

**PENDUGAAN UMUR SIMPAN SAMBAL IKAN MANYUNG ASAP
KEMASAN *RETORT POUCH* DENGAN METODE *ACCELERATED
SHELF LIFE TESTING* MODEL ARRHENIUS**

SKRIPSI

Oleh:

WAMAYANA ISTIQOMAH



**PROGRAM STUDI S-1 TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS PETERNAKAN DAN PERTANIAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2026**

**PENDUGAAN UMUR SIMPAN SAMBAL IKAN MANYUNG ASAP
KEMASAN *RETORT POUCH* DENGAN METODE *ACCELERATED
SHELF LIFE TESTING* MODEL ARRHENIUS**

Oleh:

WAMAYANA ISTIQOMAH
NIM: 23020122120006

Salah satu syarat untuk memperoleh
gelar Sarjana Teknologi Pangan pada Program Studi S-1 Teknologi Pangan
Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro

**PROGRAM STUDI S-1 TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS PETERNAKAN DAN PERTANIAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2026**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wamayana Istiqomah
NIM : 23020122120006
Program Studi : Teknologi Pangan

dengan ini menyatakan sebagai berikut:

1. Skripsi yang berjudul: **Pendugaan Umur Simpan Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan *Retort Pouch* dengan Metode *Accelerated Shelf Life Testing* Model Arrhenius** dan penelitian yang terkait dengan skripsi ini merupakan karya penulis sendiri.
2. Setiap ide atau kutipan dari karya orang lain berupa publikasi atau bentuk lainnya dalam skripsi ini, telah diakui sesuai dengan standar prosedur disiplin ilmu.
3. Penulis juga mengakui bahwa skripsi ini dapat dihasilkan berkat bimbingan dan dukungan penuh dari Pembimbing yaitu: **SETYA BUDI MUHAMMAD ABDUH** dan **ULILAFIDAH**.

Apabila di kemudian hari dalam skripsi ini ditemukan hal-hal yang menunjukkan telah dilakukan kecurangan akademik, maka penulis bersedia gelar sarjana yang telah penulis dapatkan ditarik sesuai dengan ketentuan dari Program Studi S-1 Teknologi Pangan, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro.

Semarang, 3 Juni 2026

Penulis,



Wamayana Istiqomah

Mengetahui:

Pembimbing Utama

Setya Budi Muhammad Abduh, S.Pt., M.Sc., Ph.D.

Pembimbing Anggota

Ulil Afidah, S.Pt., M.Sc.

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : PENDUGAAN UMUR SIMPAN SAMBAL IKAN
MANYUNG ASAP KEMASAN *RETORT POUCH*
DENGAN METODE *ACCELERATED SHELF LIFE*
TESTING MODEL *ARRHENIUS*

Nama Mahasiswa : WAMAYANA ISTIQOMAH

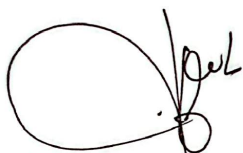
Nomor Induk Mahasiswa : 23020122120006

Program Studi/Departemen : S-1 TEKNOLOGI PANGAN / PERTANIAN

Fakultas : PETERNAKAN DAN PERTANIAN

Telah disidangkan di hadapan Tim Penguji
dan dinyatakan lulus pada tanggal **30 JUN 2026**

Pembimbing Utama



Setya Budi Muhammad Abduh, S.Pt., M.Sc., Ph.D. Ulil Afidah, S.Pt., M.Sc.

Pembimbing Anggota

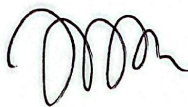


Ketua Program Studi



Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D.

Ketua Panitia Ujian Akhir Program

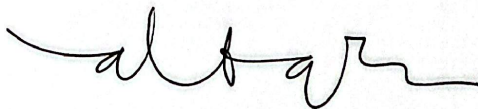


Swastika Dewi, S.TP., M.Sc.



Prof. Sugiharto, S.Pt., M.Sc., Ph.D.

Ketua Departemen



Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D.

RINGKASAN

WAMAYANA ISTIQOMAH. 23020122120006. 2026. Pendugaan Umur Simpan Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan *Retort Pouch* dengan Metode *Accelerated Shelf Life Testing* Model Arrhenius. **SETYA BUDI MUHAMMAD ABDUH** dan **ULIL AFIDAH.**

Sambal ikan manyung asap merupakan salah satu bentuk diversifikasi produk olahan ikan asap yang dipilih karena memiliki tingkat penerimaan yang tinggi di masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan umur simpan sambal ikan manyung asap kemasan *retort pouch* berdasarkan perubahan mutu kadar air, kadar protein, pH, *Thiobarbituric Acid Reactive Substances* (TBARS), dan *Total Plate Count* (TPC). Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Pusat Penelitian Ternak Tropik serta Laboratorium Ilmu dan Teknologi Daging, Fakultas Peternakan, Universitas Gadjah Mada pada bulan Oktober 2025 hingga Januari 2026. Produk dikemas menggunakan *retort pouch* dengan perlakuan vakum dan non vakum, kemudian disterilisasi pada suhu 121°C selama 20 menit dan disimpan pada suhu 30°C, 40°C, dan 50°C selama 28 hari dengan interval pengamatan setiap 7 hari. Setiap perlakuan dilakukan dengan 4 ulangan sehingga diperoleh total 104 unit percobaan. Penentuan umur simpan dilakukan menggunakan metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) dengan pendekatan Arrhenius. Analisis data dilakukan menggunakan *Microsoft Excel* 2019 melalui penentuan orde reaksi berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2), konstanta laju reaksi (k), persamaan Arrhenius, dan energi aktivasi (E_a).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh parameter mutu mengikuti reaksi orde nol. Selama penyimpanan terjadi peningkatan kadar air, pH, dan TBARS serta penurunan kadar protein, sedangkan nilai TPC pada seluruh perlakuan masih berada di bawah batas maksimum cemaran mikroba sehingga produk masih aman dikonsumsi. Nilai konstanta laju reaksi meningkat seiring kenaikan suhu penyimpanan. Parameter TBARS dipilih sebagai parameter kritis karena paling merepresentasikan kerusakan utama produk berupa oksidasi lemak selama penyimpanan. Persamaan Arrhenius parameter TBARS pada produk vakum adalah $y = -843,55x - 3,1742$ dengan nilai E_a sebesar 7013,69 J/mol, sedangkan pada produk non vakum diperoleh persamaan $y = -816,42x - 2,7335$ dengan nilai E_a sebesar 6788,14 J/mol. Pendugaan umur simpan berdasarkan parameter TBARS menunjukkan bahwa produk vakum memiliki umur simpan lebih panjang dibandingkan non vakum, yaitu 292,37 hari pada suhu 27°C dan 318,94 hari pada suhu 18°C, sedangkan produk non vakum memiliki umur simpan 169,69 hari pada suhu 27°C dan 184,59 hari pada suhu 18°C.

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul "Pendugaan Umur Simpan Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan *Retort Pouch* dengan Metode *Accelerated Shelf Life Testing* Model Arrhenius". Penulis banyak menerima dukungan, masukan, bantuan, bimbingan, dan informasi dari berbagai pihak mulai dari penelitian hingga proses penyusunan skripsi. Maka dari itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat nama-nama berikut.

1. Prof. Sugiharto, S.Pt., M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro yang telah mengizinkan dan memberikan kesempatan bagi penulis untuk melakukan penelitian dan penulisan skripsi untuk memperoleh gelar sarjana.
2. Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D. selaku Ketua Departemen Pertanian serta Ketua Program Studi S-1 Teknologi Pangan Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro yang telah memberikan kesempatan bagi penulis untuk melaksanakan penelitian.
3. Bapak Setya Budi Muhammad Abduh, S.Pt., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing utama yang telah berkenan meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, masukan, arahan, dan saran kepada penulis selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi.
4. Ibu Ulil Afidah, S.Pt., M.Sc. selaku dosen pembimbing anggota yang telah berkenan meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, masukan, arahan, dan saran kepada penulis selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi.
5. Bapak Dr. Ir. Endy Triyannanto, S.Pt., M.Eng., IPM., ASEAN Eng. yang telah mengizinkan dan mempercayakan penulis untuk membantu penelitian menentukan umur simpan sambal ikan manyung asap kemasan *retort pouch* dan telah mendukung kegiatan penelitian secara material.

6. Ibu Nurul Hasniah S.T.P., M.Sc. dan Ibu Sri Mulyani, S.Pt., M.P. selaku dosen penguji serta Bapak Hega Bintang Pratama Putra S.T.P., M.Sc. selaku dosen panitia yang telah memberikan saran serta masukan yang membangun kepada penulis dalam memperbaiki penulisan skripsi ini.
7. Ikhwan Hadiano, S.Pt., M.Sc. dan Siska Devi Kusumawati A.Md.Vet. selaku pihak laboran yang telah memberikan izin, dukungan, serta arahan kepada penulis selama melakukan penelitian di laboratorium Pusat Penelitian Ternak Tropik, Universitas Gadjah Mada.
8. Bapak Dr. Ir. Antonius Hintono, M.P., Dr. Ibu Sri Mulyani, S.Pt., M.P., dan Ibu Ulil Afidah, S.Pt., M.Sc. selaku dosen wali penulis selama masa studi yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis hingga terselesaikannya penyusunan tugas akhir.
9. Seluruh dosen, tenaga kependidikan, dan staf akademik Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, khususnya Program Studi S-1 Teknologi Pangan yang telah memberikan ilmu, kesempatan, dan pengalaman selama menempuh pendidikan di Teknologi Pangan Undip.
10. Orang tua penulis, Alm. Bapak Ateng Suratno yang semasa hidupnya telah memberikan nasihat, motivasi, dan semangat yang menjadi inspirasi bagi penulis. Serta Ibu penulis, Legina Fitria Ningsih yang selalu memberi doa, kasih sayang, dan dorongan baik moral maupun material selama penulis menuntut ilmu.
11. Tim Penelitian Sambal Manyung dan Empal Gentong, yaitu Della Anindya Putri, Alisha Syifa Calista Fitri, Fathur Rizki Adelia, Amelia Vyeji Ardhani, Fahreza Daffa Pratama, Anjely Prima Romaida Simamora, Rahma Indriyani, dan Aisyah Dwi Firdasari yang selalu memberikan dukungan dan bantuan serta selalu bekerja sama dengan baik selama pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi.
12. Teman-teman UGM, yaitu Akmal Ihsanuddin Zain, Akyas Kalis Rubedo, Naufal Dzakwan Maulana, Raditra Narotama, Selma Imanda, Isty Widiastuti, Fandi Rizky Ramdani dan Ikhwan Arya Laksamana yang telah membantu selama penelitian di UGM.

13. Sartika Gunawan Putri yang selalu memberi dukungan dan bantuan selama penulis melaksanakan penelitian di laboratorium Pusat Penelitian Ternak Tropik, Universitas Gadjah Mada.
14. Tim PMM 4 Unibos dari berbagai wilayah Indonesia yang telah memberikan semangat, dukungan, dan motivasi kepada penulis meskipun hanya melalui media sosial.
15. Sahabat penulis, Nuratikah, Fadhillah Mahendra, Ayu Miranda Limbong, dan Nyimas Ananda Lady Fisabila yang telah memberikan semangat, dukungan, dan motivasi kepada penulis, mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya skripsi ini.
16. Tim KKN Kemdiktisaintek Kelurahan Langensari, khususnya Ciwi-ciwi Langensari dan Tim PDD yang telah memberikan dukungan, motivasi, hiburan, dan semangat kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.
17. Tim Pendakian Argopuro yang telah memberikan dukungan, motivasi, hiburan, dan semangat kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.
18. Julia Dian Khanisah, salah satu teman satu prodi yang selalu membantu penulis dalam mengerjakan tugas selama perkuliahan maupun selama penyusunan skripsi ini.
19. Keluarga besar mahasiswa Teknologi Pangan, Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro, Angkatan 2022 atas kebersamaannya selama perkuliahan di Teknologi Pangan Undip.
20. Terakhir, penulis mengucapkan terima kasih kepada diri sendiri atas segala usaha, ketekunan, dan semangat selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca sehingga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Semarang, 3 Juni 2026

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR ILUSTRASI.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan dan Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Ikan Manyung.....	6
2.2. Pengasapan Ikan	8
2.3. Olahan Sambal Ikan	9
2.4. Produk <i>Ready To Eat</i> (RTE)	11
2.5. Kemasan <i>Retort Pouch</i>	12
2.6. Sterilisasi	14
2.7. Metode Pendugaan Umur Simpan.....	22
2.8. Parameter Penelitian	24
BAB III MATERI DAN METODE	31
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2. Materi Penelitian	31
3.3. Metode Penelitian	33

3.4. Rancangan Penelitian	33
3.5. Prosedur Penelitian	34
3.6. Pengujian Parameter	38
3.7. Analisis Data dan Penentuan Umur Simpan	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1. Karakteristik Mutu Awal Sambal Ikan Manyung Asap Setelah Proses Sterilisasi	49
4.2. Penurunan Mutu Sambal Ikan Manyung Asap Selama Penyimpanan	52
4.3. Analisis Kinetika Perubahan Mutu Sambal Ikan Manyung Asap	67
4.4. Penentuan Umur Simpan	81
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	86
5.1. Simpulan.....	86
5.2. Saran	86
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN.....	108
RIWAYAT HIDUP	136

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1.	Kandungan Gizi Ikan Manyung	7
2.	Keunggulan dan Kelemahan Kemasan Retort Pouch dibandingkan Kemasan Kaleng.....	14
3.	Karakteristik Mutu Awal Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan Vakum dan Non Vakum.....	49
4.	Nilai Total Plate Count Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan Vakum.....	65
5.	Nilai Total Plate Count Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan	65
6.	Penentuan Orde Reaksi Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan Vakum dan Non Vakum Parameter Kadar Air.....	69
7.	Nilai k dan ln k Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan Vakum Parameter Kadar Air.....	70
8.	Nilai k dan ln k Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan Non Vakum Parameter Kadar Air.....	70
9.	Penentuan Orde Reaksi Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan Vakum dan Non Vakum Parameter Kadar Protein	72
10.	Nilai k dan ln k Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan Vakum Parameter Kadar Protein	73
11.	Nilai k dan ln k Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan Non Vakum Parameter Kadar Protein.....	73
12.	Penentuan Orde Reaksi Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan Vakum dan Non Vakum Parameter pH	75
13.	Nilai k dan ln k Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan Vakum Parameter pH.....	76
14.	Nilai k dan ln k Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan Non Vakum Parameter pH.....	76
15.	Penentuan Orde Reaksi Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan Vakum dan Non Vakum Parameter TBARS.....	78

16.	Nilai k dan ln k Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan Vakum Parameter TBARS.....	79
17.	Nilai k dan ln k Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan Non Vakum Parameter TBARS	79
18.	Persamaan Arrhenius dan Energi Aktivasi Produk Vakum	82
19.	Persamaan Arrhenius dan Energi Aktivasi Produk Non Vakum	82
20.	Prediksi Umur Simpan Sambal Ikan Manyung Asap Berdasarkan Parameter TBARS.....	83

DAFTAR ILUSTRASI

Nomor		Halaman
1.	Ikan Manyung	6
2.	Produk Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan <i>Retort Pouch</i> ..	9
3.	Struktur Penyusun Retort Pouch	13
4.	Contoh Penentuan Titik Terdingin <i>Retort Pouch</i> Ukuran 20 x 13 cm Berbentuk <i>Standing Pouch</i>	19
5.	Contoh Kurva Nilai Sterilitas	21
6.	Proses Pembuatan Sambal Ikan Manyung Asap	35
7.	Tahapan Sterilisasi Menggunakan Alat Retort	38
8.	Grafik Perubahan Mutu Kadar Air Selama Penyimpanan	52
9.	Grafik Perubahan Mutu Kadar Protein Selama Penyimpanan .	55
10.	Grafik Perubahan Mutu pH Selama Penyimpanan	58
11.	Grafik Perubahan Mutu TBARS Selama Penyimpanan	62
12.	Hubungan antara $\ln k$ dan $1/T$ Produk Vakum pada Parameter Kadar Air	70
13.	Hubungan antara $\ln k$ dan $1/T$ Produk Non Vakum pada Parameter Kadar Air	71
14.	Hubungan antara $\ln k$ dan $1/T$ Produk Vakum pada Parameter Kadar Protein	73
15.	Hubungan antara $\ln k$ dan $1/T$ Produk Non Vakum pada Parameter Kadar Protein	74
16.	Hubungan antara $\ln k$ dan $1/T$ Produk Vakum pada Parameter pH	76
17.	Hubungan antara $\ln k$ dan $1/T$ Produk Non Vakum pada Parameter pH	77
18.	Hubungan antara $\ln k$ dan $1/T$ Produk Vakum pada Parameter TBARS	79

19. Hubungan antara $\ln k$ dan $1/T$ Produk Non Vakum pada Parameter TBARS	80
--	----

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor		Halaman
1.	Data Mentah Nilai Kadar Air Produk Vakum dan Non Vakum.....	108
2.	Data Mentah Nilai Kadar Protein Produk Vakum dan Non Vakum.....	108
3.	Data Mentah Nilai pH Produk Vakum dan Non Vakum	109
4.	Data Mentah Nilai TBARS Produk Vakum dan Non Vakum...	109
5.	Hasil Persamaan Regresi Parameter Kemunduran Mutu Kadar Air	110
6.	Hasil Persamaan Regresi Parameter Kemunduran Mutu Kadar Protein	111
7.	Hasil Persamaan Regresi Parameter Kemunduran Mutu pH ...	112
8.	Hasil Persamaan Regresi Parameter Kemunduran Mutu TBARS	113
9.	Parameter Kinetika Perubahan Mutu Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan Vakum dan Non Vakum Selama Penyimpanan	114
10.	Hasil Pengukuran Nilai Sterilitas Ikan Lele Asap Bumbu Sambal Goreng selama 20 menit pada suhu 121°C	115
11.	Grafik Perubahan Mutu Kadar Air Produk Vakum selama Penyimpanan dalam Orde Reaksi Nol, Satu, dan Dua.....	117
12.	Grafik Perubahan Mutu Kadar Protein Produk Vakum selama Penyimpanan dalam Orde Reaksi Nol, Satu, dan Dua.....	118
13.	Grafik Perubahan Mutu pH Produk Vakum selama Penyimpanan dalam Orde Reaksi Nol, Satu, dan Dua.....	119
14.	Grafik Perubahan Mutu TBARS Produk Vakum selama Penyimpanan dalam Orde Reaksi Nol, Satu, dan Dua.....	120
15.	Grafik Perubahan Mutu Kadar Air Produk Non Vakum selama Penyimpanan dalam Orde Reaksi Nol, Satu, dan Dua.	121

16.	Grafik Perubahan Mutu Kadar Protein Produk Non Vakum selama Penyimpanan dalam Orde Reaksi Nol, Satu, dan Dua.	122
17.	Grafik Perubahan Mutu pH Produk Non Vakum selama Penyimpanan dalam Orde Reaksi Nol, Satu, dan Dua.....	123
18.	Grafik Perubahan Mutu TBARS Produk Non Vakum selama Penyimpanan dalam Orde Reaksi Nol, Satu, dan Dua.....	124
19.	Perhitungan Energi Aktivasi Parameter Kadar Air	125
20.	Perhitungan Energi Aktivasi Parameter Kadar Protein	126
21.	Perhitungan Energi Aktivasi Parameter pH	127
22.	Perhitungan Energi Aktivasi Parameter TBARS.....	128
23.	Perhitungan Nilai k Produk Vakum.....	129
24.	Perhitungan Nilai k Produk Non Vakum.....	130
25.	Perhitungan Estimasi Umur Simpan Sambal Ikan Manyung Asap (Suhu 30°C, 40°C, dan 50°C)	131
26.	Perhitungan Estimasi Umur Simpan Sambal Ikan Manyung Asap (Suhu 27°C dan 18°C)	132
27.	Produk Sambal Ikan Manyung Asap yang dikemas dalam Kemasan Retort Pouch	133
28.	Dokumentasi Penelitian.....	134

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi perikanan yang sangat besar, baik dari sektor perikanan laut maupun perairan darat. Salah satu komoditas perikanan laut yang banyak dimanfaatkan masyarakat adalah ikan manyung (*Arius thalassinus*). Berdasarkan data dari situs statistic.kkp.go.id, produksi perikanan tangkap ikan manyung di Indonesia selalu mengalami peningkatan dalam rentang tahun 2020, 2021, dan 2022 berturut-turut sebesar 89.631 ton, 99.110 ton, dan 113.734 ton. Ikan manyung merupakan jenis ikan demersal yang memiliki nilai ekonomi cukup tinggi (Marbun *et al.*, 2017). Pemanfaatan ikan manyung cukup beragam, seperti diolah menjadi ikan asin, ikan asap, dan surimi. Selain itu, bagian hati dapat diolah menjadi minyak ikan, sedangkan telurnya dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan pepes (Khamidah *et al.*, 2019). Meskipun demikian, pemanfaatan ikan manyung masih didominasi sebagai bahan baku ikan asap karena karakteristik dagingnya yang tebal, tekstur agak lembek, serta permukaan tubuh yang berlendir sehingga lebih sesuai diolah melalui proses pengasapan. Ikan asap merupakan produk olahan perikanan tradisional yang dihasilkan melalui proses pengasapan menggunakan bahan bakar alami dan banyak digemari oleh masyarakat Indonesia.

Menurut Hidayat *et al.* (2025), metode pengasapan tradisional memiliki keunggulan karena mampu menghasilkan aroma dan cita rasa asap yang lebih kuat

pada produk. Ikan asap umumnya dikonsumsi secara langsung, namun aroma dan cita rasa asap yang kuat belum dapat diterima oleh seluruh konsumen sehingga diperlukan diversifikasi produk untuk meningkatkan daya terima dan nilai tambah. Salah satu bentuk diversifikasi olahan ikan manyung asap adalah produk makanan siap saji (*ready to eat*) berupa sambal ikan manyung asap. Pemilihan produk sambal didasarkan pada tingginya tingkat konsumsi masyarakat Indonesia terhadap sambal sebagai pelengkap makanan sehari-hari. Penambahan ikan asap pada sambal tidak hanya memberikan cita rasa khas, tetapi juga meningkatkan kandungan protein dan mineral pada sambal (Arsyad dan Habi, 2021). Sambal merupakan produk pangan yang memiliki kadar air cukup tinggi. Menurut Nafilawati *et al.* (2025), sambal yang mengandung ikan cenderung mengalami penurunan kualitas baik secara fisik, kimia, maupun mikrobiologis selama masa penyimpanan. Kondisi ini dapat mempercepat kerusakan produk, menurunkan tingkat penerimaan konsumen, serta memperpendek umur simpan yang berkaitan dengan aspek keamanan pangan.

Pengembangan sambal ikan manyung asap menjadi makanan siap saji memerlukan pengemasan yang tepat untuk menjamin mutu dan keamanan pangan, salah satunya dengan menggunakan kemasan *retort pouch*. *Retort pouch* merupakan kemasan fleksibel tahan panas yang digunakan pada proses sterilisasi komersial pangan (Triyannanto *et al.*, 2019). Penggunaan *retort pouch* memberikan beberapa keuntungan, di antaranya mampu mempertahankan cita rasa dan penampakan produk, tahan terhadap perlakuan panas, serta memungkinkan penyimpanan produk tanpa memerlukan pendinginan (Ariyana *et al.*, 2024). Pengemasan *retort pouch* dapat dikombinasikan dengan metode vakum maupun

non vakum. Pengemasan vakum dilakukan dengan mengeluarkan udara dari dalam kemasan sehingga dapat menghambat oksidasi dan pertumbuhan mikroorganisme aerob (Triyannanto *et al.*, 2022). Sementara itu, pengemasan non vakum dilakukan tanpa proses pengeluaran udara dari dalam kemasan (Adawiyah *et al.*, 2016). Produk dengan kemasan vakum umumnya memiliki daya simpan lebih panjang dibandingkan non vakum (Ariyana *et al.*, 2024).

Pada praktiknya, beberapa usaha pengolahan pangan masih melakukan pengemasan produk pangan menggunakan *sealer* biasa yang kurang efektif dalam mencegah kontaminasi dan mempertahankan mutu produk (Sihmawati *et al.*, 2023). Oleh karena itu, penggunaan *vacuum sealer* diperlukan untuk menghasilkan sistem pengemasan yang lebih optimal dalam mempertahankan mutu produk pangan. Pada produk *ready to eat* seperti sambal ikan manyung asap, proses sterilisasi komersial juga menjadi tahapan penting untuk menjamin keamanan dan kestabilan produk selama penyimpanan. Proses ini bertujuan untuk menginaktivasi bakteri patogen tanpa menurunkan nilai gizi maupun karakteristik organoleptik produk. Menurut Jeyapriya dan Kantale (2022), proses *retort* pada suhu 121°C mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme dan memperpanjang masa simpan produk hingga satu tahun. Pendugaan umur simpan produk pangan dapat dilakukan menggunakan metode *Accelerated Shelf Life Testing (ASLT)*. Pendekatan akselerasi dalam metode ini umumnya dilakukan menggunakan model Arrhenius maupun pendekatan kadar air kritis (Sunyoto *et al.*, 2017). Model Arrhenius digunakan untuk produk yang sensitif terhadap perubahan suhu selama penyimpanan, sedangkan pendekatan

kadar air kritis lebih sesuai untuk produk yang rentan mengalami kerusakan akibat penyerapan kelembapan dari lingkungan (Harjan *et al.*, 2018).

Metode ASLT dengan model Arrhenius telah banyak digunakan untuk menduga umur simpan berbagai produk pangan, seperti makanan kaleng, susu UHT, susu bubuk dan formula, produk beku seperti daging, udang, ikan, serta saus, bumbu dan produk lain yang memiliki kandungan lemak tinggi karena berpotensi mengalami oksidasi lemak serta reaksi pencoklatan akibat adanya gula pereduksi dan protein (Affandi *et al.*, 2020). Salah satu keunggulan utama dari metode ASLT adalah waktu pengujian yang relatif lebih singkat dibandingkan metode konvensional, namun tetap mampu memberikan hasil dengan tingkat ketepatan dan akurasi yang tinggi (Harjan *et al.*, 2018). Penelitian mengenai sambal ikan manyung asap dalam kemasan *retort pouch* masih terbatas, terutama terkait efektivitas pengemasan vakum dan non vakum setelah proses sterilisasi komersial terhadap umur simpan produk. Selain itu, kajian estimasi umur simpan sambal ikan manyung asap menggunakan metode ASLT model Arrhenius juga masih jarang dilaporkan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji estimasi umur simpan sambal ikan manyung asap dengan kombinasi pengemasan vakum dan non vakum serta proses sterilisasi komersial.

1.2. Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk memprediksi umur simpan produk sambal ikan manyung asap dalam kemasan *retort pouch* dengan perlakuan vakum dan non vakum menggunakan metode *Accelerated Shelf Life Testing*

(ASLT) serta mengetahui pengaruh perlakuan terhadap mutu produk selama penyimpanan yang meliputi parameter kadar air, kadar protein, pH, dan *Thiobarbituric Acid Reactive Substances* (TBARS), dan *Total Plate Count* (TPC). Manfaat penelitian ini adalah memperoleh informasi mengenai umur simpan produk serta mendukung pengembangan produk pangan siap saji berbasis ikan asap yang aman, bermutu, dan memiliki daya simpan yang lebih panjang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Ikan Manyung



Ilustrasi 1. Ikan Manyung

www.kompasiana.com (2026)

Ikan manyung (*Arius thalassinus*) merupakan salah satu jenis ikan demersal dalam famili *Ariidae* yang memiliki nilai ekonomi cukup tinggi karena rasanya yang khas, lezat, gurih, dan bergizi (Marbun *et al.*, 2017). Secara taksonomi, ikan ini masih berkerabat dengan ikan konsumsi lain seperti lele dan patin karena berada dalam ordo yang sama, yaitu Siluriformes, yang dikenal sebagai kelompok ikan berkumis (*catfish*) (Marbun *et al.*, 2017). Meskipun demikian, ketiga jenis ikan tersebut berasal dari famili yang berbeda. Ikan manyung umumnya hidup di dasar perairan, mulai dari muara sungai, wilayah pesisir, hingga perairan yang lebih dalam. Berdasarkan habitat tersebut, ikan ini tergolong sebagai ikan karnivora yang memanfaatkan organisme dasar seperti kerang, udang, dan ikan kecil sebagai sumber pakan. Penyebaran ikan manyung meliputi berbagai wilayah perairan

Indonesia, khususnya di sekitar Jawa, Sumatera, Kalimantan, Sulawesi Selatan, dan Laut Arafura (Marbun *et al.*, 2017).

Ikan manyung umumnya memiliki ukuran tubuh yang relatif besar, yaitu berkisar antara 25 hingga 70 cm, sehingga laju kemunduran mutunya cenderung lebih lambat dibandingkan dengan ikan berukuran kecil (Setiawan, 2016). Secara fisik, ikan ini memiliki daging berwarna putih dengan tekstur tebal serta kulit yang liat dan cukup tebal. Karakteristik kulit tersebut secara alami dapat memberikan perlindungan terhadap kontaminasi mikroba, sehingga jumlah bakteri dalam daging relatif lebih rendah. Rincian kandungan gizi pada ikan manyung secara lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan Gizi Ikan Manyung

Kandungan gizi	Jumlah (%)
Protein	19
Lemak	6,8
Mineral	2,2
Vitamin	1,2
Air	70,1

Setiawan (2016)

Ikan manyung juga kaya akan asam lemak omega-3 yang bermanfaat bagi kesehatan tubuh. Meskipun memiliki nilai gizi yang tinggi, ikan manyung memiliki karakteristik berupa permukaan kulit yang berlendir serta aroma yang cukup kuat, sehingga memengaruhi preferensi pengolahan (Setiawan *et al.*, 2024). Oleh karena itu, ikan ini umumnya diolah melalui proses pengawetan seperti pengeringan dan pengasapan (Setiawan *et al.*, 2024). Pemanfaatan ikan manyung sebagai bahan baku produk olahan tradisional cukup beragam, di antaranya ikan asin, pindang, dan ikan

asap (Kristanti *et al.*, 2023). Dengan kandungan gizi yang tinggi, cita rasa khas, serta peluang diversifikasi produk yang luas, ikan manyung memiliki potensi strategis dalam pengembangan industri pangan berbasis sumber daya perikanan lokal di Indonesia.

2.2. Pengasapan Ikan

Menurut Adeyeye (2019) pengasapan merupakan salah satu metode pengawetan tertua yang mengkombinasikan efek penggaraman, pengeringan, pemanasan, dan proses pengasapan itu sendiri. Metode ini bertujuan untuk memperpanjang daya simpan ikan, termasuk ikan manyung. Proses pengasapan memberikan berbagai manfaat, tidak hanya sebagai upaya pengawetan, tetapi juga mampu meningkatkan cita rasa dan warna produk tanpa mengurangi kandungan gizinya. Ikan asap dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku berbagai produk olahan, salah satunya sambal ikan. Berdasarkan suhu yang digunakan, proses pengasapan dibedakan menjadi dua jenis, yaitu pengasapan dingin dan pengasapan panas (Swastawati, 2018). Swastawati (2018) menjelaskan bahwa pengasapan dingin dilakukan pada suhu relatif rendah, yaitu sekitar 30–40°C, dalam waktu yang cukup lama, mulai dari beberapa jam hingga beberapa hari. Pada kondisi ini, ikan belum mengalami pemasakan sempurna sehingga belum siap untuk langsung dikonsumsi. Tujuan utama pengasapan dingin adalah untuk menghasilkan karakteristik sensori khas, seperti rasa dan penampakan, namun metode ini belum cukup efektif sebagai proses pengawetan. Oleh karena itu, produk hasil pengasapan dingin umumnya memerlukan perlakuan tambahan seperti penyimpanan dingin atau pembekuan untuk memperpanjang masa simpannya.

Sebaliknya, pengasapan panas dilakukan pada suhu pengasapan yang dapat mencapai 120°C atau lebih, dengan suhu bagian dalam daging ikan sekitar 60°C dan waktu proses yang relatif singkat, yaitu sekitar dua hingga tiga jam (Swastawati, 2018). Proses ini menghasilkan ikan yang telah matang dan siap dikonsumsi, namun kadar air yang masih relatif tinggi menyebabkan daya simpannya lebih rendah dibandingkan dengan hasil pengasapan dingin. Pengasapan tradisional umumnya memanfaatkan limbah hasil pertanian sebagai bahan bakar, salah satunya adalah limbah bonggol jagung. Menurut Zakaria *et al.* (2016), bonggol jagung memiliki kandungan senyawa kimia yang relatif serupa dengan kayu, seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Senyawa tersebut berperan dalam menghasilkan komponen asap yang bersifat antibakteri, antioksidan, serta berpotensi sebagai pengawet alami, sekaligus memberikan warna dan cita rasa khas pada ikan asap (Desvita *et al.*, 2023).

2.3. Olahan Sambal Ikan



Ilustrasi 2. Produk Sambal Ikan Manyung Asap Kemasan *Retort Pouch*

Dokumentasi PT.XYZ (2025)

Sambal merupakan produk pangan berbahan dasar cabai yang dihaluskan dan diolah dengan penambahan bahan lain seperti gula, garam, bawang merah, dan bawang putih (Mansyur, 2021). Bagi masyarakat Indonesia, sambal telah menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari kebiasaan konsumsi sehari-hari karena berperan sebagai pelengkap yang mampu meningkatkan cita rasa dan selera makan. Oleh karena itu, kehadiran sambal dalam suatu hidangan sering dianggap penting untuk memberikan kepuasan dalam menikmati makanan. Tingginya tingkat konsumsi sambal mendorong berbagai industri pangan untuk terus berinovasi dalam menciptakan variasi produk, baik dari segi komposisi bahan maupun tingkat kepedasan. Salah satu inovasi yang berkembang adalah sambal berbasis ikan. Beberapa jenis ikan yang umum digunakan dalam pembuatan sambal antara lain tuna, cakalang, pari, tongkol, dan manyung. Di antara jenis tersebut, ikan manyung menjadi salah satu yang banyak dimanfaatkan karena memiliki daging yang tebal serta cita rasa yang gurih (Nauli *et al.*, 2024). Untuk menjaga mutu ikan setelah penangkapan, diperlukan upaya pengawetan seperti penggaraman atau pengasapan guna memperlambat proses kerusakan (Nauli *et al.*, 2024). Pemanfaatan ikan manyung asap sebagai bahan baku sambal tidak hanya dapat memperpanjang daya simpan produk, tetapi juga memberikan kemudahan bagi konsumen dalam mengonsumsi produk siap saji (*ready to eat*). Selain itu, pengolahan ini tetap mampu mempertahankan nilai gizi, cita rasa, serta meningkatkan nilai ekonomis produk yang dihasilkan.

2.4. Produk *Ready To Eat* (RTE)

Makanan siap saji (*ready to eat*) adalah makanan yang dapat langsung dikonsumsi tanpa perlu dimasak atau diolah terlebih dahulu sehingga memudahkan konsumen dalam penyajiannya (Ismah *et al.*, 2024). Produk ini berkembang seiring perubahan pola hidup masyarakat modern yang cenderung menginginkan makanan praktis, cepat disajikan, dan memiliki umur simpan lebih panjang. Perkembangan industri pangan juga mendorong inovasi produk RTE melalui penerapan teknologi pengolahan dan pengemasan untuk mempertahankan mutu serta keamanan pangan selama distribusi dan penyimpanan. Produk RTE saat ini tidak hanya berkembang di negara maju, tetapi juga mulai banyak dikembangkan di Indonesia, termasuk pada produk berbasis hasil perikanan. Pengolahan bahan pangan menjadi produk RTE memberikan nilai tambah karena dapat memperluas jangkauan pemasaran, meningkatkan daya simpan, dan mempermudah konsumsi (Pangastuti *et al.*, 2020). Pada komoditas perikanan, produk RTE banyak dikembangkan dalam bentuk ikan asap, ikan kaleng, abon, hingga berbagai olahan berbumbu yang siap dikonsumsi (Pamudji, 2021). Salah satu produk yang berpotensi dikembangkan adalah sambal ikan manyung asap, yaitu produk olahan berbasis ikan asap yang dipadukan dengan sambal dan dikemas sebagai makanan siap saji.

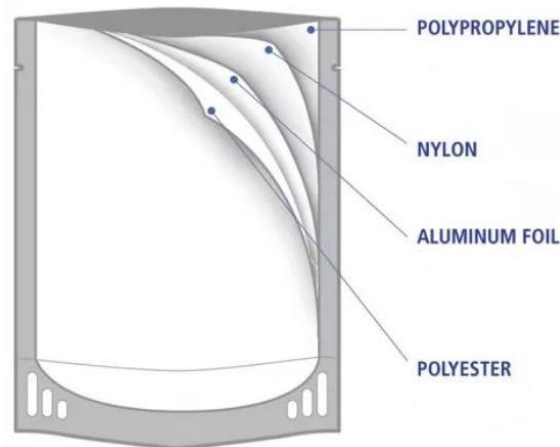
Meskipun demikian, produk RTE berbasis ikan memiliki tantangan utama terkait stabilitas mutu dan keamanan pangan. Ikan mengandung protein dan lemak tidak jenuh yang cukup tinggi sehingga rentan mengalami kerusakan akibat aktivitas mikroorganisme maupun oksidasi lemak selama penyimpanan. Reaksi oksidasi lemak dapat menyebabkan terbentuknya senyawa penyebab ketengikan

yang menurunkan mutu sensoris produk, seperti perubahan aroma, rasa, dan warna (Husain *et al.*, 2018). Selain itu, kadar air dan komponen bumbu pada produk sambal juga dapat mendukung pertumbuhan mikroba apabila proses pengolahan dan pengemasan tidak dilakukan dengan baik (Pangastuti *et al.*, 2020). Untuk menjaga keamanan produk RTE, diperlukan penerapan proses termal seperti sterilisasi yang mampu menekan pertumbuhan mikroorganisme patogen dan pembusuk (Fadhillah *et al.*, 2024). Penggunaan kemasan hermetis seperti *retort pouch* juga banyak diterapkan karena mampu mempertahankan sterilitas produk sekaligus lebih praktis dibandingkan kemasan kaleng (Fadhillah *et al.*, 2024).

2.5. Kemasan *Retort Pouch*

Kemasan merupakan salah satu faktor krusial yang berperan dalam menentukan keberhasilan produk pangan siap saji (*ready to eat*). Selain berfungsi sebagai daya tarik bagi konsumen, kemasan juga menjadi bentuk penerapan teknologi yang bertujuan untuk menjaga mutu, menjamin keamanan, serta memperpanjang umur simpan produk (Larasati *et al.*, 2023). Salah satu jenis kemasan yang banyak digunakan adalah *retort pouch*, yaitu berupa kemasan fleksibel berbentuk kantong, tersusun dari laminasi aluminium tipis dan polimer, serta memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi selama proses sterilisasi (Triyannanto *et al.*, 2025). Secara struktur, *retort pouch* terdiri atas beberapa lapisan dengan fungsi yang berbeda. Lapisan *polyethylene terephthalate* (PET) berperan sebagai penahan panas, lapisan aluminium foil berfungsi sebagai penghalang terhadap oksigen dan cahaya, lapisan nilon memberikan kekuatan mekanis,

sedangkan lapisan terdalam berupa *polypropylene* berfungsi sebagai perekat agar kemasan dapat tersegel dengan baik (Pal *et al.*, 2019).



Ilustrasi 3. Struktur Penyusun *Retort Pouch*

Heinz dan Hautzinger (2007)

Kemasan *retort pouch* memiliki berbagai keunggulan, antara lain bobot yang ringan, bentuk yang tipis sehingga mempercepat proses sterilisasi, fleksibel dan mudah dibentuk, efisien dalam penggunaan ruang penyimpanan, serta relatif lebih ekonomis dan mudah didaur ulang (Pachira *et al.*, 2021). Dalam penggunaannya, proses sterilisasi pada kemasan ini menjadi tahap yang sangat penting untuk mencegah kerusakan produk. Suhu sterilisasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan *overcooking* (Nurhikmat *et al.*, 2016), sedangkan suhu yang tidak memadai berpotensi mengakibatkan kerusakan produk akibat pertumbuhan mikroorganisme (Nurhikmat *et al.*, 2016). Selain memengaruhi kualitas produk, proses sterilisasi juga dapat berdampak pada integritas kemasan *retort pouch* apabila tidak dikontrol dengan baik. Kerusakan kemasan umumnya terjadi pada bagian *seal*, seperti kebocoran akibat pemuaihan bahan selama proses pemanasan

(Praharasti *et al.*, 2014). Hal ini disebabkan oleh keterbatasan kekuatan kemasan dalam menahan tekanan, sehingga apabila terjadi ketidakseimbangan tekanan antara bagian dalam dan luar kemasan, dapat menyebabkan kemasan mengalami kebocoran hingga pecah. Keunggulan dan kelemahan kemasan *retort pouch* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Keunggulan dan Kelemahan Kemasan *Retort Pouch* dibandingkan Kemasan Kaleng

Aspek Keunggulan	Keterangan
Waktu pemanasan	Waktu pemanasan lebih singkat karena kemasan memiliki ketebalan yang lebih rendah dibandingkan kaleng.
Reaksi terhadap bahan pangan	Tidak menimbulkan reaksi dengan bahan pangan selama penyimpanan.
Distribusi	Ringan dan mudah didistribusikan.
Mutu produk	Mampu mempertahankan warna, tekstur, dan nilai gizi produk dengan lebih baik.
Aspek Kelemahan	Keterangan
Ketahanan terhadap pemanasan	Membutuhkan struktur laminasi khusus seperti aluminium foil 7-12 mikron agar mampu menahan kondisi sterilisasi suhu tinggi di atas 125°C selama lebih dari 20 menit.
Kekuatan bahan	Rentan mengalami kerusakan akibat tusukan atau benturan benda tajam.
Lama pengisian	Proses pengisian cenderung lebih kompleks dibandingkan kemasan kaleng.

Murniyati (2009)

2.6. Sterilisasi

Sterilisasi merupakan salah satu metode pengolahan termal yang bertujuan untuk menginaktivasi mikroorganisme pembusuk maupun mikroorganisme patogen pada produk pangan sehingga produk menjadi aman dikonsumsi dan memiliki umur simpan lebih panjang (Sinaga dan Moentamaria, 2024). Proses sterilisasi umumnya dilakukan menggunakan suhu tinggi dalam jangka waktu

tertentu untuk memastikan mikroorganisme yang terdapat pada bahan pangan telah diinaktivasi hingga batas aman selama penyimpanan (Kusnandar *et al.*, 2010). Pada industri pangan, sterilisasi banyak diterapkan pada produk pangan siap saji (*ready to eat*) yang dikemas secara hermetis seperti makanan kaleng dan *retort pouch*.

Berdasarkan tingkat efektivitasnya, sterilisasi dibedakan menjadi sterilisasi total dan sterilisasi komersial (Sugiarto *et al.*, 2024). Sterilisasi total bertujuan untuk mematikan seluruh mikroorganisme yang terdapat dalam produk, sedangkan sterilisasi komersial dilakukan untuk mengurangi jumlah mikroorganisme hingga mencapai tingkat aman dan tidak membahayakan selama penyimpanan normal (Kusnandar *et al.*, 2010). Pada produk pangan komersial, sterilisasi total umumnya sulit dicapai karena memerlukan perlakuan panas yang sangat tinggi dan dapat menurunkan mutu produk secara signifikan. Oleh karena itu, sterilisasi komersial lebih banyak diterapkan pada industri pangan karena dinilai lebih efektif dalam menjaga keseimbangan antara keamanan dan mutu produk.

Produk pangan berasam rendah (*low acid food*) dengan nilai pH di atas 4,6 memerlukan proses sterilisasi yang lebih ketat karena berisiko mendukung pertumbuhan *Clostridium botulinum* (Nurhasanah *et al.*, 2024). Pada produk pangan siap saji dalam kemasan *retort pouch*, proses sterilisasi umumnya dilakukan menggunakan alat *retort* dengan suhu sekitar 121°C (Sugiarto *et al.*, 2024). Penggunaan suhu tinggi pada proses *retort* bertujuan untuk menginaktivasi mikroorganisme target sekaligus mempertahankan stabilitas produk selama penyimpanan suhu ruang. Menurut Jeyapriya dan Kantale (2022), proses *retort* pada suhu 121°C mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme dan

memperpanjang umur simpan produk hingga lebih dari satu tahun. Meskipun demikian, proses sterilisasi perlu dikontrol secara tepat karena pemanasan berlebih dapat menyebabkan penurunan mutu produk seperti perubahan tekstur, warna, aroma, dan kandungan gizi.

Setelah proses sterilisasi selesai, pengendalian suhu selama tahap pascaproses juga menjadi hal yang sangat penting, terutama untuk menghindari kondisi *danger zone* atau zona suhu berbahaya (Achmad, 2023). Rentang suhu ini berada pada kisaran 40,9–48°C, yang merupakan suhu optimum pertumbuhan spora *C. botulinum* (Huang, 2018). Pada kisaran suhu tersebut, berbagai jenis mikroorganisme dapat berkembang dengan cepat sehingga berpotensi menurunkan keamanan dan mutu produk (Yuliantoro, 2017). Oleh sebab itu, produk pangan yang telah disterilisasi harus segera didinginkan dan dijaga agar tidak berada dalam rentang suhu tersebut. Menurut Ricci *et al.* (2020), terdapat dua tahap pendinginan yang umum diterapkan pada produk pangan hasil sterilisasi. Tahap pertama dilakukan dengan menurunkan suhu produk dari 60°C hingga 21°C dalam waktu 2 jam, sedangkan tahap kedua dilakukan dengan menurunkan suhu dari 21°C hingga mencapai 5°C dalam waktu 4 jam. Tahap pendinginan pertama menjadi fase paling kritis, karena pada rentang suhu sekitar 51°C hingga 21°C pertumbuhan mikroorganisme cenderung berlangsung lebih cepat.

2.6.1. Kecukupan Proses Termal

Dalam proses sterilisasi komersial, kecukupan panas menjadi faktor penting untuk menjamin keamanan produk pangan selama penyimpanan. Kecukupan

proses termal ditentukan berdasarkan kemampuan proses pemanasan dalam menginaktivasi mikroorganisme target, khususnya bakteri pembentuk spora yang tahan panas seperti *Clostridium botulinum*. Pada pangan berasam rendah ($\text{pH} > 4,6$), bakteri anaerob tersebut dapat tumbuh dan menghasilkan toksin botulisme yang berbahaya apabila proses sterilisasi tidak dilakukan secara optimal (Praharastini *et al.*, 2019). Oleh karena itu, kombinasi suhu dan waktu pemanasan harus dirancang secara tepat agar produk aman dikonsumsi namun tetap memiliki mutu yang baik. Kecukupan proses termal pada pangan berasam rendah umumnya didasarkan pada konsep 12D, yaitu kemampuan proses sterilisasi untuk menurunkan populasi *C. botulinum* sebesar 12 siklus logaritmik.

Menurut Kurniadi *et al.* (2019), dengan nilai D sebesar 0,21 menit dan nilai Z sebesar 10°C , nilai letalitas minimum yang diperlukan untuk mencapai target tersebut adalah 2,52 menit. Dalam perancangan proses termal terdapat beberapa parameter penting yang digunakan, yaitu nilai D, nilai Z, *lethal rate* (LR), dan nilai F_0 . Nilai *decimal reduction time* (D) merupakan waktu pemanasan pada suhu tertentu yang dibutuhkan untuk menurunkan jumlah mikroorganisme sebesar satu siklus logaritmik atau 90% (Kurniadi *et al.*, 2019). Sementara itu, nilai *temperature coefficient of microbial destruction* (Z) menunjukkan perubahan suhu yang diperlukan untuk menyebabkan perubahan nilai D sebesar satu siklus logaritmik (Kurniadi *et al.*, 2019). Kedua parameter tersebut digunakan untuk menggambarkan ketahanan panas mikroorganisme selama proses sterilisasi.

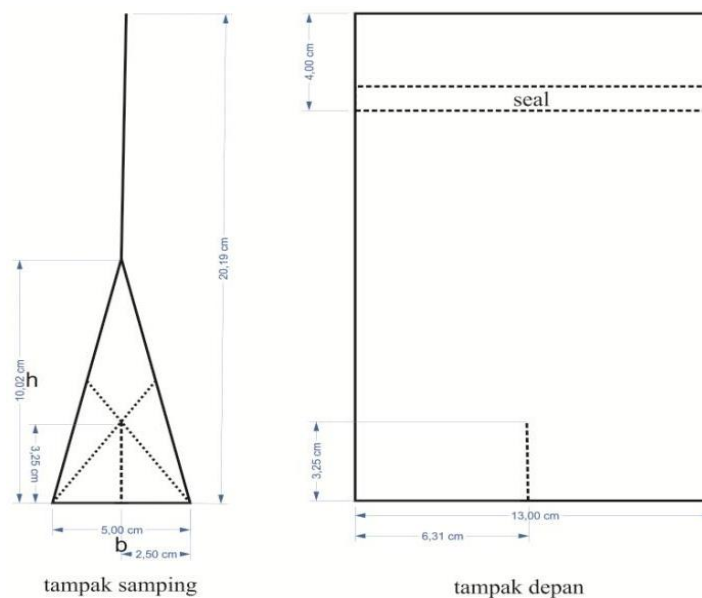
Selain nilai D dan Z, proses sterilisasi juga dipengaruhi oleh nilai *lethal rate* (LR) yang menunjukkan tingkat kematian mikroorganisme pada suhu tertentu

dibandingkan dengan suhu referensi standar 121,1°C (Praharastini *et al.*, 2019). Nilai LR digunakan untuk menggambarkan efektivitas pemanasan selama proses sterilisasi berlangsung. Semakin tinggi suhu pemanasan, maka nilai *lethal rate* akan semakin besar sehingga kemampuan inaktivasi mikroorganisme juga meningkat (Silaturahmi dan Moentamaria, 2024). Parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi kecukupan proses termal adalah nilai *sterilization process equivalent time* (F_0). Nilai F_0 merupakan waktu ekuivalen proses pemanasan terhadap suhu standar 121,1°C yang digunakan untuk menunjukkan total efek letalitas selama proses sterilisasi. Nilai F_0 yang memadai menunjukkan bahwa proses sterilisasi telah mampu menginaktivasi mikroorganisme target hingga batas aman. Sterilisasi komersial umumnya mensyaratkan nilai F_0 minimal 3 menit berdasarkan ketahanan spora *Clostridium botulinum* (BPOM Nomor 27 Tahun 2021).

2.6.2. Distribusi Panas dan Titik Terdingin *Retort Pouch*

Keberhasilan proses sterilisasi pada produk pangan dalam kemasan *retort pouch* dipengaruhi oleh distribusi panas selama proses pemanasan berlangsung. Distribusi panas yang tidak merata dapat menyebabkan terdapat bagian produk yang belum menerima panas secara optimal sehingga berisiko masih mengandung mikroorganisme yang mampu bertahan hidup (Praharastini *et al.*, 2019). Menurut Nurhikmat *et al.* (2016) bahwa kecukupan proses termal tergantung pada beberapa faktor seperti ukuran *retort pouch* dan keadaan isinya, jenis bahan, pH bahan, suhu awal bahan, serta sumber panas. Oleh karena itu, proses perpindahan panas pada produk pangan perlu diperhatikan untuk memastikan seluruh bagian produk mencapai suhu sterilisasi yang ditentukan.

Pada kemasan *retort pouch*, bagian produk yang menerima panas paling lambat dikenal sebagai titik terdingin (*cold point*) (Praharastini *et al.*, 2019). Titik ini menjadi bagian paling kritis dalam proses sterilisasi karena digunakan sebagai acuan dalam menentukan kecukupan panas produk. Penentuan titik terdingin dipengaruhi oleh bentuk kemasan, ukuran kemasan, jenis produk, serta mekanisme perpindahan panas selama proses sterilisasi (Azhari *et al.*, 2023). Pada kemasan *retort pouch* berbentuk *standing pouch*, titik terdingin umumnya berada pada bagian tengah produk di dalam kemasan. Penentuan titik terdingin pada kemasan *retort pouch* berbentuk *standing pouch* pada bagian samping dilakukan berdasarkan perhitungan titik berat segitiga sama kaki. Menurut Mulyati (2010), titik berat segitiga sama kaki dihitung menggunakan persamaan $X = \frac{1}{2} b$ dan $Y = \frac{1}{3} h$.



Ilustrasi 4. Contoh Penentuan Titik Terdingin *Retort Pouch* Ukuran 20 x 13 cm Berbentuk *Standing Pouch*

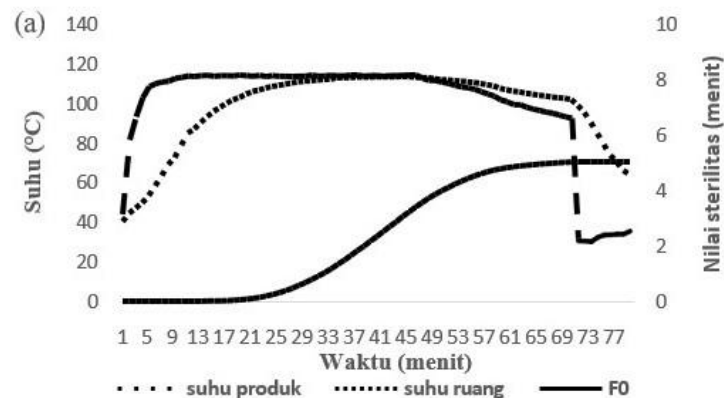
Prastowo (2019)

Berdasarkan Ilustrasi 2, hasil perhitungan diperoleh posisi titik terdingin sebesar 2,5 cm pada sumbu X dan 3,25 cm pada sumbu Y. Sementara itu, penentuan titik terdingin pada bagian depan kemasan dilakukan dengan membagi dua lebar persegi panjang kemasan sehingga diperoleh titik terdingin pada sumbu X sebesar 6,5 cm dan pada sumbu Y sebesar 3,25 cm. Titik tersebut digunakan sebagai lokasi pemasangan termokopel untuk mengukur perubahan suhu selama proses sterilisasi berlangsung. Pengukuran distribusi panas selama proses sterilisasi umumnya dilakukan menggunakan termokopel yang dipasang pada titik terdingin produk dan dihubungkan dengan *data logger* (Azhari *et al.*, 2023). Data perubahan suhu yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung nilai *lethal rate* dan nilai kecukupan panas (F_0) selama proses sterilisasi berlangsung (Azhari *et al.*, 2023).

2.6.3. Kurva Nilai Sterilitas

Kurva nilai sterilitas digunakan untuk menggambarkan perubahan suhu produk dan akumulasi efek letalitas selama proses sterilisasi berlangsung (Praharastini *et al.*, 2019). Kurva tersebut diperoleh berdasarkan hasil pengukuran suhu *retort* dan suhu produk pada titik terdingin menggunakan termokopel selama proses pemanasan (Praharastini *et al.*, 2019). Data perubahan suhu kemudian digunakan untuk menghitung nilai *lethal rate* dan nilai sterilitas (F_0) sehingga dapat diketahui kecukupan proses termal pada produk pangan. Pada proses sterilisasi menggunakan *retort*, suhu *retort* akan meningkat terlebih dahulu hingga mencapai suhu sterilisasi yang ditentukan, kemudian diikuti dengan peningkatan suhu produk secara bertahap. Bagian titik terdingin produk membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai suhu sterilisasi karena perpindahan panas berlangsung dari bagian

luar menuju bagian tengah produk. Setelah suhu target tercapai, proses pemanasan dipertahankan selama waktu tertentu untuk memastikan mikroorganisme target telah diinaktivasi secara optimal.



Ilustrasi 5. Contoh Kurva Nilai Sterilitas

Prastowo (2019)

Berdasarkan Ilustrasi 3, hasil pengukuran nilai sterilitas ikan lele asap bumbu sambal goreng selama 20 menit pada suhu 121°C, suhu awal *retort* sebesar 44,3°C dan membutuhkan waktu sekitar 14 menit untuk mencapai suhu sterilisasi. Sementara itu, suhu awal produk sebesar 40°C dan membutuhkan waktu sekitar 29 menit untuk mencapai suhu sterilisasi pada bagian titik terdingin produk. Perbedaan waktu peningkatan suhu tersebut menunjukkan bahwa perpindahan panas menuju bagian tengah produk berlangsung secara bertahap hingga seluruh bagian produk mencapai suhu sterilisasi yang ditentukan. Penelitian Prastowo (2019) menunjukkan bahwa proses sterilisasi pada suhu 121°C selama 20 menit menghasilkan nilai sterilitas (F_0) sebesar 5,04 menit. Nilai tersebut telah memenuhi standar sterilisasi komersial berdasarkan BPOM yang mensyaratkan nilai F_0 minimal 3 menit terhadap spora *Clostridium botulinum*.

2.7. Metode Pendugaan Umur Simpan

Produk yang telah mengalami proses sterilisasi masih dapat mengalami perubahan mutu selama penyimpanan, sehingga diperlukan kajian umur simpan untuk mengetahui stabilitas mutu produk selama penyimpanan. Umur simpan (*shelf life*) merupakan periode waktu yang menunjukkan terjadinya penurunan mutu suatu produk pangan akibat pengaruh kondisi dan lama penyimpanan (Asiah *et al.*, 2018). Penentuan umur simpan dihitung sejak produk selesai diproses hingga tidak lagi dapat diterima oleh konsumen. Umur simpan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kadar air, suhu, dan kelembapan lingkungan penyimpanan. Menurut Mawardi *et al.* (2016) penurunan mutu produk pangan juga dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal, seperti paparan oksigen, uap air, cahaya, aktivitas mikroorganisme, tekanan mekanis, serta adanya bahan kimia toksik. Perubahan mutu produk dapat diamati melalui parameter fisik, kimia, maupun tingkat penerimaan konsumen. Oleh karena itu, pencantuman informasi umur simpan pada kemasan menjadi aspek yang sangat penting karena berkaitan dengan keamanan dan jaminan mutu produk sampai ke tangan konsumen. Selain itu, informasi tersebut juga memengaruhi keputusan konsumen dalam membeli produk.

Secara umum, informasi masa simpan yang tertera pada kemasan dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *expired date* dan *best before* (Asiah *et al.*, 2018). *Expired date* berkaitan dengan aspek keamanan pangan, di mana produk yang telah melewati batas tersebut berpotensi menghasilkan senyawa toksik yang berbahaya apabila dikonsumsi (Asiah *et al.*, 2018). Sementara itu, *best before* menunjukkan batas waktu produk masih layak dikonsumsi meskipun telah terjadi penurunan

kualitas (Al Umar *et al.*, 2021). Pendugaan umur simpan produk pangan dapat dilakukan dengan berbagai metode. Secara umum, terdapat dua pendekatan yang digunakan, yaitu *Extended Storage Studies* (ESS) dan *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT). Metode ESS merupakan metode yang dilakukan dengan cara menyimpan produk pada kondisi penyimpanan normal dan mengamati penurunan mutu secara berkala hingga produk mencapai kerusakan maksimal (Sitanggang *et al.*, 2020). Metode ini mampu menggambarkan kondisi penyimpanan aktual, namun membutuhkan waktu yang sangat lama sehingga kurang efisien untuk diterapkan pada pengembangan produk atau pengambilan keputusan industri. Metode ASLT dinilai lebih efisien dan memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi dibandingkan metode ESS, yang memerlukan waktu pengujian lebih lama (Cahyo *et al.*, 2016). Metode ASLT merupakan teknik penentuan umur simpan dengan cara mempercepat laju penurunan mutu produk melalui perlakuan tertentu pada parameter kritis (Aulia *et al.*, 2020). Pendekatan ini umumnya menggunakan prinsip kinetika reaksi yang dianalisis dengan persamaan Arrhenius.

Model Arrhenius dapat diterapkan pada reaksi orde nol, orde satu maupun orde dua dalam sistem pangan, dan banyak digunakan untuk memprediksi perubahan mutu akibat kerusakan kimiawi (Nuraini dan Widanti, 2020). Kerusakan tersebut meliputi oksidasi lemak, reaksi *maillard*, serta denaturasi protein yang dapat memengaruhi karakteristik sensori seperti rasa, tekstur, dan warna produk. Dalam penerapannya, metode ASLT dengan model Arrhenius memanfaatkan kondisi penyimpanan ekstrem, seperti suhu dan kelembapan yang lebih tinggi dari kondisi normal, untuk mempercepat terjadinya kerusakan (Arif, 2016).

Penyimpanan pada kondisi tersebut menyebabkan produk lebih cepat mengalami penurunan mutu, sehingga estimasi umur simpan dapat dilakukan dalam waktu yang lebih singkat. Umumnya, metode ini menggunakan tiga variasi suhu penyimpanan untuk memprediksi umur simpan produk (Puspitasari *et al.*, 2020). Suhu menjadi faktor utama yang memengaruhi laju kerusakan, karena peningkatan suhu akan mempercepat reaksi kimia yang terjadi dalam produk pangan (Arif, 2016).

2.8. Parameter Penelitian

Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi kadar air, kadar protein, nilai pH, TBARS, dan *Total Plate Count*. Kelima parameter tersebut dipilih sebagai indikator utama dalam mengevaluasi perubahan mutu produk selama penyimpanan, yang selanjutnya diuraikan secara rinci sebagai berikut.

2.8.1. Kadar Air

Kadar air merupakan jumlah air yang terkandung dalam suatu bahan pangan (Nugraha, 2024). Dalam bahan pangan, air terbagi menjadi dua bentuk, yaitu air bebas dan air terikat. Air bebas adalah air yang berada di dalam bahan pangan dan mudah berinteraksi, sedangkan air terikat terdapat pada struktur matriks seperti kapiler, membran, dan serat (Azis dan Akolo, 2019). Kandungan air dalam bahan pangan sangat berpengaruh terhadap karakteristik fisik, cita rasa, tekstur, serta kualitas produk secara keseluruhan. Berdasarkan penelitian Hutapea *et al.* (2021), keberadaan air dalam bahan pangan dapat memicu terjadinya ketengikan karena mendukung pertumbuhan mikroorganisme yang menghasilkan enzim untuk

menghidrolisis lemak. Secara alami, ikan termasuk bahan pangan dengan kadar air yang tinggi. Menurut Setiawan (2016), kadar air pada ikan manyung mencapai sekitar 70,1%.

Pengendalian kadar air pada produk olahan berbasis ikan menjadi sangat penting untuk menjaga kestabilan mutu. Standar Nasional Indonesia (SNI 4865:2018) menetapkan bahwa batas maksimum kadar air pada produk sambal adalah sebesar 80%. Peningkatan kadar air selama penyimpanan sering digunakan sebagai indikator terjadinya penurunan mutu produk. Hal ini dapat disebabkan oleh reaksi oksidasi lemak yang menghasilkan senyawa hidroperoksida, yang selanjutnya mengalami degradasi dan melepaskan molekul air sehingga meningkatkan kadar air produk (Sarungallo *et al.*, 2018). Selain itu, proses degradasi protein menjadi senyawa basa organik juga dapat memengaruhi distribusi air dalam matriks pangan, sehingga meningkatkan fraksi air bebas. Dengan demikian, kadar air menjadi salah satu parameter penting dalam mengevaluasi kemunduran mutu produk selama penyimpanan.

2.8.2. Kadar Protein

Protein merupakan komponen gizi yang tersusun atas rantai panjang asam amino yang saling terikat melalui ikatan peptida, serta mengandung unsur karbon, hidrogen, oksigen, dan nitrogen (Fratama *et al.*, 2024). Protein memiliki peranan penting dalam tubuh, tidak hanya sebagai sumber energi, tetapi juga sebagai zat pembangun dan pengatur berbagai fungsi fisiologis (Harmayani dan Fajri, 2021). Ikan dikenal sebagai salah satu sumber protein hewani yang berkualitas tinggi dan

mudah dicerna oleh tubuh manusia. Kandungan gizi ikan secara umum terdiri atas air sebesar 66–84%, protein sekitar 15–24%, lemak berkisar 0,1–22%, serta abu sekitar 0,8–2% (Chandravanshi *et al.*, 2019). Oleh karena itu, ikan berperan penting dalam memenuhi kebutuhan energi dan zat gizi untuk mendukung aktivitas sehari-hari. Kekurangan asupan protein dapat berdampak negatif terhadap kesehatan, termasuk meningkatkan risiko berbagai penyakit seperti penyakit menular, kardiovaskular, diabetes, dan kanker yang menjadi penyebab utama kematian di Indonesia (Utami *et al.*, 2020).

Dalam proses pengolahan, khususnya sterilisasi, protein dapat mengalami berbagai perubahan akibat perlakuan panas. Pemanasan dapat memicu reaksi seperti denaturasi protein, inaktivasi enzim, perubahan kelarutan dan kemampuan hidrasi, perubahan warna, derivatisasi residu asam amino, pembentukan ikatan silang (*cross-linking*), pemutusan ikatan peptida, hingga terbentuknya senyawa yang memengaruhi sifat sensori produk (Mutma'innah *et al.*, 2022). Perubahan-perubahan tersebut dapat memengaruhi kualitas protein dalam bahan pangan, sehingga perlu diperhatikan dalam proses pengolahan. Oleh karena itu, kadar protein menjadi salah satu parameter penting dalam mengevaluasi perubahan mutu produk selama penyimpanan.

2.8.3. Nilai pH

pH merupakan ukuran derajat keasaman atau kebasaan suatu larutan yang dinyatakan dalam skala 0 hingga 14 (Harvyandha *et al.*, 2019). Nilai pH kurang dari 7 menunjukkan sifat asam, pH lebih dari 7 bersifat basa, sedangkan pH sama

dengan 7 bersifat netral (Harvyandha *et al.*, 2019). Perubahan nilai pH pada produk pangan dapat dipengaruhi oleh berbagai reaksi kimia selama penyimpanan. Menurut Pachira *et al.* (2021) penurunan pH umumnya disebabkan oleh degradasi protein yang menghasilkan asam amino bebas, serta pemecahan karbohidrat dan lipid. Selama penyimpanan, nilai pH cenderung mengalami penurunan, namun ketika produk mulai mengalami pembusukan, pH dapat kembali meningkat (Triyannanto *et al.*, 2020). Peningkatan pH menunjukkan terjadinya kerusakan produk akibat penguraian protein oleh enzim proteolitik dan aktivitas mikroorganisme yang menghasilkan senyawa basa volatil, seperti amonia dan senyawa amin (Kaban *et al.*, 2019). Peningkatan pH dapat mendukung pertumbuhan mikroorganisme karena setiap kelompok mikroorganisme memiliki kisaran pH optimum untuk pertumbuhannya. Secara umum, bakteri tumbuh optimal pada pH 6–8, ragi pada pH 4,5–6, dan kapang pada pH 3,5–4 (Asiah *et al.*, 2018).

Pada kondisi pH rendah, pertumbuhan sebagian besar bakteri cenderung terhambat, sehingga dapat berkontribusi dalam memperpanjang umur simpan produk pangan (Suhaemi *et al.*, 2018). Produk pangan yang diproses menggunakan sterilisasi komersial dalam kemasan *retort pouch* umumnya memiliki nilai pH berkisar antara 6,17–6,67 (Murda *et al.*, 2016). Kisaran pH tersebut menunjukkan bahwa produk tergolong sebagai pangan berasam rendah (*low acid food*). Oleh karena itu, penerapan proses sterilisasi komersial menjadi sangat penting untuk menjamin keamanan produk selama penyimpanan. Hal ini berkaitan dengan bakteri target pada proses sterilisasi, yaitu *Clostridium botulinum*, yang diketahui masih dapat tumbuh dan menghasilkan toksin pada kondisi pH di atas 4,6, sedangkan

pertumbuhannya akan terhambat pada pH 8,9 atau lebih tinggi (Imelda *et al.*, 2023). Dengan demikian, perubahan nilai pH dapat digunakan sebagai salah satu parameter penting dalam mengevaluasi kemunduran mutu produk pangan selama penyimpanan.

2.8.4. Oksidasi Lemak

Oksidasi merupakan reaksi kimia antara lemak tidak jenuh dengan oksigen yang dapat dipercepat oleh faktor eksternal seperti suhu tinggi, cahaya, dan keberadaan logam (Arifin, 2021). Kerusakan pada produk pangan yang mengandung lemak umumnya ditandai dengan munculnya aroma tengik sebagai akibat dari reaksi oksidasi lemak selama penyimpanan (Yuwono *et al.*, 2023). Tingkat ketengikan tersebut dapat diukur menggunakan *Thiobarbituric Acid Reactive Substances* (TBARS), yaitu metode yang digunakan untuk mendeteksi senyawa hasil oksidasi lemak, terutama malonaldehid sebagai produk sekunder dari degradasi hidroperoksida lipid (Laila *et al.*, 2021). Malonaldehid merupakan senyawa reaktif yang terbentuk secara alami dan sering digunakan sebagai indikator terjadinya oksidasi lemak (Yuwono *et al.*, 2023). Keberadaan lipid teroksidasi dalam bahan pangan akan meningkatkan jumlah senyawa reaktif terhadap asam tiobarbiturat dalam jaringan dan sistem biologis (Papastergiadis *et al.*, 2012). Menurut Arguelo *et al.* (2016), semakin rendah nilai TBARS, maka kualitas produk pangan yang dihasilkan semakin baik. Nilai TBARS dipengaruhi oleh lama penyimpanan, di mana semakin lama penyimpanan, reaksi oksidasi lemak akan semakin meningkat sehingga menyebabkan kenaikan nilai TBARS.

Proses oksidasi ini dapat dikendalikan dengan mengurangi konsentrasi oksigen di dalam kemasan, karena semakin rendah kandungan oksigen, laju ketengikan akibat oksidasi lemak akan semakin lambat (Johnson *et al.*, 2018). Menurut FDA (*Food and Drug Administration*) US dalam Kurade dan Baranowski (1987), batas maksimum nilai TBARS pada produk pangan adalah 1,286 mg MDA/kg bahan. Pengujian TBARS dilakukan dengan mereaksikan sampel dengan reagen asam tiobarbiturat sehingga terbentuk kompleks kromogen berwarna merah muda, yang kemudian diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang sekitar 528–532 nm (Papastergiadis *et al.*, 2012). Intensitas warna yang dihasilkan sebanding dengan konsentrasi malonaldehid, sehingga semakin tinggi nilai TBARS menunjukkan tingkat oksidasi lemak yang semakin besar dan kualitas produk yang semakin menurun (Mutma'innah *et al.*, 2022). Secara prinsip, metode TBARS mengukur senyawa aldehid yang terbentuk sebagai produk sekunder dari degradasi hidroperoksida lemak akibat proses oksidasi lemak selama penyimpanan, sehingga dapat digunakan sebagai indikator penting dalam mengevaluasi kemunduran mutu produk pangan.

2.8.5. Total Plate Count

Mikroorganisme dapat tumbuh optimal pada bahan pangan yang memiliki kondisi lingkungan lembap, hangat, kurang higienis, serta kaya akan zat gizi. Keberadaan mikroorganisme dapat memengaruhi umur simpan dan berpotensi membahayakan kesehatan apabila produk tersebut dikonsumsi. *Total Plate Count* pada dasarnya tidak selalu berkaitan langsung dengan keamanan pangan, namun parameter ini sering digunakan sebagai indikator kualitas, masa simpan, tingkat

kontaminasi, serta kondisi higienitas selama proses produksi (SNI 7388, 2009). *Total Plate Count* merupakan jumlah mikroorganisme aerob mesofilik yang terdapat dalam satuan gram atau mililiter sampel (Khatimah *et al.*, 2025). Keberhasilan proses sterilisasi dan kemampuan kemasan dalam mempertahankan kondisi produk dapat dievaluasi melalui parameter TPC. Bertambahnya jumlah mikroorganisme selama masa penyimpanan menunjukkan kemungkinan terjadinya kerusakan pada kemasan atau masuknya kontaminan setelah proses pengolahan selesai dilakukan (Arifin *et al.*, 2024). Pengujian ini dilakukan menggunakan media padat, sehingga mikroorganisme yang tumbuh akan membentuk koloni yang dapat diamati secara visual.

Prinsip metode TPC adalah menumbuhkan sel mikroorganisme hidup pada media agar yang mengandung nutrisi, sehingga mikroba dapat berkembang dan membentuk koloni yang dapat dilihat tanpa bantuan mikroskop serta dihitung jumlahnya (Pratiwi *et al.*, 2019). Salah satu metode yang umum digunakan adalah *pour plate* (metode tuang), yaitu dengan memasukkan hasil pengenceran ke dalam cawan petri kemudian ditambahkan media agar. Pertumbuhan mikroorganisme pembusuk dapat menyebabkan perubahan fisik dan kimia pada produk pangan yang tidak diinginkan, khususnya pada produk olahan berbasis ikan seperti sambal ikan manyung asap (Afriani *et al.*, 2017). Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan mikroorganisme sangat berpengaruh terhadap mutu dan keamanan produk, sehingga jumlahnya perlu dikendalikan agar sesuai dengan standar yang ditetapkan. Batas maksimum nilai TPC pada sambal ikan mengacu pada SNI 9106:2022, yaitu sebesar 1×10^4 CFU/g.

BAB III

MATERI DAN METODE

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2025 hingga Januari 2026 di Laboratorium Pusat Penelitian Ternak Tropik serta Laboratorium Ilmu dan Teknologi Daging, Fakultas Peternakan, Universitas Gadjah Mada. Materi dan metode yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan sebagai berikut.

3.2. Materi Penelitian

Bahan yang digunakan dalam pembuatan sambal ikan manyung asap meliputi ikan manyung asap yang diperoleh dari Pasar Ikan Asap Indah, Desa Wonosari, Kecamatan Bonang, Kabupaten Demak. Bumbu sambal yang diperoleh dari PT XYZ, terdiri dari cabai keriting, cabai rawit, bawang merah, bawang putih, minyak, gula pasir, kaldu jamur, garam, lengkuas, serai, daun kemangi, daun jeruk, dan gula jawa cair. Kemasan yang digunakan berupa *retort pouch* berbentuk *standing pouch* yang dibeli dari *Coffee Supplies* (KPack) dengan struktur lapisan PET (*polyethylene terephthalate*), ALU (aluminium), ONY (*oriented nylon*), dan CPP (*cast polypropylene*) dengan ketebalan 105 μm serta ukuran 20 cm $\times$ 13 cm. Bahan yang digunakan untuk pengujian parameter meliputi media PCA (*Plate Count Agar*), NaCl fisiologis, alkohol, akuades, TCA (*trichloroacetic acid*), metanol, BHT (*butylated hydroxytoluene*), EDTA (*ethylenediaminetetraacetic acid*), asam asetat glasial, dan TBA (*thiobarbituric acid*).

Alat yang digunakan dalam pembuatan dan pengemasan sambal ikan manyung asap meliputi wajan, spatula, *chopper*, kompor, timbangan, sendok, pisau, talenan, baskom, serta *solid ink coding continuous band sealer* FRM-1370AL/M (Wirapax, China), dan *single chamber vacuum packaging* DZ-500/2E (Wirapax, China). Alat yang digunakan dalam proses sterilisasi adalah alat *retort* yang tersedia di Laboratorium Pusat Penelitian Ternak Tropik, Fakultas Peternakan, Universitas Gadjah Mada.

Alat yang digunakan untuk pengujian parameter meliputi spatula stainless, gelas beker (Pyrex, Jerman), gelas ukur, corong kaca, pipet ukur, *magnetic stirrer*, *LED magnetic hotplate stirrer* MS7-H550-S (DLAB, China), *conical tube*, *microplate* (Iwaki, Jepang), cawan petri *disposable*, *blue tip*, *yellow tip*, kertas saring, mikropipet (Joanlab, China), botol semprot, tisu, kain kasa, karet gelang, kapas, tabung reaksi (Herma, Indonesia), *centrifuge tube stand*, timbangan analitik (Mettler Toledo, Swiss), *centrifuge* 5804 R (Eppendorf, Jerman), *water bath* (PrioLab, Indonesia), *Multiskan SkyHigh microplate spectrophotometer* (Thermo Scientific, Finlandia), aluminium foil, plastik *wrap*, plastik klip, plastik kiloan, pH meter (Mettler Toledo, Swiss), oven, autoklaf TOMY SX-500 (Tomy, Jepang), *infrared sterilizer* DS900 (Joanlab, China), rak tabung reaksi, lemari asam (Robust, Indonesia), *vortex mixer* MX-S (DLAB, China), *1300 Series A2 Biological Safety Cabinet* (Thermo Scientific, Finlandia), *laboratory refrigerator*, *FoodScan™* 78810 (FOSS, Denmark), dan inkubator CO₂ Binder BD 260 (Binder, Jerman).

3.3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan terdiri dari rancangan penelitian, prosedur penelitian, pengujian parameter, dan analisis data. Parameter yang diuji yaitu kadar air, kadar protein, nilai pH, nilai TBARS dan *Total Plate Count*.

3.4. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini dilakukan dengan membuat sambal ikan manyung asap sesuai dengan formulasi lalu produk dikemas menggunakan kemasan *retort pouch* dengan perlakuan vakum dan non vakum. Berat bersih setiap kemasan sebesar 185 gram. Setelah proses pengemasan, produk kemudian disterilisasi menggunakan alat *retort*. Setelah proses sterilisasi, produk disimpan pada tiga kondisi suhu, yaitu 30°C, 40°C, dan 50°C. Penyimpanan dilakukan selama 28 hari dengan pengujian setiap tujuh hari, yaitu pada hari ke-0, 7, 14, 21, dan 28. Parameter mutu yang dianalisis meliputi kadar air, kadar protein, nilai pH, nilai TBARS, dan *Total Plate Count*. Pengujian pada hari ke-0 (H_0) hanya dilakukan pada 8 sampel karena belum mendapatkan perlakuan penyimpanan pada ketiga suhu. Setiap perlakuan dilakukan dengan 4 ulangan sehingga diperoleh total 104 unit percobaan. Selanjutnya, dilakukan pengolahan data berupa penetapan mutu awal dan batas mutu akhir produk, penetapan orde reaksi nol, satu atau dua melalui kurva berdasarkan nilai R^2 tetinggi dan pemilihan parameter kritis untuk menghitung umur simpan sambal ikan manyung asap kemasan *retort pouch* menggunakan rumus Arrhenius.

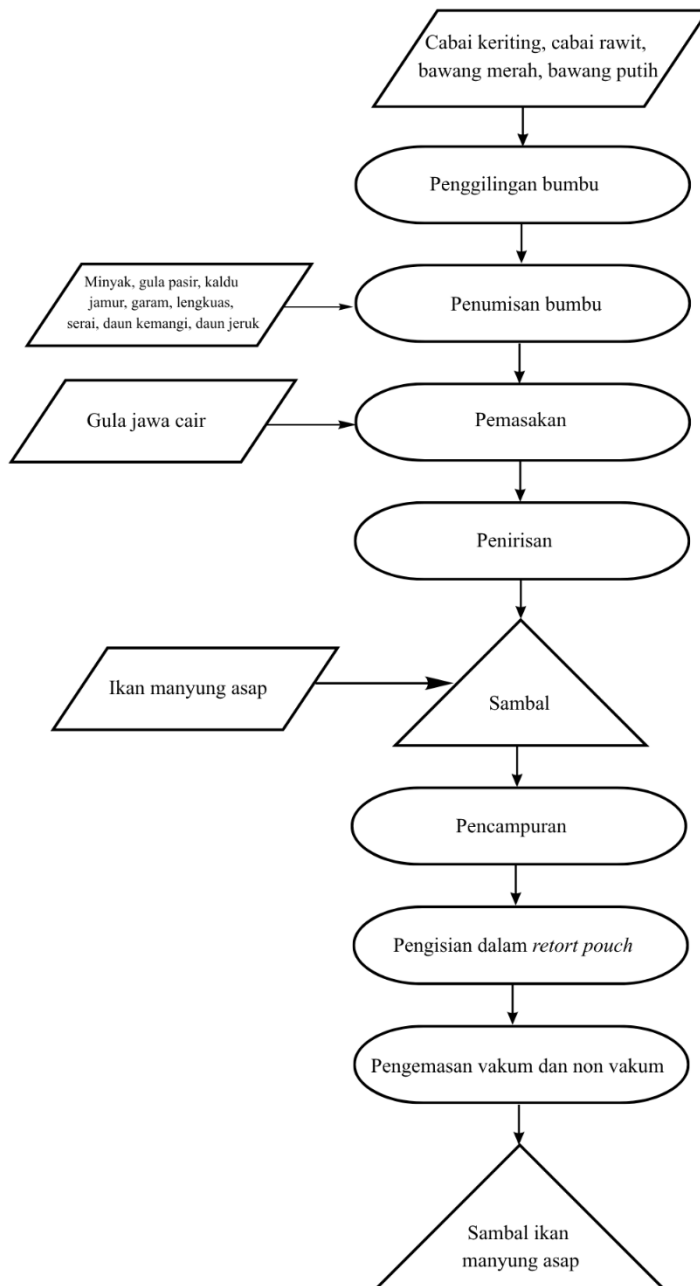
3.5. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian terdiri dari pembuatan sambal ikan manyung asap, pengemasan produk, proses sterilisasi, dan penyimpanan produk.

3.5.1. Pembuatan Sambal Ikan Manyung Asap

Proses pembuatan sambal ikan manyung asap diawali dengan persiapan bahan baku berupa ikan manyung asap dan bahan penyusun sambal. Selanjutnya dilakukan pembuatan sambal melalui proses penghalusan bahan, penumisan bumbu, serta pemasakan hingga diperoleh sambal yang homogen dan matang. Sambal yang telah matang kemudian dicampurkan dengan ikan manyung asap dan dikemas menggunakan kemasan *retort pouch* berbentuk *standing pouch* dengan komposisi 100 g ikan manyung asap dan 85 g sambal per kemasan.

Produk yang telah dikemas selanjutnya diberikan dua perlakuan pengemasan, yaitu vakum dan non vakum. Pengemasan vakum dilakukan menggunakan vacuum sealer dengan waktu vakum selama 40 detik, waktu *sealing* selama 5 detik dan tekanan $-0,1$ MPa, sedangkan pengemasan non vakum dilakukan menggunakan continuous band sealer dengan suhu $220-225^{\circ}\text{C}$ dan waktu *sealing* selama 10 detik. Setelah proses pengemasan selesai, produk disterilisasi menggunakan *retort* pada suhu 121°C selama 20 menit dengan tekanan $1,8\text{ kg/cm}^2$ untuk memperoleh produk yang steril secara komersial. Diagram alir pembuatan sambal ikan manyung asap disajikan pada Ilustrasi 6.



Ilustrasi 6. Proses Pembuatan Sambal Ikan Manyung Asap

3.5.2. Proses Sterilisasi

Setelah proses pengemasan, produk kemudian disterilisasi menggunakan alat *retort*. Proses sterilisasi sambal ikan manyung asap mengacu pada penelitian

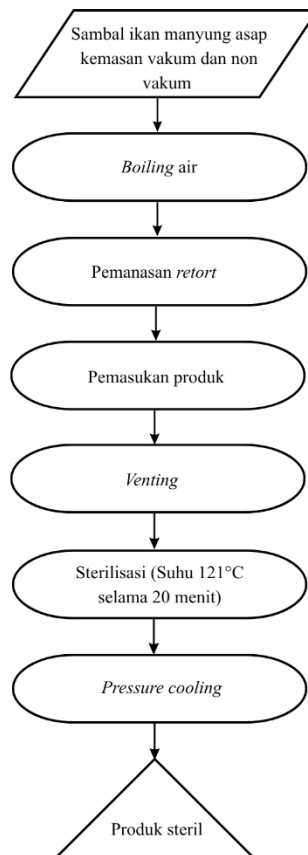
sebelumnya oleh Prastowo (2019) yang menggunakan produk ikan lele asap bumbu sambal goreng dalam kemasan *retort pouch*. Pemilihan acuan tersebut didasarkan pada kesamaan karakteristik produk dan kemasan, yaitu produk olahan ikan dalam medium bumbu sambal yang dikemas menggunakan *retort pouch*. Berdasarkan penelitian Prastowo (2019), proses sterilisasi pada suhu 121°C selama 20 menit dengan tekanan 1,3 kg/cm² menghasilkan nilai kecukupan panas (F_0) sebesar 5,04 menit. Nilai tersebut telah memenuhi standar Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM), yang mensyaratkan bahwa produk pangan steril komersial harus memiliki nilai F_0 minimal 3 menit, dihitung terhadap spora *Clostridium botulinum*.

Tahapan proses sterilisasi menggunakan *retort* dilakukan berdasarkan panduan operasional alat di laboratorium dengan beberapa penyesuaian. Proses ini terdiri atas enam tahapan, yaitu *boiling air*, pemanasan *retort*, pemasukan produk, *venting*, sterilisasi, dan *pressure cooling*. Tahap pertama adalah *boiling air*, yaitu pengisian air ke dalam ketel melalui corong. Untuk mempermudah aliran air, kran output uap dibuka, kemudian volume air dipantau melalui gelas ukur di bagian samping. Setelah volume mencukupi, kran ditutup dan kompor dinyalakan hingga menghasilkan api berwarna biru. Pemanasan dilakukan hingga tekanan boiler mencapai lebih dari 4 bar dan uap keluar melalui *safety valve*.

Tahap kedua adalah pemanasan *retort* dengan memastikan tabung tertutup rapat, kemudian kran uap dan air dibuka. Uap panas dari boiler dialirkan ke dalam *retort* dengan membuka kran penghubung secara perlahan hingga suhu dalam *retort* mencapai 60–70°C. Tahap ketiga adalah pemasukan produk. Pada tahap ini, dipastikan tekanan dalam *retort* sebesar 0 kg/cm² dan kran penghubung boiler

dalam keadaan tertutup. Produk dimasukkan ke dalam *retort* dan disusun sedemikian rupa untuk memastikan distribusi panas yang merata, kemudian *retort* ditutup kembali. Tahap keempat adalah *venting*, yaitu proses pengeluaran udara dari dalam *retort*. Tahap ini dilakukan dengan membuka kran penghubung boiler dan *retort* secara perlahan, diikuti dengan membuka kran output atas hingga keluar uap putih. Selanjutnya, kran air bawah dibuka hingga air di dalam *retort* habis, kemudian seluruh kran ditutup sebagai persiapan proses sterilisasi.

Tahap kelima adalah proses sterilisasi. Uap panas dialirkan kembali hingga suhu meningkat dari 70°C menjadi 121,1°C dan tekanan mencapai 1,8 kg/cm². Suhu dipertahankan pada 121,1°C selama 20 menit sesuai dengan acuan penelitian sebelumnya. Tahap keenam adalah *pressure cooling*. Proses ini diawali dengan menutup kran penghubung *boiler* dan *retort*, kemudian udara dari kompresor dialirkan untuk menjaga tekanan tetap stabil (<2 kg/cm²). Pendinginan dilakukan hingga suhu *retort* turun di bawah 60°C, kemudian kran air bawah dibuka. Setelah suhu mencapai sekitar 40°C, pompa dimatikan dan *retort* dibuka secara perlahan. Tahapan proses sterilisasi menggunakan alat *retort* dapat dilihat pada Ilustrasi 7.



Ilustrasi 7. Tahapan Sterilisasi Menggunakan Alat *Retort*

3.5.4. Penyimpanan Produk

Produk sambal ikan manyung asap yang telah disterilisasi kemudian disimpan pada tiga kondisi suhu yang berbeda, yaitu 30°C, 40°C, dan 50°C. Penyimpanan ini bertujuan untuk mengamati kemunduran mutu produk selama penyimpanan sebagai dasar dalam penentuan umur simpan menggunakan metode ASLT.

3.6. Pengujian Parameter

Pengujian mutu awal dilakukan pada hari ke-0 (H_0), kemudian pengujian untuk mengamati perubahan mutu dilakukan pada hari ke-7, 14, 21, dan 28 selama

28 hari penyimpanan. Parameter yang dianalisis meliputi kadar air, kadar protein, nilai pH, nilai TBARS, dan *Total Plate Count* (TPC).

3.6.1. Kadar Air

Pengujian proksimat dilakukan menggunakan metode *Near Infrared Reflectance Spectroscopy* (NIRS) mengacu pada Anderson (2007) dengan beberapa penyesuaian. Analisis dilakukan menggunakan alat FoodScan™ 78810 (FOSS, Denmark). Pengujian dimulai dengan menyiapkan sampel sambal ikan manyung asap yang sudah dihaluskan dan ditimbang sebanyak 30 gram. Sampel dimasukkan ke dalam cawan atau cup sampel, kemudian diratakan hingga permukaan tertutup rapat oleh sampel. Komputer yang telah terhubung dengan alat FoodScan™ dihidupkan, lalu dipilih program *foodscan*. Konfigurasi dilakukan dengan menentukan parameter pengujian yaitu kadar air, protein, lemak, dan kolagen, kemudian panjang gelombang pada *foodscan* diatur antara 800–1400 nm. Selanjutnya cawan yang berisi sampel dimasukkan ke dalam ruang analisis *foodscan*. Proses analisis dimulai dengan memilih *tool analysis*, kemudian tekan on dan tunggu *running* selama 15 menit. Radiasi inframerah dekat akan berinteraksi dengan gugus O–H (air), C–H (lemak), dan N–H (protein), kemudian spektrum yang diperoleh diolah menggunakan model kalibrasi ANN (*Artificial Neural Network*) untuk memprediksi kadar komponen sampel secara serentak. *Foodscan* akan membaca rerata kadar komponen sampel dalam satuan persen (%). Setelah nilai rerata terbaca, sampel diberi identitas sesuai perlakuan, kemudian file pembacaan disimpan.

3.6.2. Kadar Protein

Pengujian proksimat dilakukan menggunakan metode *Near Infrared Reflectance Spectroscopy* (NIRS) mengacu pada Anderson (2007) dengan beberapa penyesuaian. Analisis dilakukan menggunakan alat FoodScan™ 78810 (FOSS, Denmark). Pengujian dimulai dengan menyiapkan sampel sambal ikan manyung asap yang sudah dihaluskan dan ditimbang sebanyak 30 gram. Sampel dimasukkan ke dalam cawan atau cup sampel, kemudian diratakan hingga permukaan tertutup rapat oleh sampel. Komputer yang telah terhubung dengan alat FoodScan™ dihidupkan, lalu dipilih program *foodscan*. Konfigurasi dilakukan dengan menentukan parameter pengujian yaitu kadar air, protein, lemak, dan kolagen, kemudian panjang gelombang pada *foodscan* diatur antara 800–1400 nm. Selanjutnya cawan yang berisi sampel dimasukkan ke dalam ruang analisis *foodscan*. Proses analisis dimulai dengan memilih *tool analysis*, kemudian tekan on dan tunggu *running* selama 15 menit. Radiasi inframerah dekat akan berinteraksi dengan gugus O–H (air), C–H (lemak), dan N–H (protein), kemudian spektrum yang diperoleh diolah menggunakan model kalibrasi ANN (*Artificial Neural Network*) untuk memprediksi kadar komponen sampel secara serentak. *Foodscan* akan membaca rerata kadar komponen sampel dalam satuan persen (%). Setelah nilai rerata terbaca, sampel diberi identitas sesuai perlakuan, kemudian file pembacaan disimpan.

3.6.3. Nilai pH

Metode pengujian pH mengacu pada Sorapukdee *et al.* (2019). pH meter terlebih dahulu dikalibrasi menggunakan larutan buffer pH 4 dan 7. Sampel ditimbang sebanyak 2 gram dan dihomogenkan dengan 20 mL akuades. Probe pH meter dibilas dengan akuades, dikeringkan dengan tisu lalu dicelupkan ke dalam sampel. Pengukuran dilakukan dengan menekan tombol “*Ready*”, kemudian probe didiamkan dalam sampel hingga alat berbunyi dan nilai pH stabil. Setiap sampel diukur sebanyak tiga kali ulangan. Sebelum digunakan pada sampel berikutnya, probe dibersihkan kembali menggunakan akuades. Selama tidak digunakan, probe pH meter harus selalu tercelup dalam larutan penyimpanan untuk menjaga membran kaca elektroda tetap terhidrasi (basah).

3.6.4. Oksidasi Lemak

Pengujian oksidasi lemak menggunakan metode TBARS yang mengacu pada Papastergiadis *et al.* (2012) dengan beberapa modifikasi. Pengujian diawali dengan pembuatan larutan ekstraksi dan larutan TBA. Larutan ekstraksi dibuat dengan melarutkan beberapa reagen selama 30 menit menggunakan *hot plate*. TCA sebanyak 7,5% (3 gram) dilarutkan dengan 30 mL akuades selama 5 menit pertama, pada suhu 30°C, kecepatan 800 rpm, kemudian ditambahkan EDTA 0,1% (40 mg). Setelah 15 menit berikutnya ditambahkan BHT 0,1% (40 mg) yang sudah dilarutkan dengan metanol (metanol ditambahkan sampai BHT larut). Pemanasan dilanjutkan hingga 25 menit, kemudian dihentikan dan ditambahkan aquades hingga volume

larutan ekstraksi mencapai 40 mL. Larutan kemudian dipanaskan kembali hingga total waktu 30 menit, lalu disaring menggunakan kertas saring.

Larutan TBA dibuat dengan melarutkan 33,2 mg dengan asam asetat glasial 5 mL (46 mM TBA dalam asam asetat glasial 99%) menggunakan *hot plate* selama 30 menit dengan suhu 60°C, kecepatan 1000 rpm. Setelah pembuatan larutan ekstraksi dan TBA, sebanyak 7 gram sampel dimasukkan dalam tabung *falcon* 50 mL, ditambahkan larutan ekstraksi sebanyak 30 mL kemudian disentrifugasi selama 20 menit dengan suhu 26°C, kecepatan 10.000 rpm untuk memisahkan antara supernatan dan presipitat. Setelah itu, sebanyak 2,5 mL larutan TBA dan 2,5 mL supernatan dicampurkan dalam tabung reaksi dan dipanaskan dalam *waterbath* dengan suhu 90°C selama 40 menit. Campuran didinginkan, lalu dipindahkan ke *microplate* sebanyak 0,1 mL menggunakan mikropipet. Absorbansi diukur dengan panjang gelombang 528 nm menggunakan *microplate spectrophotometer*. Menurut Amdani *et al.* (2024) penentuan bilangan asam thiobarbiturat dihitung dan dinyatakan dalam mg MDA/kg sampel dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Angka TBA} = \frac{3 \times A \times 7,8}{\text{Berat sampel (g)}}$$

Keterangan:

A = nilai absorbansi pada 528 nm

7,8 = bilangan TBA mg MDA/kg sampel

3 = bilangan iod (derajat ketidakjenuhan minyak/lemak)

3.6.5. Pengujian *Total Plate Count*

Pengujian *Total Plate Count* dilakukan berdasarkan Haurissa *et al.* (2024) dengan beberapa penyesuaian. Pengujian ini meliputi tiga tahap utama, yaitu preparasi, pengenceran, dan inkubasi. Tahap preparasi dimulai dengan menyiapkan media dan peralatan. Media *Plate Count Agar* (PCA) dan larutan NaCl fisiologis 0,9% dimasukkan ke dalam tabung reaksi masing-masing 9 mL sesuai jumlah pengenceran yang dibutuhkan. Peralatan seperti spatula *stainless* dan *blue tip* disterilisasi secara basah menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit. Tahap pengenceran dan isolasi dilakukan dalam *biological safety cabinet* (BSC). Sebelum pengenceran, BSC dinyalakan dan peralatan yang tidak bisa disterilisasi basah, seperti cawan petri *disposable*, rak tabung reaksi, label, mikropipet, plastik *wrap*, *vortex*, dan gunting, disterilisasi dengan lampu UV selama 30 menit. Setelah 30 menit, lampu UV dimatikan, jendela BSC dibuka setengah hingga batas aman, lampu penerangan dinyalakan, dan *infrared sterilizer* diaktifkan.

Tahap pengenceran sampel dilakukan secara aseptis. Sebanyak 1 gram sampel sambal ikan manyung asap dimasukkan ke dalam tabung yang berisi 9 mL larutan pengencer untuk menghasilkan pengenceran 10^{-1} , kemudian dihomogenkan dengan *vortex*. Selanjutnya, 1 mL dari tabung 10^{-1} dipindahkan ke tabung 10^{-2} yang berisi 9 mL larutan pengencer, dihomogenkan, dan prosedur ini diulang hingga pengenceran 10^{-4} tercapai. Tahap pencawanan menggunakan metode *pour plate* dilakukan secara duplo dengan mengambil pengenceran 10^{-3} dan 10^{-4} . Sampel dituang ke dalam cawan petri, ditambahkan media PCA, lalu diinkubasi secara

terbalik pada suhu 37°C selama 24 jam. Setelah inkubasi, koloni mikroba yang tumbuh diamati dan dihitung untuk menentukan jumlah *Total Plate Count*.

Jumlah koloni yang dapat dihitung yaitu antara 25–250 pada setiap cawan (Harti, 2015). Menurut Yoelianto *et al.* (2025), cawan dengan jumlah koloni kurang dari 25 dinyatakan sebagai Terlalu Sedikit untuk Dihitung (TSUD), sedangkan cawan dengan jumlah koloni lebih dari 250 dikategorikan sebagai Terlalu Banyak untuk Dihitung (TBUD). Berdasarkan SNI 2332.3-2015 tentang pengujian angka lempeng total pada produk perikanan, apabila kedua pengenceran yang digunakan diperoleh koloni kurang dari 25, koloni yang ada tetap dicatat, tetapi perhitungannya dinyatakan sebagai kurang dari 25 dan dikalikan dengan 1/d, dimana d adalah faktor pengenceran pertama yang digunakan dan dilaporkan sebagai perkiraan TPC. Pelaporan hasil perhitungan untuk cawan yang kurang dari 25 koloni, diberi tanda bintang (*). Apabila jumlah koloni per cawan lebih besar dari 250 pada seluruh pengenceran, maka hasilnya dilaporkan sebagai TBUD, tetapi apabila salah satu pengenceran mempunyai jumlah koloni mendekati 250 maka dilaporkan sebagai perkiraan TPC. Perhitungan TPC untuk jumlah koloni 25-250 sebagai berikut.

$$N = \frac{\sum C}{[(1 \times n_1) + (0,1 \times n_2)] \times (d)}$$

Keterangan:

$\sum C$ = jumlah koloni pada semua cawan yang dihitung

N = jumlah koloni produk, dinyatakan dalam koloni/mL atau koloni/g

n_1 = jumlah cawan pada pengenceran pertama yang dihitung

n_2 = jumlah cawan pada pengenceran kedua yang dihitung

d = pengenceran pertama yang digunakan

3.7. Analisis Data dan Penentuan Umur Simpan

Data hasil pengujian sambal ikan manyung asap yang meliputi kadar air, kadar protein, pH, dan TBARS dianalisis untuk menentukan parameter kinetika penurunan mutu dan pendugaan umur simpan produk menggunakan metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) dengan pendekatan Arrhenius. Analisis data dilakukan menggunakan *Microsoft Excel* 2019 melalui penyajian data dalam bentuk diagram *scatter* yang dilengkapi dengan *trendline* untuk memperoleh persamaan regresi linear dan nilai koefisien determinasi (R^2). Penentuan parameter kinetika diawali dengan memplotkan data perubahan mutu produk terhadap waktu penyimpanan untuk memperoleh persamaan regresi orde nol. Pada orde nol, nilai mutu produk diplot secara langsung terhadap waktu penyimpanan sehingga diperoleh persamaan linear dalam bentuk $y = a + bx$, di mana y merupakan nilai perubahan mutu produk, x merupakan lama penyimpanan, a merupakan nilai mutu awal produk, dan b merupakan slope yang menunjukkan konstanta laju penurunan mutu (k).

Penentuan orde satu dilakukan dengan mengubah data perubahan mutu ke dalam bentuk $\ln$ sebelum diplotkan terhadap waktu penyimpanan, sedangkan orde dua dilakukan dengan mengubah nilai mutu menjadi $1/Q$ atau kebalikan dari nilai mutu sebelum diplotkan terhadap waktu penyimpanan. Ketiga model orde reaksi

tersebut kemudian dibandingkan berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2). Orde reaksi yang dipilih adalah orde reaksi dengan nilai R^2 terbesar atau mendekati satu karena dianggap paling mampu menggambarkan perubahan mutu produk selama penyimpanan. Menurut Sutrisno *et al.* (2022), nilai $R^2 > 0,67$ dikategorikan kuat, nilai R^2 antara 0,33–0,67 dikategorikan moderat, dan nilai R^2 antara 0,19–0,33 dikategorikan lemah. Nilai konstanta laju penurunan mutu (k) yang diperoleh dari masing-masing suhu penyimpanan kemudian digunakan dalam pendekatan Arrhenius. Nilai k diubah ke dalam bentuk $\ln k$ dan diplotkan terhadap nilai $1/T$, di mana T merupakan suhu penyimpanan dalam satuan Kelvin. Grafik hubungan $\ln k$ terhadap $1/T$ menghasilkan persamaan linear yang mengikuti persamaan Arrhenius sebagai berikut:

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

Persamaan di atas pada dasarnya berasal dari persamaan Arrhenius berikut:

$$k = k_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

Keterangan:

k = konstanta laju penurunan mutu

k_0 = konstanta pra eksponensial

E_a = energi aktivasi

R = konstanta gas ideal (8,314472 J/mol K)

T = suhu mutlak (K)

Langkah selanjutnya, setelah diperoleh persamaan Arrhenius dari grafik masing-masing parameter, ditentukan satu parameter kritis yang paling berpengaruh terhadap penurunan mutu produk selama penyimpanan. Penentuan parameter kritis dilakukan berdasarkan parameter yang paling merepresentasikan mekanisme kerusakan utama pada sambal ikan manyung asap selama penyimpanan. Energi aktivasi dapat diperoleh dari persamaan dengan mensubstitusikan nilai R atau konstanta gas ideal = 8,314472 J/mol K. Gradien persamaan garis lurus (*slope*) pada grafik hubungan nilai $\ln k$ terhadap $1/T$ adalah $(-E_a/R)$ sehingga energi aktivasi dapat diperoleh dengan mengalikan nilai *slope* dengan nilai R. Persamaan Arrhenius pada grafik hubungan nilai $\ln k$ terhadap $1/T$, dapat digunakan untuk mencari nilai k. Nilai k adalah konstanta Arrhenius yang menunjukkan laju penurunan mutu produk pada masing-masing suhu penyimpanan. Nilai k diperoleh dengan mensubstitusikan suhu penyimpanan ke persamaan tersebut. Nilai k yang diperoleh akan digunakan dalam perhitungan umur simpan produk dengan menggunakan rumus berikut:

$$ts = \frac{Q_t - Q_0}{k} \text{ (untuk orde reaksi nol)}$$

$$ts = \frac{\ln(Q_t - Q_0)}{k} \text{ (untuk orde reaksi satu)}$$

$$ts = \frac{(1/Q_t - 1/Q_0)}{k} \text{ (untuk orde reaksi dua)}$$

Keterangan:

ts = umur simpan

Q_0 = nilai mutu awal produk

Q_t = nilai batas mutu akhir (batas kritis)

k = nilai k (konstanta laju penurunan mutu) pada suhu penyimpanan

Hasil perhitungan umur simpan kemudian dijabarkan secara deskriptif. Data *Total Plate Count* (TPC) tidak digunakan dalam pemodelan kinetika penentuan umur simpan, namun digunakan sebagai parameter pendukung untuk mengevaluasi mutu mikrobiologis produk selama penyimpanan, memverifikasi efektivitas proses sterilisasi dan integritas sistem pengemasan. Nilai TPC yang tetap rendah atau tidak terdeteksi selama penyimpanan menunjukkan bahwa proses sterilisasi berlangsung efektif dan kemasan mampu mencegah masuknya kontaminan dari lingkungan.