., Quan, Z., Li, J., Ma., Guo, X., Zhou, D., Zhu B. (2024): Effect of Non-enzymatic Browning on Oysters During Hot Air Drying Process: Color and Chemical Changes and Insight Into Mechanisms. *Food Chemistry*, 454 (3).
- Hariyadi, P. (2019): *Masa Simpan dan Batas Kedaluarsa Produk Pangan*. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hayati, R. (2010): Profil Asam Lemak dan Triasilgliserol Berantai Sedang (MCFA) Kelapa Segar dan Santan (*Cocos nucifera* L.). *Agrista*, 14 (3). 82-86.
- Ketaren. (1986): *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. UI Press: Jakarta
- Kurniadi, M., Kusumaningrum, A., Nurhikmat, A., Susanto, A. (2019): Thermal Process of Fried Rice In Retort Pouch Packaging And Its Shelf Life Prediction. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 13 (1), 9-21.
- Kusnandar, F., Dafi, H., Rahayu, W., Irmawan, D. (2023): Evaluasi Kecukupan Panas dan Pengembangan Proses Alternatif dalam Sterilisasi Komersial Jamur Kancing dalam Kaleng. *Jurnal Mutu Pangan*, 10 (2), 100-107.
- Laila, U., Indiani, 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.
- Liputo, A., Une, S., Mutsyahidan, A., Lodi, S., Ibrahim, N., Tunai, K., Malabali, A., Sari, N. (2024): Pengaruh Suhu Penyimpanan Terhadap Minyak Kelapa Tradisional. *Prosiding Seminar Nasional Mini Riset Mahasiswa*, 3(1), 72-78.

- Mahmud, M., Mia, N., Nabi, M., Arnab, A., Zzaman, W. (2026): Mechanistic Insights Into Color and Texture Stability of Frozen Tropical Vegetables: Processing, Modelling and Preservation Strategies. *Food Science & Nutrition*, 14 (6).
- Mardiyana, Handayani, M., Ulikaryani. (2024): Karakteristik Sensori Produk Home Meal Replacement (HMR)-Ready to Eat (RTE) Ikan Kembung Asap (Rastrelliger kanagurta). *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan Papua*, 7 (2), 42-47.
- 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(4), 1038–1045. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.052>
- Mokrzycki WS, & Tatol M. (2012): Colour difference ΔE -A survey. *Machine, Graphic & Vision*, 20 (4), 383-411
- Natalina, E., Rahayu, P., Sulistyowati & Limantara, L. (2009): Fotoproteksi Kurkumin terhadap β -Karoten Fotoproteksi Kurkumin terhadap β -Karoten pada Berbagai Nisbah Molar serta Aktivitas Antioksidannya. *Jurnal Natur Indonesia*, 12 (1), 1-8.
- Nugraha, A. (2022): Hidrolisis Protein Kacang Kedelai dengan Enzim Bromelain dan Aktivitas Antikanker terhadap Sel Kanker Payudara MCF-7. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Jakarta
- Nurhayati, R., Rahayu, E., Susanto, A., Khasanah, Y. (2016): Shelf Life Prediction for Canned Gudeg using Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) Based on Arrhenius Method. *International Conference On Food Science and Engineering 2016*, 1-5.
- Nurhikmat, A., Suratmo, B., Bintoro, N., & Sentana, S. (2015): The Quality Changes on Canned Gudeg “Bu Tjitro” during Storage. *AGRITECH*, 35(3).
- Nurhikmat, A., Suratmo, B., Bintoro, N., Suharwadi. (2016): Pengaruh Suhu dan Waktu Sterilisasi terhadap Nilai F dan Kondisi Fisik Kaleng Kemasan pada Pengalengan Gudeg. *Agritech*. 36 (1), 71-78.
- Palupi, N., Kusnandar, F., Adawiyah, D., Syah, D. (2010): Penentuan Umur Simpan dan Pengembangan Model Diseminasi Dalam Rangka Percepatan Adopsi Teknologi Mi Jagung bagi UKM. *Manajemen IKM*, 5 (1), 42-52.
- Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A. J. (2013): Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36–60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
- Pegg, R. (2001): *Current Protocol in Food Analytical Chemistry*. John Wiley & Sons, New Jersey
- Peraturan Daerah Kabupaten Bogor Nomor 2 Tahun 2024 tentang *Pembentukan Produk Hukum*.

- Pokorny, J., Valentova, H., & Davidex, J. (1985): Modified Determination of 2-Thiobarbituric Acid Value in Fats and Oils. *Die Nahrung*, 29 (1), 31-38.
- Putra, T. (2025): Metode Accelerated Shelf Life Testing dengan Model Arrhenius Untuk Memprediksi Umur Simpan Mangut Manyung Asap dalam Kemasan Retort Pouch. *Skripsi*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Putri, R. (2025): Penguraian Rumput Laut Ulva Lactuca Untuk Mengukur Kadar Asam Amino dan Mengetahui Rendemen Polisakarida Menggunakan Kapang Laut EN. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, 4 (1), 56-66.
- Rasulu, H., Husen, J., Bahri, S., Wulansari, A., Albaar, N., Fatmawati, M., Mustafa, I. M., Nurhikmat, A., Santi, A., Kiay, N., Mansour, N. (2024): The Effect of Sterilization Time on the Chemical, Microbiological, and Heavy Metal Characteristics of Canned Paniki Chicken. *Indonesian Food Science and Technology Journal*, 8 (1), 78-88.
- Rorong, J., Aritonang, H., Ranti, F. (2008): Sintesis Metil Ester Asam Lemak dari Minyak Kelapa Hasil Pemanasan. *Chem Prog*, 1 (1), 9-18.
- Rusli, M., Nuryanti, A., Fitria, R., Budiani, A., Fiprina., N. (2022): Pendugaan Umur Simpan Produk Minuman Ginger Latte Menggunakan Model Arrhenius. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 32 (2), 188-196.
- Sahambangung, M. J., Lengkey, L. C., & Rumambi, D. (2016): Penentuan Umur Simpan Sirup Pala Berdasarkan Perubahan Derajat Keasaman pH. Vol 7 (3).
- Sari, H. (2017): Analisis Keautentikan dan Keunikan Laksa Cihideung sebagai Kuliner Unggulan Kota Bogor. *Jurnal Ilmiah Ilmu Administrasi*, 9 (2), 255-269.
- SNI No. 01-2891-1992. *Cara Uji Makanan dan Minuman*. Pusat Standarisasi Industri. Departemen Perindustrian, Jakarta.
- Syarief, R & Halid, H. (1993): *Teknologi Penyimpanan Pangan*. Arcan: Bandung.
- Syah, D. (2012): *Pengantar Teknologi Pangan*. IPB Press, Bogor.
- Winarno, F. G. (2004): *Kimia Pangan dan Gizi*. Jakarta, Gramedia.
- Yalegama, L. L. W. C., Ambigaipalan, P., & Arampath, P. C. (2009): Physico-chemical and shelf life evaluation of pasteurized coconut milk. *Indian Coconut Journal*, 52 (6), 342-349.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Prosedur Analisis Penentuan Thiobarbituric acid (TBA) berdasarkan AOCS method Cd. 19-90 (Andarwulan et al., 2011)

Sebanyak 50-200 mg sampel dimasukkan dalam labu takar 25 ml. Kemudian ditambahkan dengan 1-butanol sampai tanda batas dan dikocok. Sebanyak 5 ml larutan dimasukkan ke dalam tabung reaksi, kemudian ditambah dengan 5 ml pereaksi TBA dan dikocok.

Tabung dipanaskan selama 2 jam pada suhu 95°C. Setelah didinginkan dengan air mengalir, sampel diukur absorbansinya pada panjang gelombang 528 nm. Untuk blanko dilakukan hal yang sama.

Perhitungan:

Bilangan TBA dihitung dengan rumus:

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

Keterangan: C = Konsentrasi malonaldehid (μ mol/g)

B = Absorbansi sampel dikurangi dengan absorbansi blanko

W = Berat sampel (g)

Konversi: μ mol/g = 72,07 mg MDA/kg sampel

Lampiran 2. Prosedur Analisis Penentuan pH berdasarkan SNI 01-2891-1992

Kalibrasi pH meter dengan larutan *buffer* pH, akukan setiap saat akan melakukan pengukuran. Siapkan pH meter dan sampel, kemudian celupkan elektroda yang telah dibersihkan ke dalam air suling ke dalam sampel yang akan diperiksa. Catat dan baca harga pH pada skala pH meter yang ditunjukkan jarum.

Lampiran 3. Prosedur Analisis Warna berdasarkan Bahanawan & Sugiyanto, (2020)

Analisis warna menggunakan metode CIE-Lab yang dikembangkan oleh *The Commision International de l'Eclairage* (CIE) yang diantaranya terdapat L yang menandakan kecerahan, a* menandakan warna merah-hijau, dan b* warna kuning-biru. Analisis menggunakan alat *colorimeter* dengan sampel yang sudah dihomogenkan diletakan pada alas putih yang ada bersama dengan alat, tekan tombol pengukuran dan tunggu hingga nilai L, a*, dan b* tampil dilayar kemudian dicatat. Perhitungan nilai ΔE diperoleh dari rumus:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

Keterangan: ΔE = Perubahan Warna (*Color change*)

ΔL^* = Perubahan Kecerahan (*Lightness*)

Δa^* = Perubahan merah-hijau (*Red-greenness*)

Δb^* = Perubahan kuning-biru (*Yellow-blueness*)

Lampiran 4. Lampiran Kebutuhan Bahan Baku

No.	Nama Bahan	Harga (Rp)	Jumlah	Total (Rp)
1.	Laksa	10.000	30	300.000

Lampiran 5. Lampiran Kebutuhan Bahan Analisis

Kegiatan	Kebutuhan Bahan	Jumlah	Total Biaya Kaleng (Rp)
Penelitian Pendahuluan			
Analisis TBA	Laksa Kaleng Sterilisasi di simpan pada suhu 50°C	15 kaleng	90.000
Analisis pH			
Analisis Warna			
Penelitian Utama			
Analisis TBA	Laksa Kaleng - Penyimpanan suhu 30°C. - Penyimpanan suhu 40°C. - Penyimpanan suhu 50°C.	5 kaleng	90.000
Analisis pH		5 kaleng	
Analisis warna		5 kaleng	
Total		30 kaleng	180.000

Lampiran 6. Lampiran Biaya Analisis Penelitian

Analisis	Biaya/Sampel (Rp)	Ulangan	Jumlah Sampel	Biaya (Rp)
Analisis TBA	25.000	2	19	950.000
Analisis pH	10.000	2	13	260.000
Analisis Warna	15.000	2	13	390.000
Reagen TBA		-	-	137.200
Sewa Laboratorium		-	-	250.000
Total				1.987.200

Lampiran 7. Hasil Perhitungan Titik Kritis Analisis TBA

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

Konversi: $\mu \text{ mol/g} = 72,07 \text{ mg MDA/kg sampel}$

Hari	Ulangan I	Ulangan II	Rata-Rata	Standar Deviasi
0	$C = \frac{0,355 \times 0,103}{0,05} \times 72,07$ $C = 52,70 \text{ mg MDA/kg sampel}$	$C = \frac{0,355 \times 0,095}{0,05} \times 72,07$ $C = 48,61 \text{ mg MDA/kg sampel}$	50,66	2,89
3	$C = \frac{0,355 \times 0,088}{0,05} \times 72,07$ $C = 45,03 \text{ mg MDA/kg sampel}$	$C = \frac{0,355 \times 0,082}{0,05} \times 72,07$ $C = 41,96 \text{ mg MDA/kg sampel}$	43,49	2,17
6	$C = \frac{0,355 \times 0,093}{0,05} \times 72,07$ $C = 47,59 \text{ mg MDA/kg sampel}$	$C = \frac{0,355 \times 0,097}{0,05} \times 72,07$ $C = 49,63 \text{ mg MDA/kg sampel}$	48,61	1,45
9	$C = \frac{0,355 \times 0,059}{0,05} \times 72,07$ $C = 30,19 \text{ mg MDA/kg sampel}$	$C = \frac{0,355 \times 0,053}{0,05} \times 72,07$ $C = 27,12 \text{ mg MDA/kg sampel}$	28,66	2,17
12	$C = \frac{0,355 \times 0,080}{0,05} \times 72,07$ $C = 40,94 \text{ mg MDA/kg sampel}$	$C = \frac{0,355 \times 0,090}{0,05} \times 72,07$ $C = 46,05 \text{ mg MDA/kg sampel}$	43,49	3,62
15	$C = \frac{0,355 \times 0,063}{0,05} \times 72,07$ $C = 32,24 \text{ mg MDA/kg sampel}$	$C = \frac{0,355 \times 0,059}{0,05} \times 72,07$ $C = 30,19 \text{ mg MDA/kg sampel}$	31,21	1,45
18	$C = \frac{0,355 \times 0,114}{0,05} \times 72,07$ $C = 58,33 \text{ mg MDA/kg sampel}$	$C = \frac{0,355 \times 0,120}{0,05} \times 72,07$ $C = 61,40 \text{ mg MDA/kg sampel}$	59,87	2,17

Lampiran 8. Hasil Perhitungan Analisis TBA

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

Konversi: $\mu \text{ mol/g} = 72,07 \text{ mg MDA/kg sampel}$

Suhu 30°C

Hari	Ulangan I	Ulangan II	Rata-rata	Standar Deviasi
7	$C = \frac{0,355 \times 0,080}{0,05} \times 72,07$ $C = 40,94 \text{ mg MDA/kg sampel}$	$C = \frac{0,355 \times 0,074}{0,05} \times 72,07$ $C = 37,87 \text{ mg MDA/kg sampel}$	39,40	2,17
14	$C = \frac{0,355 \times 0,091}{0,05} \times 72,07$ $C = 46,56 \text{ mg MDA/kg sampel}$	$C = \frac{0,355 \times 0,097}{0,05} \times 72,07$ $C = 49,63 \text{ mg MDA/kg sampel}$	48,10	2,17
21	$C = \frac{0,355 \times 0,096}{0,05} \times 72,07$ $C = 49,12 \text{ mg MDA/kg sampel}$	$C = \frac{0,355 \times 0,082}{0,05} \times 72,07$ $C = 41,96 \text{ mg MDA/kg sampel}$	45,54	5,07
28	$C = \frac{0,355 \times 0,094}{0,05} \times 72,07$ $C = 48,10 \text{ mg MDA/kg sampel}$	$C = \frac{0,355 \times 0,104}{0,05} \times 72,07$ $C = 53,22 \text{ mg MDA/kg sampel}$	50,66	3,62

Suhu 40°C

Hari	Ulangan I	Ulangan II	Rata-rata	Standar Deviasi
7	$C = \frac{0,355 \times 0,078}{0,05} \times 72,07$ $C = 39,91 \text{ mg MDA/kg sampel}$	$C = \frac{0,355 \times 0,054}{0,05} \times 72,07$ $C = 27,63 \text{ mg MDA/kg sampel}$	33,77	8,68

14	$C = \frac{0,355 \times 0,079}{0,05} \times 72,07$ C = 40,42 mg MDA/kg sampel	$C = \frac{0,355 \times 0,083}{0,05} \times 72,07$ C = 42,47 mg MDA/kg sampel	41,45	1,45
21	$C = \frac{0,355 \times 0,089}{0,05} \times 72,07$ C = 45,54 mg MDA/kg sampel	$C = \frac{0,355 \times 0,099}{0,05} \times 72,07$ C = 50,66 mg MDA/kg sampel	48,10	3,62
28	$C = \frac{0,355 \times 0,100}{0,05} \times 72,07$ C = 51,17 mg MDA/kg sampel	$C = \frac{0,355 \times 0,116}{0,05} \times 72,07$ C = 59,36 mg MDA/kg sampel	55,26	5,79

Suhu 50°C

Hari	Ulangan I	Ulangan II	Rata-rata	Standar Deviasi
7	$C = \frac{0,355 \times 0,077}{0,05} \times 72,07$ C = 39,40 mg MDA/kg sampel	$C = \frac{0,355 \times 0,087}{0,05} \times 72,07$ C = 44,52 mg MDA/kg sampel	41,96	3,62
14	$C = \frac{0,355 \times 0,075}{0,05} \times 72,07$ C = 38,38 mg MDA/kg sampel	$C = \frac{0,355 \times 0,071}{0,05} \times 72,07$ C = 36,33 mg MDA/kg sampel	37,35	1,45
21	$C = \frac{0,355 \times 0,111}{0,05} \times 72,07$ C = 56,80 mg MDA/kg sampel	$C = \frac{0,355 \times 0,099}{0,05} \times 72,07$ C = 50,66 mg MDA/kg sampel	53,73	4,34
28	$C = \frac{0,355 \times 0,129}{0,05} \times 72,07$ C = 66,01 mg MDA/kg sampel	$C = \frac{0,355 \times 0,105}{0,05} \times 72,07$ C = 53,73 mg MDA/kg sampel	59,87	8,68

Lampiran 9. Hasil Perhitungan Pendugaan Umur Simpan Parameter pH

Suhu 30°C

Hari	Ulangan I	Ulangan II	Standar Deviasi	Rata-rata
0	6,73	6,73	0,00	6,73
7	6,74	6,70	0,03	6,72
14	6,71	6,67	0,03	6,69
21	6,64	6,76	0,08	6,7
28	6,67	6,65	0,01	6,66

Suhu 40°C

Hari	Ulangan I	Ulangan II	Standar Deviasi	Rata-rata
7	6,66	6,70	0,03	6,68
14	6,63	6,60	0,02	6,62
21	6,57	6,57	0,00	6,57
28	6,62	6,56	0,04	6,59

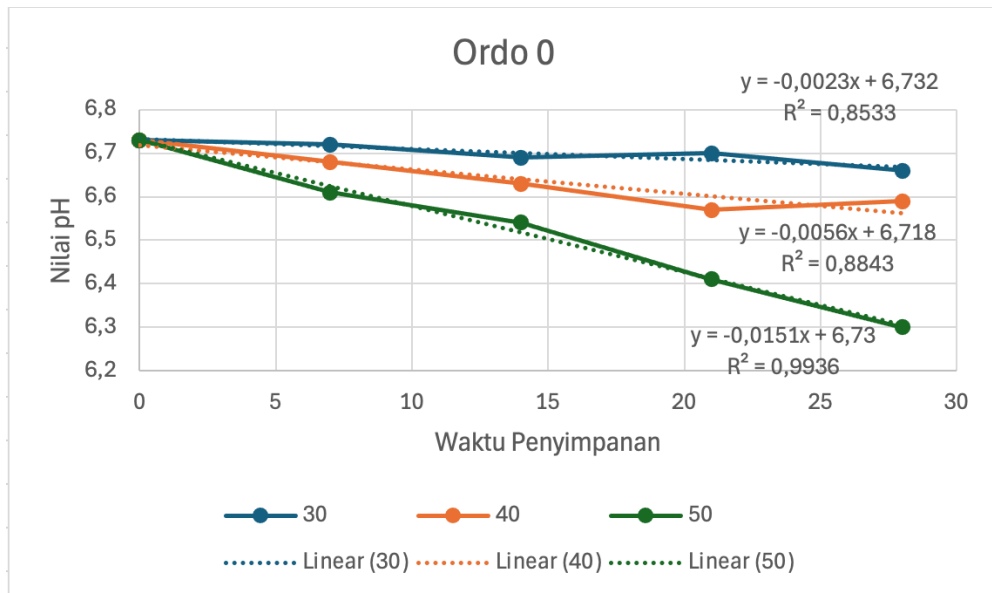
Suhu 50°C

Hari	Ulangan I	Ulangan II	Standar Deviasi	Rata-rata
7	6,61	6,60	0,01	6,61
14	6,56	6,52	0,03	6,54
21	6,43	6,39	0,03	6,41
28	6,29	6,31	0,01	6,3

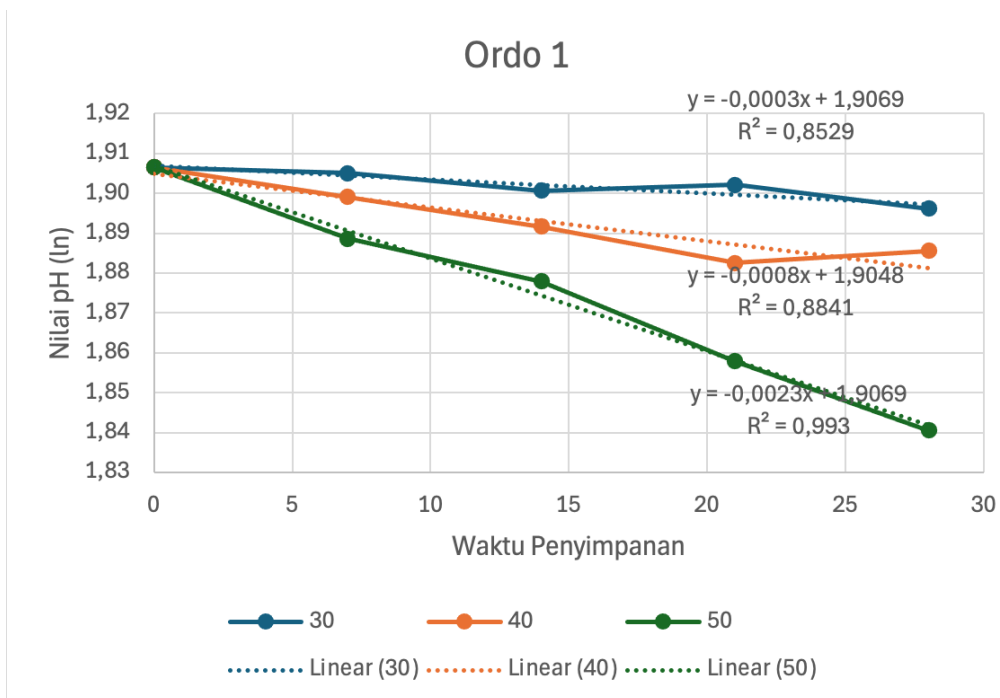
Data hasil pengujian parameter pH di atas (ordo 0) kemudian diubah dalam bentuk ln atau ordo 1 yang disajikan dalam tabel berikut:

Suhu Penyimpanan	Waktu Penyimpanan									
	Hari ke-0		Hari ke-7		Hari ke-14		Hari ke-21		Hari ke-28	
	pH	ln	pH	ln	pH	ln	pH	ln	pH	ln
30°C	6,73	1,91	6,72	1,91	6,69	1,90	6,7	1,90	6,66	1,90
40°C	6,73	1,91	6,68	1,90	6,63	1,89	6,57	1,88	6,59	1,89
50°C	6,73	1,91	6,61	1,89	6,54	1,88	6,41	1,86	6,3	1,84

Setelah didapatkan data ordo 0 dan ordo 1 (ln) kemudian di-plotkan pada regresi linier dengan sumbu x adalah waktu penyimpanan dan sumbu y adalah nilai pH (parameter mutu) yang kemudian didapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) berbagai suhu pada masing-masing ordo.



Grafik pH Laksa selama penyimpanan (ordo 0)



Grafik pH Laksa selama penyimpanan (ordo 1)

Dilakukan perbandingan koefisien determinasi (R^2) pada masing-masing ordo untuk menentukan ordo reaksi terpilih.

Parameter	Suhu (°C)	R ²		Ordo Terpilih
		Ordo 0	Ordo 1	
pH	30°C	0,8533	0,8529	0
	40°C	0,8843	0,8841	
	50°C	0,9936	0,9930	
Rata-rata		0,9104	0,9100	

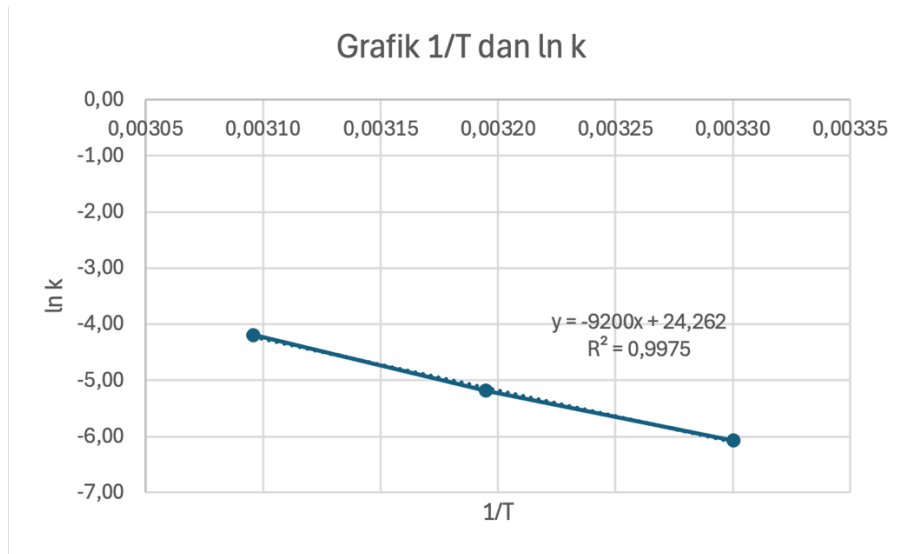
Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) yang lebih besar terdapat pada ordo 0 sehingga ordo reaksi terpilih adalah ordo 0.

Dari kurva diatas didapatkan persamaan regresi linear ordo 0 sebagai berikut:

Suhu	Persamaan	Koefisien Determinasi (R)	a	b
30°C	$y = -0,0023x + 6,732$	0,8533	6,732	-0,0023
40°C	$y = -0,0056x + 6,718$	0,8843	6,718	-0,0056
50°C	$y = -0,0151x + 6,73$	0,9936	6,73	-0,0151

Setelah diketahui ordo reaksi terpilih (ordo 0) kemudian didapatkan nilai k. Nilai k adalah nilai b ($k=b$) pada persamaan regresi linear ordo 0. Setelah itu dapat diketahui nilai energi aktivasi (E_a) dengan memplotkan $1/T$ sebagai sumbu x dan $\ln k$ sebagai sumbu y, sebagaimana berikut.

Suhu	Suhu (K)	(1/T) K	k	ln k
30°C	303	0,00330	0,0023	-6,07
40°C	313	0,00319	0,0056	-5,18
50°C	323	0,00310	0,0151	-4,19



Grafik hubungan antara 1/T dan ln k parameter pH

Didapatkan persamaan regresi antara 1/T dan ln k yang kemudian dapat dihitung untuk menentukan nilai Energi Aktivasi (E_a)

$$\begin{aligned}
 k &= k_0 \cdot e^{\left(-\frac{E_a}{RT}\right)} && \text{(Persamaan Arrhenius)} \\
 \ln k &= \ln k_0 - E_a/R \times \frac{1}{T} && \text{(Bentuk linier dari persamaan Arrhenius)} \\
 y &= a + bx && \text{(Persamaan regresi linier)} \\
 y &= 24,262 - 9200x && \text{(Persamaan regresi antara 1/T dan ln k)} \\
 \ln k &= 24,262 + 9200 \frac{1}{T} \\
 -E_a/R &= 9200 && ; R = 1,986 \text{ kal/mol} \\
 E_a &= 18271,2 \text{ kal/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \ln k_0 &= a \\
 \ln k_0 &= 24,262 \\
 k_0 &= 3,44233 \times 10^{10} \\
 k &= k_0 \cdot e^{\left(-\frac{E_a}{RT}\right)} \\
 k &= (3,44233 \times 10^{10}) \times e^{\left(-9200 \times \frac{1}{T}\right)} \\
 k_{30} &= 0,00224 \\
 k_{40} &= 0,00591 \\
 k_{50} &= 0,01468
 \end{aligned}$$

Pendugaan umur simpan laksa menggunakan rumus:

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

Pada suhu 30°C

$$t_{30} = (6,73-5,9)/0,00224 = 370 \text{ hari}$$

$$t_{40} = (6,73-5,9)/0,00591 = 140 \text{ hari}$$

$$t_{50} = (6,73-5,9)/0,01468 = 56 \text{ hari}$$

Lampiran 10. Hasil Perhitungan Analisis Warna

Suhu (°C)	Hari Ke-	Pengulangan	L*	a*	b*	Delta E (ΔE)	Standar Deviasi	Rata-rata
30	0	Ulangan 1	57,30	2,46	26,28	0,00	0,00	0,00
	0	Ulangan 2	57,37	2,45	26,33	0,00		
	7	Ulangan 1	57,65	2,61	25,82	0,60	0,11	0,68
	7	Ulangan 2	57,48	2,73	25,63	0,76		
	14	Ulangan 1	57,82	2,66	25,72	0,79	0,23	0,63
	14	Ulangan 2	57,73	2,52	26,03	0,47		
	21	Ulangan 1	57,99	2,56	26,03	0,74	0,02	0,73
	21	Ulangan 2	57,80	2,70	25,82	0,71		
	28	Ulangan 1	57,81	2,74	25,65	0,86	0,07	0,81
	28	Ulangan 2	58,00	2,58	25,92	0,76		
40	0	Ulangan 1	57,30	2,46	26,28	0,00	0,00	0,00
	0	Ulangan 2	57,37	2,45	26,33	0,00		
	7	Ulangan 1	57,85	2,34	25,94	0,66	0,08	0,72
	7	Ulangan 2	58,10	2,22	26,23	0,77		
	14	Ulangan 1	58,27	2,35	26,13	0,99	0,10	0,92
	14	Ulangan 2	58,12	2,45	25,94	0,85		
	21	Ulangan 1	58,18	2,67	25,82	1,01	0,09	1,08
	21	Ulangan 2	58,47	2,49	26,03	1,14		
	28	Ulangan 1	58,49	2,70	25,94	1,26	0,08	1,20

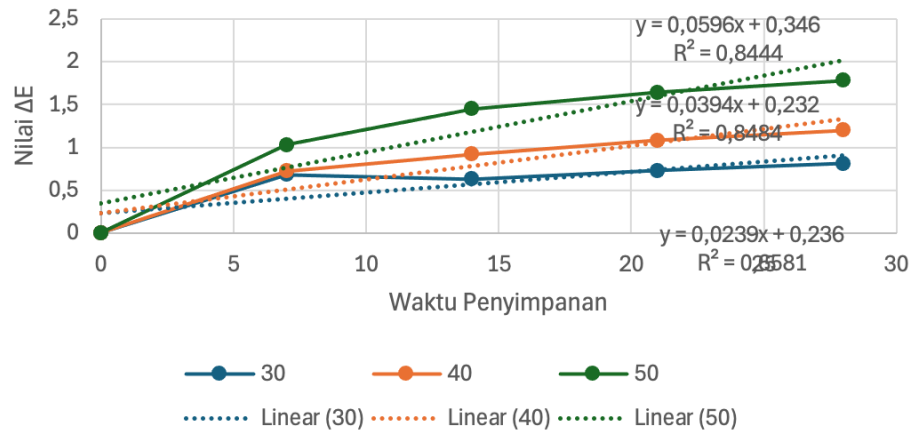
	28	Ulangan 2	58,28	2,86	25,77	1,14		
50	0	Ulangan 1	57,30	2,46	26,28	0,00	0,00	0,00
	0	Ulangan 2	57,37	2,45	26,33	0,00		
	7	Ulangan 1	58,44	2,47	26,42	1,15	0,17	1,03
	7	Ulangan 2	58,27	2,57	26,23	0,91		
	14	Ulangan 1	58,58	2,70	26,05	1,32	0,18	1,45
	14	Ulangan 2	58,95	2,52	26,34	1,58		
	21	Ulangan 1	59,11	2,20	26,36	1,83	0,28	1,64
	21	Ulangan 2	58,80	2,34	26,17	1,44		
	28	Ulangan 1	58,88	2,31	25,81	1,66	0,16	1,78
	28	Ulangan 2	59,23	2,17	26,10	1,89		

Data hasil pengujian parameter warna di atas (ordo 0) kemudian diubah dalam bentuk $\ln$ atau ordo 1 yang disajikan dalam tabel berikut:

Suhu Penyimpanan	Waktu Penyimpanan									
	Hari ke-0		Hari ke-7		Hari ke-14		Hari ke-21		Hari ke-28	
	ΔE	$\ln$	ΔE	$\ln$	ΔE	$\ln$	ΔE	$\ln$	ΔE	$\ln$
30°C	0	0	0,68	0,39	0,63	-0,46	0,73	-0,31	0,81	-0,21
40°C	0	0	0,72	-0,33	0,92	-0,08	1,08	0,08	1,2	0,18
50°C	0	0	1,03	0,03	1,45	0,37	1,64	0,49	1,78	0,58

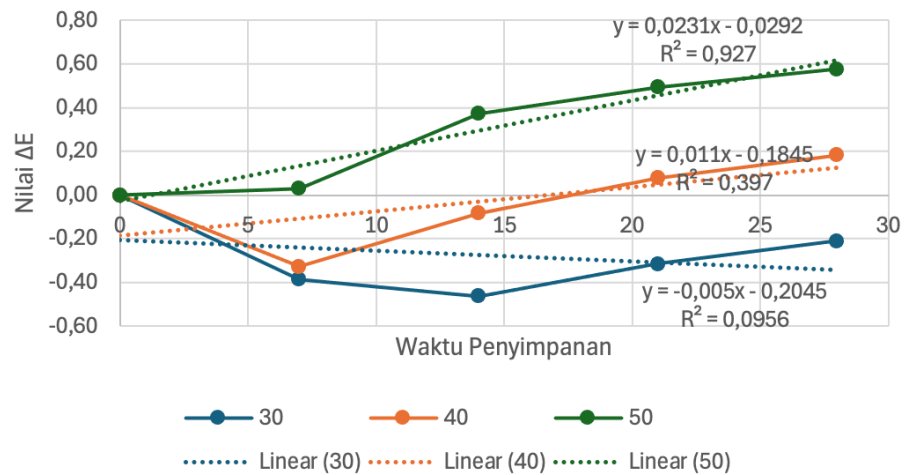
Setelah didapatkan data ordo 0 dan ordo 1 ($\ln$) kemudian di-plotkan pada regresi linier dengan sumbu x adalah waktu penyimpanan dan sumbu y adalah nilai warna (ΔE) (parameter mutu) yang kemudian didapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) berbagai suhu pada masing-masing ordo.

Ordo 0



Grafik Warna Laksa selama penyimpanan (ordo 0)

Ordo 1



Grafik Warna Laksa selama penyimpanan (ordo 1)

Dilakukan perbandingan koefisien determinasi (R^2) pada masing-masing ordo untuk menentukan ordo reaksi terpilih.

Parameter	Suhu (°C)	R^2		Ordo Terpilih
		Ordo 0	Ordo 1	
	30°C	0,6581	0,0956	

Warna (ΔE)	40°C	0,8484	0,3970	0
	50°C	0,8444	0,9270	
Rata-rata		0,7836	0,4732	

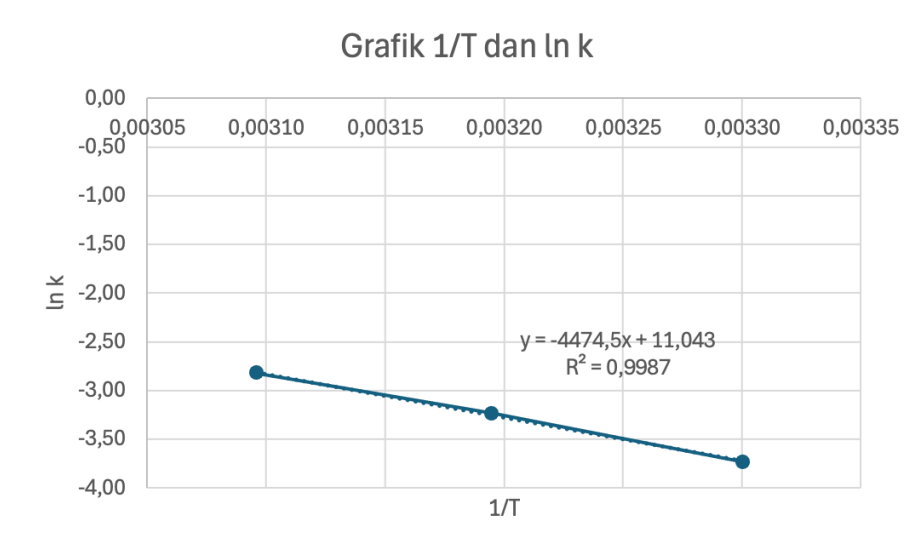
Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) yang lebih besar terdapat pada ordo 0 sehingga ordo reaksi terpilih adalah ordo 0.

Dari kurva diatas didapatkan persamaan regresi linear ordo 0 sebagai berikut:

Suhu	Persamaan	Koefisien Determinasi (R)	a	b
30°C	$y = 0,0239x + 0,236$	0,6581	0,236	0,0239
40°C	$y = 0,0394x + 0,232$	0,8484	0,236	0,0394
50°C	$y = 0,0596x + 0,346$	0,8444	0,346	0,0596

Setelah diketahui ordo reaksi terpilih (ordo 0) kemudian didapatkan nilai k. Nilai k adalah nilai b ($k=b$) pada persamaan regresi linear ordo 0. Setelah itu dapat diketahui nilai energi aktivasi (E_a) dengan memplotkan $1/T$ sebagai sumbu x dan $\ln k$ sebagai sumbu y, sebagaimana berikut.

Suhu	Suhu (K)	(1/T) K	k	$\ln k$
30°C	303	0,00330	0,0239	-3,73
40°C	313	0,00319	0,0394	-3,23
50°C	323	0,00310	0,0596	-2,82



Grafik hubungan antara 1/T dan ln k parameter Warna

Didapatkan persamaan regresi antara 1/T dan ln k yang kemudian dapat dihitung untuk menentukan nilai Energi Aktivasi (E_a)

$$\begin{aligned}
 k &= k_0 \cdot e^{\left(-\frac{E_a}{RT}\right)} && \text{(Persamaan Arrhenius)} \\
 \ln k &= \ln k_0 - E_a/R \times \frac{1}{T} && \text{(Bentuk linier dari persamaan Arrhenius)} \\
 y &= a + bx && \text{(Persamaan regresi linier)} \\
 y &= 11,043 - 4474x && \text{(Persamaan regresi antara 1/T dan ln k)} \\
 \ln k &= 11,043 + 4474 \frac{1}{T} \\
 -E_a/R &= 4474 && ; R = 1,986 \text{ kal/mol} \\
 E_a &= 8885,364 \text{ kal/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \ln k_0 &= a \\
 \ln k_0 &= 11,043 \\
 k_0 &= 62504,88546
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k &= k_0 \cdot e^{\left(-\frac{E_a}{RT}\right)} \\
 k &= (62504,88546) \times e^{\left(-4474 \times \frac{1}{T}\right)} \\
 k_{30} &= 0,02416919 \\
 k_{40} &= 0,03873818 \\
 k_{50} &= 0,06030181
 \end{aligned}$$

Pendugaan umur simpan laksa menggunakan rumus:

$$t = (At-A0)/k$$

Pada suhu 30°C

$$t_{30} = (5-0)/0,00224 = 206 \text{ hari}$$

$$t_{40} = (5-0)/0,00591 = 129 \text{ hari}$$

$$t_{50} = (5-0)/0,01468 = 82 \text{ hari}$$

Lampiran 11. Perhitungan Standar Deviasi

Rumus Standar Deviasi:

$$\text{Standar Deviasi} = \frac{\sqrt{(X_i - \bar{x})^2}}{(n-1)}$$

Langkah 1: Hitung Selisih Terhadap Rata-rata

$$X_1 - \bar{x} = 48,61 - 50,66 = -2,05$$

$$X_2 - \bar{x} = 52,70 - 50,66 = 2,04$$

Langkah 2: Kuadratkan selisih

$$(-2,05)^2 = 4,2025$$

$$(2,04)^2 = 4,1616$$

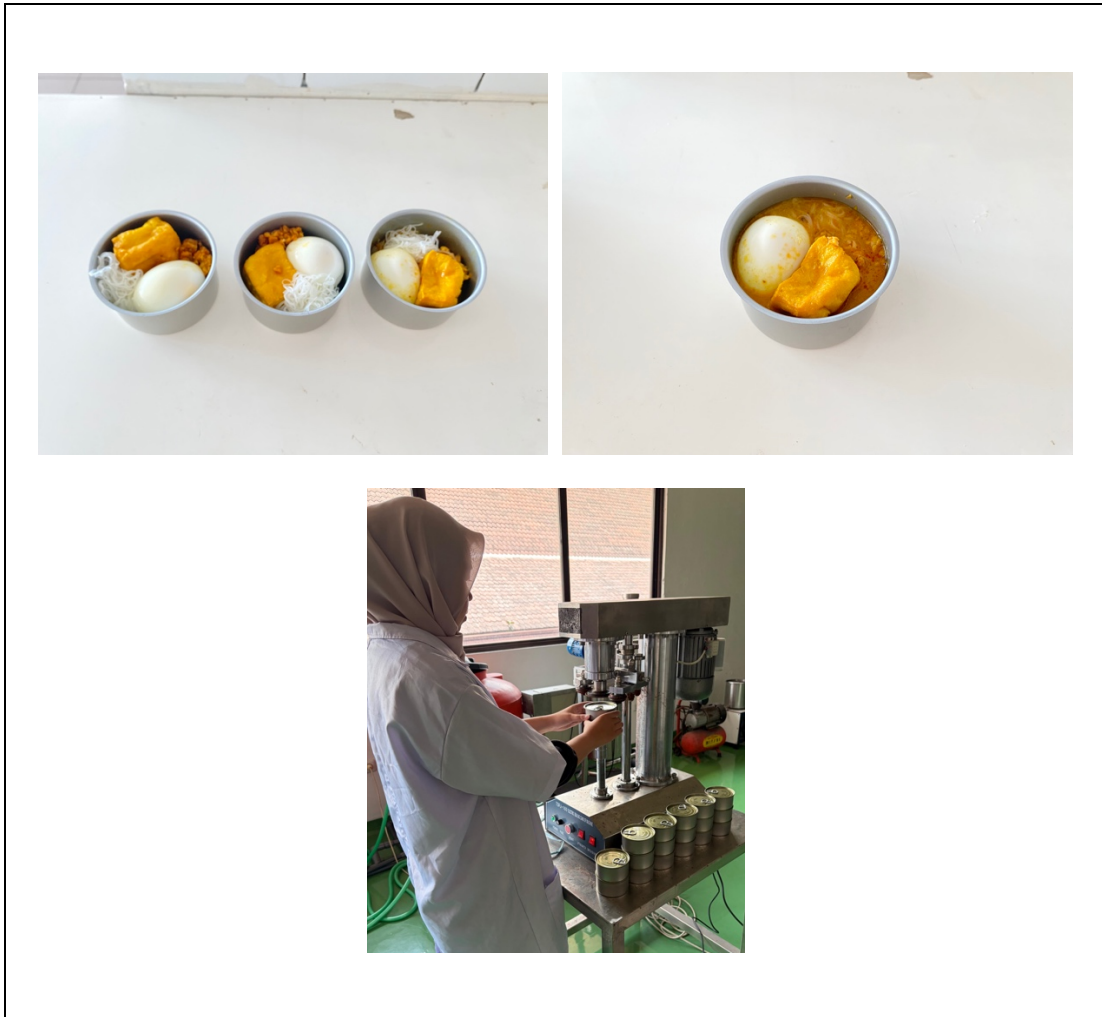
Langkah 3: Jumlahkan

$$\Sigma (X_i - \bar{x})^2 = 4,2025 + 4,1616 = 8,3641$$

Langkah 4: Bagi dengan (n-1) dan kuadratkan

$$\text{Standar Deviasi} = \frac{\sqrt{8,3641}}{(2-1)} = 2,89208 = 2,89$$

Lampiran 12. Dokumentasi Sampel Penelitian



Gambar 15. Dokumentasi Sampel Penelitian

Lampiran 13. Dokumentasi Analisis TBA

Gambar 16. Dokumentasi Analisis TBA

Lampiran 14. Dokumentasi Analisis pH



Gambar 17. Dokumentasi Analisis pH

Lampiran 15. Dokumentasi Analisis Warna



Gambar 18. Dokumentasi Analisis Warna