

Pendugaan Umur Simpan Frozen Food: Integrasi Metode ASLT-Arrhenius, Variasi Suhu, dan Analisis Label

Sahnur Mulya^{1*}, Muhammad Zainal Fanani¹

¹Magister Teknologi Pangan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Djuanda,
Jl. Tol Ciawi No. 1, Kotak Pos 35, Ciawi, Bogor 16720.

*korespondensi: b.2520686@unida.ac.id

ABSTRAK

Tanggung jawab produsen pangan dalam menjamin mutu produk hingga ke tangan konsumen antara lain tercermin melalui penetapan dan pencantuman umur simpan pada kemasan, yang menjadi acuan utama konsumen dalam mengonsumsi produk, terutama pangan beku. Penelitian ini bertujuan menduga umur simpan bakso "BANGKA ONE SUKE" dan batagor "J-FOOD" sebagai produk frozen food dengan menerapkan metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) berdasarkan model Arrhenius, serta menguji kesesuaian hasil pendugaan dengan informasi pada label kemasan. Penyimpanan dilakukan pada variasi suhu untuk bakso (25°C, 5°C, dan -25°C) dan batagor (25°C, -5°C, dan -18°C), dengan suhu 30°C digunakan sebagai perlakuan akselerasi. Data perubahan mutu organoleptik dianalisis untuk mendapatkan laju penurunan mutu (K) yang selanjutnya dikaji melalui hubungan antara $\ln K$ dan $1/T$. Hasil menunjukkan bahwa suhu penyimpanan berpengaruh signifikan terhadap laju kerusakan produk, dan model Arrhenius dapat digunakan untuk menduga umur simpan dengan tingkat akurasi yang cukup baik. Terdapat perbedaan antara hasil pendugaan model dengan informasi label, yang dapat disebabkan oleh keterbatasan asumsi model dan faktor lingkungan penyimpanan lainnya.

Kata Kunci: Arrhenius, bakso, batagor, suhu penyimpanan, umur simpan

PENDAHULUAN

Penetapan dan pencantuman umur simpan pada label kemasan merupakan aspek kritis dalam jaminan mutu dan keamanan produk pangan. Kewajiban ini diatur dalam ketentuan perundang-undangan, seperti Undang-Undang Nomor 7 Tahun 1996 tentang Pangan dan Peraturan Pemerintah Nomor 69 Tahun 1999 mengenai Label dan Iklan Pangan. Bagi konsumen, informasi tanggal kedaluwarsa berfungsi sebagai pedoman utama untuk menentukan batas aman konsumsi (Fitriana, 2023). Pada produk pangan beku (*frozen food*), yang umumnya memiliki daya tahan lebih panjang, informasi ini menjadi semakin penting mengingat karakteristik produk yang rentan mengalami penurunan kualitas secara bertahap meskipun dalam kondisi beku.

Fenomena perubahan gaya hidup masyarakat modern yang mengedepankan aspek kepraktisan telah mendorong peningkatan permintaan terhadap produk *frozen food* seperti bakso dan batagor. Produk-produk ini menawarkan kemudahan dalam penyimpanan dan penyajian, namun memiliki kerentanan tinggi terhadap penurunan mutu, terutama karena kandungan protein dan lemaknya. Kandungan lemak, khususnya, berpotensi memicu reaksi oksidasi yang dapat memperpendek umur simpan (Puspita et al., 2016). Oleh karena itu, evaluasi umur simpan yang akurat melalui penelitian sistematis sangat diperlukan, tidak hanya untuk memenuhi aspek regulasi, tetapi juga untuk menjaga kepercayaan konsumen dan mendukung pengembangan produk secara komersial (Ritonga et al., 2020).

Salah satu pendekatan yang efisien dan dapat diandalkan untuk memperkirakan umur simpan adalah metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT). Metode ini memanfaatkan prinsip akselerasi kerusakan dengan menyimpan produk pada kondisi stres, umumnya suhu tinggi, untuk menduga perilaku produk dalam waktu yang lebih singkat. Pengaruh suhu terhadap laju penurunan kualitas kemudian dapat dimodelkan secara kuantitatif menggunakan persamaan Arrhenius, yang menggambarkan hubungan antara laju reaksi kerusakan dengan suhu absolut (Surahman et al., 2020). Integrasi metode ASLT dengan model Arrhenius telah banyak

diaplikasikan untuk berbagai jenis pangan, termasuk produk beku berbasis protein hewani yang rentan terhadap kerusakan mikrobiologis dan kimiawi (Djarkasi et al., 2017).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk: (1) menduga umur simpan produk *frozen food* bakso "BANGKA ONE SUKE" dan batagor "J-FOOD" menggunakan metode ASLT berbasis model Arrhenius; (2) menganalisis pengaruh signifikan variasi suhu penyimpanan terhadap laju kerusakan produk; serta (3) mengevaluasi kesesuaian antara hasil pendugaan model dengan informasi umur simpan yang tercantum pada label kemasan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dan praktis dalam proses validasi umur simpan produk *frozen food*, serta mengonfirmasi keandalan pendekatan Arrhenius dalam konteks pengujian yang terintegrasi dengan analisis label.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimental melalui penerapan *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) yang diintegrasikan dengan model kinetika Arrhenius. Kerangka metodologis ini dirancang untuk melakukan pendugaan umur simpan dua produk *frozen food*, yaitu bakso "BANGKA ONE SUKE" dan batagor "J-FOOD". Tujuan utama dari penerapan metode ini adalah untuk melakukan verifikasi terhadap kesesuaian informasi suhu dan lama penyimpanan yang tertera pada label kemasan dengan hasil pendugaan model.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. INFORMASI DATA PRODUK

Pada produk pangan beku yang dianalisis, didapatkan data suhu dan lama penyimpanan yang tertera pada kemasan, yang akan digunakan sebagai parameter uji pendugaan umur simpan dan sebagai data perbandingan masa

simpan, sebagai berikut:

a) Bakso “BANGKA ONE SUKE”

Tabel 1. Lama penyimpanan dan suhu penyimpanan bakso

Lama Penyimpanan	Suhu Penyimpanan
1 hari	25 °C
30 hari	5 °C
3 bulan	-25 °C

b) Batagor “J-FOOD”

Tabel 2. Lama penyimpanan dan suhu penyimpanan batagor

Lama Penyimpanan	Suhu Penyimpanan
1 hari	25 °C
3 bulan	-5 °C
1 tahun	-18 °C

2. PENENTUAN MUTU KRITIS PRODUK

Produk yang dikaji dalam penelitian ini, yaitu bakso dan batagor, termasuk dalam kategori *highly-perishable food* karena menggunakan daging sebagai bahan baku utama. Karakteristik ini menyebabkan kedua produk memiliki risiko kerusakan yang tinggi, terutama yang disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme (Darna et al., 2017). Daging dan produk olahannya dikenal sangat cepat mengalami kerusakan mutu (Hedrick, 1994), antara lain karena tingginya kandungan air, yang pada daging ayam mencapai 65–80%. Kandungan air yang tinggi tersebut berkontribusi terhadap nilai aktivitas air (*Aw*) yang optimal bagi pertumbuhan mikroba, didukung pula oleh ketersediaan nutrisi dan pH yang mendekati netral (Hastuti et al., 2023). Kondisi tersebut menjadikan produk olahan daging sebagai medium ideal bagi pertumbuhan bakteri dan kapang, yang umumnya memerlukan kelembaban

relatif di atas 85% (Forrest, 1975 dalam Hastuti et al., 2023). Akumulasi populasi mikroba perusak tidak hanya menyebabkan perubahan tekstur dan kebusukan, tetapi juga berpotensi menimbulkan bahaya kesehatan, seperti keracunan makanan dengan gejala demam, muntah, dan diare (Darna et al., 2017).

Oleh karena itu, penerapan teknologi pengawetan suhu rendah, seperti pembekuan pada kisaran suhu ideal -1°C hingga -8°C , menjadi penting untuk menghambat laju reaksi biokimia dan mikrobiologis yang merusak (Hastuti et al., 2025). Namun, fluktuasi atau peningkatan suhu selama penyimpanan dapat mengakibatkan reaktivasi dan pertumbuhan kembali mikroba, sehingga pemantauan ketat terhadap kondisi penyimpanan diperlukan untuk mempertahankan kualitas dan keamanan produk hingga batas umur simpannya.

3. PENENTUAN ORDE REAKSI

Mekanisme kerusakan kritis pada produk bakso dan batagor diduga mengikuti kinetika reaksi orde satu, mengingat penyebab utamanya berasal dari aktivitas mikroba dan bakteri (Toledo, 2007). Berdasarkan asumsi tersebut, konstanta laju reaksi (k) ditentukan menggunakan persamaan $k = -[\ln(Q_t/Q_0)]/t$, di mana Q_t/Q_0 merepresentasikan rasio penurunan indeks mutu setelah waktu penyimpanan (t). Dalam studi pendugaan umur simpan pangan, pendekatan kinetika reaksi orde nol atau orde pertama umum diterapkan untuk memodelkan penurunan kualitas (Arif, 2016). Pada penelitian ini, asumsi orde pertama digunakan karena relevansinya dalam menggambarkan kerusakan yang dipicu pertumbuhan mikroorganisme, di mana nilai konstanta laju reaksi (k) berperan sebagai parameter kunci dalam analisis.

4. PENENTUAN LAJU PENURUNAN MUTU DENGAN ORDE REAKSI SATU

Penentuan konstanta laju penurunan mutu (k^*) dilakukan berdasarkan

pendekatan kinetika reaksi orde pertama. Mengingat informasi nilai mutu awal (Q_0) dan mutu kritis (Q_t) tidak tersedia pada label kemasan, maka kedua nilai tersebut ditetapkan secara asumsi berdasarkan parameter organoleptik. Indeks mutu awal produk (Q_0) ditetapkan sebesar 1 (kondisi maksimum), sementara indeks mutu kritis (Q_t) yang menandai batas akhir umur simpan ditentukan sebesar 0,4. Dengan demikian, rasio penurunan mutu (Q_t / Q_0) bernilai 0,4. Berdasarkan persamaan kinetika $k = - [\ln (Q_t/Q_0)] / t$, nilai k untuk setiap suhu dihitung dengan substitusi sebagai berikut: $k = -[\ln (0,4)]/t = - [-0,9163]/t = 0,9163/t$. Dengan demikian, konstanta laju penurunan mutu (k) pada setiap variasi suhu penyimpanan dapat ditentukan berdasarkan waktu (t) yang dibutuhkan untuk mencapai titik mutu kritis.

a) Bakso “BANGKA ONE SUKE”

Tabel 3. Perhitungan nilai k bakso

t (Hari)	k
1	0,9163
30	0,0305
90	0,0102

b) Batagor “J-FOOD”

Tabel 4. Perhitungan nilai k batagor

t (Hari)	k
1	0,9163
90	0,0102
365	0,0025

5. PEMODELAN ARRHENIUS

Metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) diakui sebagai pendekatan standar dalam penentuan umur simpan produk pangan. Prosedur ini memanfaatkan prinsip akselerasi untuk mempercepat laju degradasi produk di bawah kondisi lingkungan yang dikendalikan, yang kemudian diikuti dengan analisis matematis terhadap data yang diperoleh. Penerapan ASLT

memungkinkan pendugaan umur simpan dilakukan dengan lebih cepat dan efisien tanpa mengorbankan tingkat akurasi hasilnya (Hastuti et al., 2020). Salah satu pendekatan yang kerap diintegrasikan dalam ASLT adalah penggunaan model kinetika Arrhenius. Model ini sangat sesuai untuk menduga umur simpan produk yang rentan mengalami penurunan mutu akibat reaksi kimia, seperti oksidasi lemak, reaksi Maillard, denaturasi protein, dan berbagai mekanisme kerusakan lainnya (Pitasari, 2016).

Secara matematis, penerapan model Arrhenius melibatkan analisis hubungan antara logaritma natural laju reaksi ($\ln k$) dengan kebalikan suhu absolut ($1/T$), dengan suhu dinyatakan dalam satuan Kelvin (K). Persamaan linear yang diperoleh dari plot $\ln k$ terhadap $1/T$ memungkinkan penentuan parameter kinetika utama, seperti energi aktivasi (E_a) dan faktor frekuensi (A), yang selanjutnya digunakan untuk menduga umur simpan pada kondisi penyimpanan normal.

a) Bakso “BANGKA ONE SUKE”

Tabel 5. *Pemodelan arrhenius bakso*

t (Hari)	k	ln k	T (°C)	T (K)	1/T
1	0,9163	-0,0874	25	298	0,0034
30	0,0305	-3,4900	5	278	0,0036
90	0,0102	-4,5854	- 25	248	0,0040

b) Batagor “J-FOOD”

Tabel 6. *Pemodelan arrhenius batagor*

t (Hari)	k	ln k	T (°C)	T (K)	1/T
1	0,9163	-0,0874	25	298	0,0034
90	0,0102	-4,5854	-5	268	0,0037
365	0,0025	-5,9915	-18	255	0,0039

6. BENTUK KURVA HUBUNGAN $\ln K$ DAN $1/T$

Hubungan antara suhu penyimpanan dan laju penurunan mutu produk

dimodelkan menggunakan persamaan Arrhenius. Berdasarkan regresi linear antara $\ln k$ (logaritma natural laju reaksi) dan $1/T$ (kebalikan suhu absolut), parameter kinetika dapat ditentukan. Persamaan Arrhenius dalam bentuk linear $\ln k = \ln k_0 - (E_a/R)(1/T)$ kemudian diaplikasikan untuk menduga umur simpan pada kondisi suhu referensi. Nilai $\ln k$ dan $1/T$ yang diperoleh dari pemodelan kedua produk selanjutnya digunakan dalam analisis lebih lanjut.

a) Bakso "BANGKA ONE SUKE"

Tabel 7. Pemodelan Arrhenius Bakso

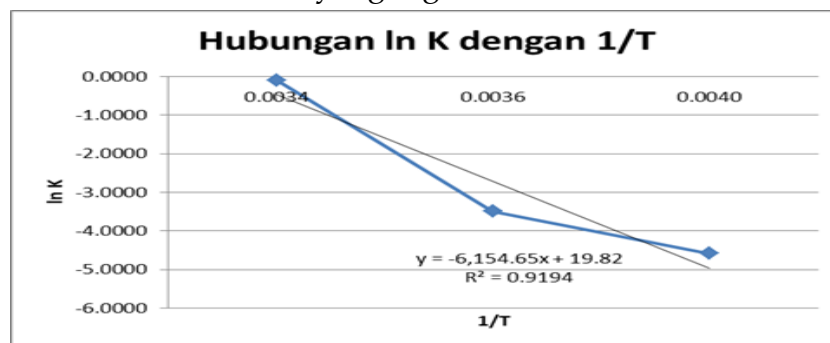
$1/T$ (X-Value)	$\ln K$ (X-Value)
0,0034	-0,0874
0,0036	-3,4900
0,0040	-4,5854

b) Batagor "J-FOOD"

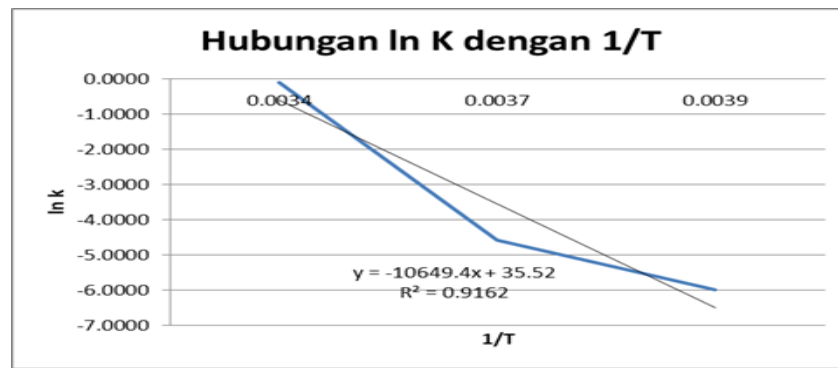
Tabel 8. Pemodelan Arrhenius Batagor

$1/T$ (X-Value)	$\ln K$ (X-Value)
0,0034	-0,0874
0,0037	-4,5854
0,0039	-5,9915

Berdasarkan data tabel yang diperoleh dari kedua produk, terdapat hubungan antara $1/T$ dan $\ln k$, yang digambarkan dalam kurva berikut:



Gambar 1 Plot Grafik Arrhenius (Energi Aktivasi) Produk Bakso



Gambar 2 Plot Grafik Arrhenius (Energi Aktivasi) Produk Batagor

Analisis kinetika kerusakan produk menggunakan pendekatan Arrhenius menunjukkan hubungan linear yang kuat antara $\ln k$ (laju penurunan mutu) dan kebalikan suhu absolut ($1/T$). Untuk produk Bakso “BANGKA ONE SUKE”, diperoleh persamaan regresi $\ln k = -6.154,65(1/T) + 19,82$ dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9194. Sementara itu, pada produk Batagor “J-FOOD”, persamaan yang terbentuk adalah $\ln k = -10.649,4(1/T) + 35,52$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9162. Nilai R^2 yang mendekati 1 pada kedua produk ini mengindikasikan bahwa model Arrhenius dapat menjelaskan lebih dari 91% variasi data, sehingga valid untuk digunakan dalam pendugaan umur simpan

7. PENGUJIAN MODEL ARRHENIUS

Analisis data dilakukan dengan menerapkan model kinetika Arrhenius. Tahapan kalkulasi diawali dengan memplot hubungan linear antara logaritma natural konstanta laju penurunan mutu ($\ln k$) dan kebalikan suhu absolut ($1/T$). Hubungan ini menghasilkan persamaan garis lurus dalam bentuk $\ln k = \ln k_0 - (E_a/R)(1/T)$, di mana $\ln k_0$ merupakan intersep, (E_a/R) menyatakan slope (kemiringan), E_a adalah energi aktivasi (dalam kal/mol), dan R adalah konstanta gas universal (1,986 kal/mol·K). Nilai energi aktivasi (E_a) ditentukan dengan mengalikan nilai slope dari regresi linear tersebut dengan konstanta R . Selanjutnya, pendugaan umur simpan produk diperoleh melalui perhitungan kinetika yang membandingkan batas penurunan mutu yang dapat diterima

dengan konstanta laju reaksi (k) pada suhu penyimpanan referensi. Hasil pendugaan umur simpan untuk produk Bakso “BANGKA ONE SUKE” dan Batagor “J-FOOD” yang diperoleh dari penerapan pendekatan Arrhenius disajikan dalam bagian berikut.

a) Bakso “BANGKA ONE SUKE”

Tabel 9. Pengujian model arrhenius bakso

T (°C)	In (Qt/Q0)	k	t (hari)
25	0,4	0,3309	2,77
5	0,4	0,0966	9,49
-18	0,4	0,0082	111,74

b) Batagor “J-FOOD”

Tabel 10. Pengujian model arrhenius bakso

T (°C)	In (Qt/Q0)	k	t (hari)
25	0,4	0,3309	0,723
5	0,4	0,0206	44,48
-18	0,4	0,0024	381,79

Penggunaan teknik pendinginan dan pembekuan merupakan strategi efektif untuk menekan aktivitas mikroorganisme dan enzim penyebab kerusakan pangan. Pendinginan pada rentang suhu 0–10 °C berfungsi mempertahankan kesegaran produk dalam periode relatif singkat, sehingga sesuai untuk rantai distribusi dengan siklus cepat. Di sisi lain, pembekuan pada suhu di bawah -18 °C lebih ditujukan untuk penyimpanan jangka panjang, karena mampu secara signifikan memperlambat laju reaksi kimia dan pertumbuhan mikroba di dalam bahan pangan (James & James, 2014). Fenomena ini memperkuat peran suhu sebagai faktor penentu utama umur simpan, terutama pada komoditas yang mudah rusak. Peningkatan suhu umumnya akan mengakselerasi proses pembusukan dan mempersingkat masa layak konsumsi, sementara penurunan suhu dapat memperpanjang

umur simpan dengan menghambat laju degradasi (Yusuf dkk., 2016). Hasil analisis dalam penelitian ini, yang tercermin dari nilai perhitungan waktu simpan (t), konsisten dengan prinsip tersebut, di mana suhu penyimpanan yang lebih rendah secara signifikan menghasilkan pendugaan umur simpan yang lebih panjang.

8. PERBANDINGAN UMUR SIMPAN PADA LABEL

Berdasarkan analisis model Arrhenius, pendugaan umur simpan produk bakso "BANGKA ONE SUKE" dan batagor "J-FOOD" menunjukkan adanya perbedaan secara kuantitatif dengan klaim umur simpan yang tertera pada label kemasan.

a) Bakso "BANGKA ONE SUKE"

Tabel 11. Perbandingan umur simpan sosis

T (°C)	T (K)	Umur simpan (hari)	
		Label	Perhitungan
25	298	1	2,77
5	278	30	9,49
- 25	248	90	111,74

b) Batagor "J-FOOD"

Tabel 12. Perbandingan umur simpan batagor

T (°C)	T (K)	Umur simpan (hari)	
		Label	Perhitungan
25	298	1	2,77
-5	268	90	44,48
-18	255	365	381,79

Berdasarkan analisis data, hasil pendugaan model Arrhenius untuk produk bakso "BANGKA ONE SUKE" menunjukkan variasi umur simpan yang berbeda-beda dibandingkan informasi pada label. Pada suhu 25°C, umur simpan hasil pendugaan mencapai 2,77 hari, lebih panjang dibandingkan klaim label yaitu 1 hari. Sementara itu, pada suhu 5°C, umur simpan hasil

perhitungan hanya 9,49 hari, jauh lebih singkat daripada klaim label sebesar 30 hari. Sebaliknya, pada suhu -25°C , model menduga umur simpan 111,74 hari, melampaui informasi label yang menyatakan 90 hari.

Pola serupa juga diamati pada produk batagor "J-FOOD". Pada suhu 25°C , selisih antara hasil pendugaan (2,77 hari) dan label (1 hari) relatif kecil. Namun pada suhu -5°C , hasil perhitungan menunjukkan umur simpan 44,48 hari, lebih rendah dari klaim label 90 hari. Adapun pada suhu -18°C , pendugaan model mencapai 381,79 hari, mendekati informasi label yaitu 365 hari.

Secara keseluruhan, temuan ini sejalan dengan prinsip kinetika reaksi, yaitu bahwa penurunan suhu penyimpanan berbanding lurus dengan peningkatan umur simpan produk. Disparitas antara hasil perhitungan model dan klaim label terutama dipengaruhi oleh asumsi nilai indeks kualitas kritis (Q_t) sebesar 0,4. Asumsi ini menetapkan bahwa produk dianggap mencapai akhir masa simpan ketika terjadi penurunan kualitas sebesar 60% dari kondisi awal, sehingga hanya menyisakan 40% kualitas yang dapat diterima.

9. PENGUJIAN DI SUHU LAIN

Analisis pendugaan umur simpan dilakukan melalui dua pendekatan utama. Pertama, dilakukan verifikasi dengan membandingkan nilai umur simpan hasil perhitungan model pada suhu penyimpanan standar dengan klaim atau rekomendasi yang tercantum pada label kemasan. Kedua, untuk menguji pengaruh kondisi termal, eksperimen dirancang dengan menerapkan variasi suhu penyimpanan guna mengobservasi dan mengkuantifikasi dampaknya secara langsung terhadap laju penurunan mutu dan lama daya simpan produk. Bakso "BANGKA ONE SUKE"

Tabel 13. Pegujian bakso di suhu lain

T (°C)	In (Qt/Q ₀)	K	t (hari)
30	0,4	0,6124	1,50

b) Batagor "J-FOOD"

Tabel 14. Pegujian batagor di suhu lain

T (°C)	In (Qt/Q ₀)	K	t (hari)
30	0,4	1,4579	0,63

Untuk menguji kondisi penyimpanan di luar parameter yang direkomendasikan pada kemasan, dilakukan penyimpanan pada suhu 30°C. Temuan ini sejalan dengan pernyataan Nofrida et al. (2024) yang menyebutkan bahwa suhu penyimpanan berbanding lurus terhadap laju penurunan kualitas produk, di mana peningkatan suhu akan mempercepat proses kerusakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada suhu 30°C, produk mengalami penurunan kualitas yang signifikan dengan umur simpan terestimasi kurang dari dua hari, yaitu selama 1,44733 hari, memvalidasi bahwa suhu tinggi secara drastis memperpendek masa simpan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa variasi suhu penyimpanan berpengaruh signifikan terhadap laju penurunan mutu produk bakso "BANGKA ONE SUKE" dan batagor "J-FOOD". Suhu yang lebih rendah terbukti efektif dalam memperlambat proses kerusakan dan memperpanjang umur simpan, sedangkan penyimpanan pada suhu tinggi mempercepat degradasi mutu produk. Penerapan metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) berbasis model Arrhenius berhasil menghasilkan estimasi umur simpan yang lebih cepat dan menunjukkan akurasi yang baik, terutama pada kondisi penyimpanan standar beku (-18 °C). Sebagai contoh, estimasi umur simpan bakso pada suhu tersebut mencapai 111,74 hari, melebihi informasi pada label yang menetapkan 90 hari. Temuan ini mengonfirmasi potensi metode ASLT-Arrhenius sebagai alternatif yang efisien dalam proses prediksi umur simpan.

Meskipun terdapat perbedaan antara hasil prediksi model dan informasi pada label, variasi tersebut dapat dijelaskan oleh faktor eksternal seperti fluktuasi kelembaban, jenis kemasan, dan kondisi rantai dingin. Namun, secara keseluruhan, tren hasil penelitian konsisten dengan prinsip dasar yang menyatakan bahwa suhu rendah merupakan faktor kunci dalam memperpanjang masa simpan produk pangan beku. Dengan demikian, integrasi metode ASLT-Arrhenius dapat direkomendasikan sebagai alat pendukung dalam penetapan umur simpan, optimasi kondisi penyimpanan, serta peningkatan jaminan mutu dan keamanan produk secara umum.

Untuk penelitian mendatang, disarankan untuk memperluas cakupan parameter kualitas dengan menguji aspek fisik, kimia, dan mikrobiologis secara lebih komprehensif. Selain itu, eksplorasi terhadap variasi suhu yang lebih beragam serta penerapan metode ini pada jenis produk pangan beku lainnya diperlukan guna meningkatkan validitas dan aplikabilitas model dalam skala industri.

REFERENSI

- Arif, A. B. (2016). Metode accelerated shelf life test (aslt) dengan pendekatan arrhenius dalam pendugaan umur simpan sari buah nanas, pepaya dan cempedak. *Informatika Pertanian*, 25(2), 189-198.
- Djarkasi, G. S., Sumual, M. F., & Lalujan, L. E. (2017). Pendugaan Daya Simpan Manisan Tomat Kering dengan Metode ASLT (Accelerated Shelf-Life Testing) Model Arrhenius. *Jurnal Teknologi Pertanian (Agricultural Technology Journal)*, 8(2).
- Fitriana, D. (2023). KEPASTIAN HUKUM DALAM ASPEK PERLINDUNGAN KONSUMEN TERHADAP INFORMASI KEAMANAN PRODUK DAN PENCANTUMAN LABEL KATEGORI PANGAN. *Jurnal De Jure Muhammadiyah Cirebon*. <https://doi.org/10.32534/djmc.v7i1.4237>
- Forrest. (1975). *Principle of Meat Science*. W.H. Freeman and Company, San Francisco.

- Hastuti, A., Nuraini, A., Idanata, A., Azzahra, A. S., & Aulia, R. F. (2025). Perkiraan Umur Simpan Produk Olahan Daging Beku Menggunakan Metode ASLT Berbasis Model Arrhenius. *Karimah Tauhid*, 4(8), 6071-6088.
- Hedrick, H. B. (1994). *Principles of Meat Science* (3rd ed.). Kendall/Hunt Publishing Company, Iowa, USA.
- James, S. J., & James, C. (2014). Freezing and refrigeration as food preservation methods. *International Journal of Food Microbiology*, 196, 68–75.
- Nofrida, R., Zainuri, Z., Utama, Q. D., Afriansyah, D., Rahayu, N., Anggraini, I. M. D., & Pertiwi, M. G. P. (2024). Pendugaan Umur Simpan Kopi Bubuk Robusta Desa Pakuan Menggunakan Model Arrhenius. *Pro Food*, 10(2), 188-195.
- Nuraini, V., & Widanti, YA (2020). Pendugaan umur simpan makanan tradisional berbahan dasar beras dengan metode Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) melalui pendekatan arrhenius dan kadar air kritis. *Jurnal Agroteknologi*, 14 (02), 189-198.
- Pitasari, U. H., Gozali, T., & Garnida, Y. (2016). Pendugaan Umur Simpan Sate Maranggi Dengan Metoda Aslt (Accelerated Shelf Life Testing) Berdasarkan Pendekatan Arrhenius. Makalah pada Jurusan Teknologi Pangan Fakultas Teknik Universitas Pasundan Bandung, tt hlm, 1-30.
- Puspita, C. R., & Sartika, D. (2016). Kajian lama simpan keripik pisang kepok putih (*Musa acuminata* sp.) berdasarkan tingkat aroma, rasa dan kerenyahan organoleptik dalam berbagai jenis kemasan dengan model pendekatan arrhenius. *Jurnal Kelitbangan Provinsi*, 4(03), 278-292.
- Ritonga, A., Masrukhi, M., & Siswantoro, S. (2020). PENDUGAAN UMUR SIMPAN GULA KELAPA KRISTAL MENGGUNAKAN METODE AKSELERASI BERDASARKAN PENDEKATAN KADAR AIR KRITIS. *Jurnal Teknologi Pertanian*. <https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2020.021.01.2>.
- Surahman, D. N., Ekafitri, R., Desnilasari, D., Ratnawati, L., Miranda, J., Cahyadi, W., & Indriati, A. (2020). Pendugaan Umur Simpan Snack Bar Pisang Dengan Metode

Arrhenius Pada Suhu Penyimpanan Yang Berbeda (Estimation of Banana Snack Bar Shelf Life with Different Storage Temperatures Using Arrhenius Method).
Biopropal Industri, 11(2), 127-137.