

## LAPORAN PENELITIAN

PENDUGAAN UMUR SIMPAN SUSU UHT DENGAN  
METODE *ACCELERATED SHELF LIFE TEST* DI PT XYZ

SUBARNA  
FALEH SETIA BUDI  
MUHAMMAD RUMI MAULANA

DEPARTEMEN ILMU DAN TEKNOLOGI PANGAN FAKULTAS  
TEKNOLOGI PERTANIAN  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
2025

## **PRAKATA**

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan September 2023 sampai bulan Desember 2023 ini ialah terkait umur simpan dengan judul “Pendugaan Umur Simpan Susu UHT dengan Metode *Accelerated Shelf Life Test* di PT XYZ”.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Subarna  
Faleh Setia Budi  
Muhammad Rumi Maulana

## **DAFTAR ISI**

DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Susu Segar	4
2.2 Teknologi Pengawetan Susu	5
2.3 Perubahan Mutu Susu	6
2.4 Kemasan	8
2.5 Aseptic Packaging	9
2.6 Umur Simpan Susu dan Faktor yang Mempengaruhi Umur Simpan	9
2.7 Pendugaan Umur Simpan Susu	10
III METODE	12
3.1 Waktu dan Tempat	12
3.2 Alat dan Bahan	12
3.3 Prosedur penelitian	12
3.4 Prosedur Analisis	13
3.5 Analisis Data	15
IV HASIL & PEMBAHASAN	16
4.1 Karakterisasi Mutu Awal	16
4.2 Penurunan Mutu Parameter	16
4) Kadar Protein	21
5) Kadar Lemak	21
4.3 Kinetika Penurunan Mutu selama Penyimpanan	22
4.4 Pendugaan Umur Simpan	30
V SIMPULAN DAN SARAN	36
5.1 Simpulan	36
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	41

## DAFTAR GAMBAR

1	Gambar 1 Kinetika penurunan pH selama waktu penyimpanan pada beberapa suhu	24
2	Gambar 2 Kinetika sedimentasi selama waktu penyimpanan pada beberapa suhu	25
3	Gambar 3 Kinetika parameter rasa susu selama waktu penyimpanan pada beberapa suhu	25
4	Gambar 4 Kinetika parameter warna susu selama waktu penyimpanan pada beberapa suhu	26
5	Gambar 5 Kinetika parameter aroma susu selama waktu penyimpanan pada beberapa suhu	27
6	Gambar 6 Kinetika parameter <i>creamrise</i> susu selama waktu penyimpanan pada beberapa suhu	27
7	Gambar 7 Kinetika parameter <i>overall</i> susu selama waktu penyimpanan pada beberapa suhu	28
8	Gambar 8 Kinetika kadar protein susu selama waktu penyimpanan pada beberapa suhu	29
9	Gambar 9 Kinetika kadar lemak susu selama waktu penyimpanan pada suhu beberapa suhu	29
10	Gambar 10 Kurva regresi nilai $\ln k$ dan $1/T$ parameter pH	31
11	Gambar 11 Kurva regresi nilai $\ln k$ dan $1/T$ parameter rasa	31
12	Gambar 12 Kurva regresi nilai $\ln k$ dan $1/T$ parameter warna	32
13	Gambar 13 Kurva regresi nilai $\ln k$ dan $1/T$ parameter aroma	32
14	Gambar 14 Kurva regresi nilai $\ln k$ dan $1/T$ parameter <i>creamrise</i>	33
15	Gambar 15 Kurva regresi nilai $\ln k$ dan $1/T$ parameter <i>overall</i>	33

## DAFTAR TABEL

1	Tabel 1 Syarat mutu susu segar (SNI 2011)	5
2	Tabel 2 Syarat mutu susu UHT (SNI 2014)	7
3	Tabel 3 Spesifikasi susu UHT PT. XYZ	7
4	Tabel 4 Hasil uji parameter pH	17
5	Tabel 5 Hasil uji sedimentasi	17
6	Tabel 6 Rataan hasil uji sensori parameter rasa	18
7	Tabel 7 Rataan hasil uji sensori parameter warna	19
8	Tabel 8 Rataan hasil uji sensori parameter aroma	19
9	Tabel 9 Rataan hasil uji sensori parameter <i>creamrise</i>	20
10	Tabel 10 Rataan hasil uji sensori parameter <i>overall</i>	20
11	Tabel 11 Hasil uji kadar protein	21
12	Tabel 12 Hasil uji kadar lemak	22
13	Tabel 13 Koefisien determinasi orde reaksi 0 dan 1 dari masing-masing parameter	23
14	Tabel 14 Nilai $k$ parameter terpilih	30
15	Tabel 15 Nilai $k_{25}$ dan umur simpan tiap parameter	34

## **DAFTAR LAMPIRAN**

1	Lampiran 1 Pengaruh lama penyimpanan dan suhu penyimpanan terhadap nilai parameter pH	42
2	Lampiran 2 Pengaruh lama penyimpanan dan suhu penyimpanan terhadap nilai parameter sedimentasi	43
3	Lampiran 3 Pengaruh lama penyimpanan dan suhu penyimpanan terhadap parameter rasa, warna, aroma, creamrise, dan overall	44
4	Lampiran 4 Pengaruh lama penyimpanan dan suhu penyimpanan terhadap kadar protein	49
5	Lampiran 5 Pengaruh lama penyimpanan dan suhu penyimpanan terhadap kadar lemak	50
6	Lampiran 6 Contoh perhitungan umur simpan	51

## I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu keterangan yang harus dicantumkan dalam label kemasan berdasarkan Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2012 tentang pangan adalah tanggal, bulan, dan tahun kedaluwarsa. *Shelf life* atau umur simpan didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan suatu produk pangan hingga mengalami penurunan kualitas, keamanan, dan tidak dalam kondisi yang semestinya untuk dikonsumsi. Lama waktu umur simpan tidak hanya menunjukkan keamanan produk untuk dikonsumsi tetapi juga secara karakter fisik, kimia, dan sensori tetap terjaga (Park *et al.* 2018). Pada umumnya, umur simpan pada label produk kemasan dituliskan dengan *best before* (baik digunakan sebelum) yang berarti produsen menjamin kandungan gizi yang tertera pada kemasan sesuai dengan produk yang dikonsumsi sebelum waktu tersebut dengan catatan melakukan penyimpanan produk sesuai dengan yang dianjurkan. Umur simpan pada produk pangan dapat membantu memaksimalkan penjualan dan pendistribusian produk karena produsen dapat memperkirakan strategi yang tepat dalam melakukan komersialisasi. Selain itu, adanya umur simpan dapat membantu konsumen dalam mengkonsumsi produk tersebut dalam kondisi yang bagus serta dapat meminimalisir *food waste* dari makanan yang terbuang karena sudah mengalami penurunan kualitas dan keamanan (Park *et al.* 2018).

Pendugaan umur simpan umumnya menggunakan dua metode yang berbeda yaitu *Extended Storage Studies* (ESS) dan *Accelerated Shelf Life Test* (ASLT). Metode ESS merupakan metode konvensional yang dilakukan dengan menyimpan produk pada kondisi normal (sesuai dengan saran penyajian) dan diamati hingga penurunan kualitas terjadi (Fiana dan Murtius 2023). Waktu yang dibutuhkan produk hingga mengalami penurunan kualitas menunjukkan umur simpan produk tersebut. Metode ini lebih akurat, tetapi membutuhkan waktu yang lebih lama. Sementara itu, metode ASLT dilakukan dengan memberikan perlakuan lingkungan yang ekstrem sehingga dapat mempercepat penurunan kualitas produk (Syahrul *et al.* 2020). Metode ASLT juga terbagi ke dalam dua model yaitu *Arrhenius* dan *Moisture Sorption Isotherm* (MSI). Faktor yang diamati dalam model *Arrhenius* adalah pengaruh suhu penyimpanan terhadap kecepatan perubahan parameter yang diamati. Sementara itu, model *Moisture Sorption Isotherm* atau kadar air kritis adalah pengaruh perubahan kelembaban (RH) dan memiliki nilai kadar air kritis. Kadar air akan mempengaruhi tekstur produk khususnya jika kerenyahan jadi faktor kritis dalam umur simpan produk.

Faktor yang mempengaruhi umur simpan produk terbagi ke dalam dua bagian yaitu faktor intrinsik dan faktor ekstrinsik. Faktor intrinsik adalah karakteristik alami yang dimiliki produk itu sendiri, seperti pH, aktivitas air (aw), kandungan nutrisi, kandungan oksigen, mikroflora dan mikrobiologi yang terkandung, komponen biokimia alami dan bahan-bahan yang digunakan dalam formulasi produk. Faktor intrinsik dapat dimaksimalkan untuk memperpanjang umur simpan dengan pemilihan bahan baku yang baik. Faktor ekstrinsik ialah faktor yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan sekitar yang dapat mempengaruhi karakteristik produk tersebut (Sungkar 2020). Faktor ekstrinsik dipertimbangkan ketika proses produksi, penyimpanan, hingga produk masuk ke dalam proses rantai

pasok. Beberapa faktor ekstrinsik yang dapat mempengaruhi karakteristik produk, meliputi suhu penyimpanan, kelembaban relatif, keberadaan dan konsentrasi gas, aktivitas mikroba di sekitar lingkungan produk, kemasan produk hingga kondisi proses distribusi dan penyimpanan sebelum dikonsumsi (Awulachew 2021).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui umur simpan produk susu UHT PT XYZ. Sterilisasi dilakukan pada suhu dan waktu tertentu yang bertujuan untuk membunuh bakteri dan sporanya yang ada pada susu, tetapi penurunan mutu produk masih dapat diterima. Proses pemanasan dengan suhu tinggi menyebabkan perubahan karakter susu, seperti rasa, warna, aroma, dan lain-lain. Proses sterilisasi yang digunakan pada PT XYZ adalah *Ultra High Temperatures* (UHT). Proses tersebut, memiliki keunggulan dalam meminimalkan kerusakan gizi yang terkandung dalam produk karena prosesnya relatif lebih singkat. Umumnya UHT dilakukan pada rentang suhu 135-150°C selama 1-10 detik agar tercapai kecukupan panasnya (Sayed *et al.* 2018). Selain itu, produk hasil teknologi proses ini memiliki umur simpan yang lama sekitar 6-12 bulan dan sedimen yang terbentuk cenderung lebih rendah. Sedimen yang terbentuk dipengaruhi oleh suhu proses yang digunakan dan suhu penyimpanan susu (Sayed *et al.* 2018). Data informasi umur simpan yang dimiliki PT YZ ditinjau berdasarkan penurunan kualitas dari segi sensori. Akan tetapi, umur simpan produk ini belum didukung dengan pengujian umur simpan berdasarkan parameter fisik atau kimia yang lain. Selain itu, dari umur simpan yang ditetapkan oleh perusahaan beberapa kali mendapatkan keluhan dari konsumen karena sebelum masa kedaluwarsa telah terjadi gumpalan yang terjadi pada susu. Meskipun gumpalan ini tidak mempengaruhi dari segi rasa dan keamanan produk, tetapi adanya gumpalan menunjukkan terjadinya penurunan kualitas sebelum masa kedaluwarsa yang ditentukan oleh perusahaan sehingga menimbulkan persepsi konsumen bahwa susu tersebut sudah rusak. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk menduga umur simpan produk yang didukung dengan data lain agar dugaan umur simpan yang dihasilkan lebih akurat.

## 1.2 Rumusan Masalah

Umur simpan produk susu UHT PT XYZ yang ditetapkan oleh departemen *Research and Development* (R&D) perusahaan berdasarkan penurunan kualitas dari segi sensori dan belum diperhitungkan dari parameter fisik ataupun kimia. Sementara itu, beberapa konsumen mengeluhkan produk tersebut karena adanya gumpalan yang terbentuk sebelum masa kedaluwarsa yang tertera pada kemasan. Pendugaan umur simpan dilakukan dengan mempertimbangkan penurunan kualitas atau keamanan produk yang paling cepat terjadi. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan ulang umur simpan produk dengan melibatkan parameter-parameter yang yang lebih cepat mengalami perubahan.

## 1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perubahan mutu susu UHT terkemas selama penyimpanan, menentukan parameter kritis yang menjadi penentu umur simpan produk dan menentukan umur simpan produk susu UHT menggunakan metode ASLT model *Arrhenius* dengan parameter mutu pengujian yaitu nilai pH, uji sedimentasi, dan uji sensori (warna, aroma, rasa, *creamrise*, *overall*).

## 1.4 Manfaat

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat, baik secara praktis maupun secara teoritis.

a) Manfaat Praktis

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi PT XYZ dan konsumen dalam pemenuhan kebutuhan informasi produk susu UHT yang sesuai terkait umur simpan. Selain itu, manfaat yang diharapkan bagi mahasiswa dan pembaca lain yaitu mengetahui tahapan pendugaan umur simpan produk dan faktor-faktor yang mempengaruhinya.

b) Manfaat Teoritis

Hasil dari penelitian ini dapat berguna dalam penerapan ilmu pengetahuan tentang perhitungan umur simpan metode ASLT model arrhenius produk susu UHT dalam pemenuhan regulasi dan pengawasan mutu produk.

## II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Susu Segar

Susu segar merupakan cairan yang diperoleh dari ambing sapi yang sehat dan bersih. Pengambilan susu segar dilakukan dengan proses yang dinamakan pemerasan. Kandungan yang dimiliki susu segar bersifat alami yaitu tanpa pengurangan atau penambahan sesuatu. Selain itu, susu dapat dikatakan susu segar apabila belum mendapat perlakuan apapun kecuali pendinginan (SNI 2011). Susu memiliki manfaat yang besar apabila dikonsumsi sehingga susu telah menjadi konsumsi sehari-hari bagi jutaan orang di dunia. Susu memiliki kandungan protein yang tinggi berupa asam amino esensial dan memiliki daya cerna yang tinggi (Antunes *et al.* 2023). Selain itu, susu juga memiliki komponen bioaktif, seperti immunoglobulin, polyamin, peptides, dan lain-lain (Katz 2018). Pada susu juga terkandung beberapa vitamin, seperti vitamin A, D, B12, serta mineral, seperti kalsium, fosfor, magnesium, potassium, dan zat besi. Protein yang terkandung dalam susu sebagian besar berbentuk kasein. Protein yang terkandung dalam susu yang lain adalah protein *whey*. Kedua jenis protein tersebut dapat dikategorikan sebagai protein yang lengkap dan mudah dicerna oleh tubuh. Kalsium pada susu dapat berperan dalam kesehatan tulang dan gigi. Kalsium juga membantu dalam pembekuan darah, serta membantu kerja jantung otot, dan saraf agar dapat berfungsi dengan baik. Vitamin A yang terkandung dalam susu berbentuk retinoid yang secara alami terkandung dalam susu sekitar 70 mikrogram per cup. Vitamin A berperan penting dalam penglihatan, pertumbuhan, dan imun tubuh. Vitamin lainnya yaitu vitamin B2 atau biasa disebut riboflavin. Riboflavin membantu dalam metabolisme lemak dan steroid pada tubuh. Vitamin B12 juga dapat ditemukan pada susu. Vitamin B12 dapat berperan dalam membantu pada sistem pencernaan dan kekurangan vitamin B12 dapat menyebabkan anemia.

Berdasarkan nutrisi yang terkandung di dalamnya, susu memiliki manfaat yang banyak apabila dikonsumsi. Susu juga dapat dengan mudah diterima di semua kalangan, baik dari anak kecil hingga dewasa. Kandungan nutrisi tersebut juga membuat susu sering dijadikan atau diolah kembali menjadi produk olahan susu, seperti keju, yogurt, mentega, dan produk lainnya yang tentunya memiliki manfaat bagi kesehatan apabila dikonsumsi. Kualitas susu harus terus dijaga agar nutrisi atau manfaat yang terkandung dapat diperoleh secara maksimal dan keamanannya juga terjamin. Oleh karena itu, terdapat regulasi yang mengatur tentang syarat mutu dari susu. SNI nomor 3141.1 tentang susu segar mengatur mulai dari kadar protein, lemak, hingga derajat keasaman untuk menjamin kualitas susu yang baik. Selain itu, dari aspek keamanan, SNI nomor 3141.1 mengatur batas cemaran mikroba hingga batas cemaran logam yang terkandung dalam susu. Agar mendapat kualitas susu yang maksimal beberapa faktor perlu diperhatikan, seperti sanitasi kandang, kondisi kesehatan sapi, kondisi sanitasi peralatan yang digunakan, dan kondisi pemerah sapi (Navyanti dan Adriyani 2015). Syarat mutu susu segar berdasarkan SNI nomor 3141.1 tahun 2011 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Syarat mutu susu segar (SNI 2011)

No.	Karakteristik	Satuan	Syarat
a.	Berat jenis (pada suhu 27,5°C) minimum	g/ml	1,0270
b.	Kadar lemak minimum	%	3,0
c.	Kadar bahan kering tanpa lemak	%	7,8
d.	Kadar protein minimum	%	2,8
e.	Warna, bau, rasa, kekentalan	-	Tidak ada perubahan
f.	Derajat asam	°SH	6,0 – 7,5
g.	pH	-	6,3 – 6,8
h.	Uji alkohol (70%) v/v	-	Negatif
i.	Cemaran mikroba, maksimum:		
1.	Total Plate Count	CFU/ml	$1 \times 10^6$
2.	Staphylococcus aureus	CFU/ml	$1 \times 10^2$
3.	Enterobacteriaceae	CFU/ml	$1 \times 10^3$
j.	Jumlah sel somatis maksimum	sel/ml	$4 \times 10^5$
k.	Residu antibiotika (Golongan penisilin, Tetrasiklin, Aminoglikosida, Makrolida	-	Negatif
l.	Uji pemalsuan	-	Negatif
m.	Titik beku	°C	-0,520 s.d -0,560
n.	Uji peroxidase	-	Positif
o.	Cemaran logam berat, maksimum:		
1.	Timbal (Pb)	µg/ml	0,02
2.	Merkuri (Hg)	µg/ml	0,03
3.	Arsen (As)	µg/ml	0,1

## 2.2 Teknologi Pengawetan Susu

Susu merupakan suatu makanan yang bersifat *perishable* atau mudah untuk mengalami kerusakan pada karakteristiknya. Susu memiliki umur simpan yang sangat terbatas (Mogla *et al.* 2020). Pengawetan susu diperlukan apabila menginginkan umur simpan susu yang lebih lama karena dapat menghambat laju kerusakan susu. Pada skala kecil dan secara konvensional, pada umumnya agar susu memiliki umur simpan yang lebih lama, susu disimpan pada suhu rendah. Menurut Gershom dan Ssemakula (2017), penyimpanan susu pada suhu 4°C dapat mempertahankan kualitas susu sebelum dikonsumsi atau diproses ke tahap berikutnya. Pengawetan susu dapat dilakukan dengan metode pasteurisasi. Pasteurisasi merupakan proses termal yang bertujuan untuk membunuh bakteri patogen pada susu. Pasteurisasi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu *High Temperature Short Time* (HTST) pada suhu 73-75°C selama 15 detik dan *Low Temperature Long Time* (LTLT) pada suhu 63-65°C selama 30 menit. Pada proses pasteurisasi hanya sel vegetatif bakteri saja yang terbunuh, tetapi sporanya masih

dapat hidup (Dharmawan *et al.* 2019). Susu pasteurisasi memiliki umur simpan sekitar 12 hari pada suhu rendah sekitar 5-8°C (Al-Farsi *et al.* 2021). Sementara itu, metode lain yang sering dijumpai adalah sterilisasi Ultra High Temperature (UHT) dengan melakukan proses termal pada suhu 135-150°C selama 1-10 detik (Sayed *et al.* 2018). Perlakuan UHT pada susu dapat membunuh semua sel vegetatif bakteri dan spora. Sterilisasi dapat dilakukan dibawah suhu tersebut, tetapi waktu yang dibutuhkan lebih lama untuk membunuh mikroorganisme yang ada. Selain itu, proses pemanasan yang lama dapat menyebabkan kerusakan mutu produk. Hal ini menjadi keunggulan proses UHT yang dilakukan dalam waktu singkat karena kerusakan produk yang dihasilkan lebih minimal. Susu yang melewati proses UHT dapat disimpan pada suhu ruang selama beberapa bulan apabila belum dibuka.

Metode pengawetan lainnya adalah evaporasi dengan menghilangkan sebagian air pada susu. Metode ini digunakan dalam pembuatan susu evaporasi dan susu kondensasi. Kedua susu tersebut dibuat dengan mengurangi air yang terkandung dalam susu segar sekitar 60% sehingga tersisa hanya 40% kadar air dalam susu. Perbedaan kedua susu tersebut adalah penambahan gula pada susu kondensasi sehingga akan mempengaruhi aroma dan rasa. Metode lain, seperti pembekuan, pengeringan, dan fermentasi juga dapat dilakukan untuk proses pengawetan susu yang tentunya akan memiliki karakteristik yang berbeda sesuai dengan susu yang diinginkan (Sims 2023).

### 2.3 Perubahan Mutu Susu

Mutu produk akan mempengaruhi perilaku konsumen terhadap produk yang dikonsumsinya. Parameter yang biasa menjadi pertimbangan konsumen adalah rasa, aroma, dan rasa. Parameter tersebut dipengaruhi salah satunya oleh nilai pH susu. Umumnya pH susu UHT berkisar pada 6,5-6,7. Berdasarkan spesifikasi produk PT XYZ (Tabel 3), pH susu UHT yaitu 6,55-6,65. Selama masa penyimpanan susu UHT, pH susu akan mengalami penurunan sehingga berdampak pada parameter mutu lain, seperti aroma dan rasa. Penurunan pH mungkin terjadi disebabkan oleh isomerisasi dan degradasi yang menghasilkan asam format (Karlsson *et al.* 2019). Selain itu, penurunan nilai pH juga dapat disebabkan oleh asam yang terbentuk dari reaksi *maillard* dan defosforilasi kasein yang menyebabkan terjadinya pelepasan proton (Al-Saadi dan Deeth 2008). Penurunan pH juga dapat disebabkan oleh aktivitas bakteri yang akan mengubah laktosa menjadi asam laktat (Cahyaningtyas 2016). Gumpalan atau gelasi sering dijumpai pada susu UHT. Bentuk gelasi digambarkan seperti gel atau *curds*. Gelasi dapat terbentuk karena adanya interaksi antara  $\beta$ -lactoglobulin dan  $\kappa$ -kasein yang berasal dari misel kasein ketika dilakukan proses pemanasan tinggi. Interaksi tersebut menghasilkan  $\beta$ -laktoglobulin- $\kappa$ -kasein kompleks. Saat waktu penyimpanan susu, perlahan  $\beta\kappa$  kompleks akan terdisosiasi dari misel kasein karena ikatan di beberapa titik pengikatan pada  $\kappa$ -kasein rusak. Setelah terlepas dari misel kasein, pada konsentrasi tertentu  $\beta\kappa$  kompleks akan berinteraksi satu sama lain dan membentuk gel (Datta dan Deeth 2001). Sedimentasi susu juga dapat terbentuk selama periode penyimpanan. Sedimentasi dapat terbentuk karena stabilitas susu yang kurang baik dan adanya interaksi antara protein dan lipid (Grewal *et al.* 2017). Pada segi sensori, asam lemak tidak jenuh pada susu berperan dalam rasa dan tekstur susu karena memberikan titik leleh lemak yang berbeda (Coolbear *et al.* 2021). Karotenoid lutein dan  $\beta$ -karoten memiliki pengaruh terhadap warna susu.  $\beta$ -karoten dapat

mengurangi efek fotooksidasi sehingga dapat mempertahankan warna pada susu. Perubahan karakter sensori dapat terjadi karena adanya reaksi oksidasi ataupun reaksi kimia seperti reaksi maillard. Standar mutu susu UHT PT XYZ tertera pada Tabel 2 dan spesifikasi susu UHT PT XYZ dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2 Syarat mutu susu UHT (SNI 2014)

No.	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan		
			Berlemak (Full Cream)	Rendah Lemak (Low Fat Milk)	Bebas Lemak (Free Fat Milk)
1.	Keadaan				
1.1	Warna	-	khas, normal	khas, normal	khas, normal
1.2	Bau	-	khas, normal	khas, normal	khas, normal
1.3	Rasa	-	khas, normal	khas, normal	khas, normal
2.	Protein	%, b/b	Min. 2,7 Min. 2,0*)	Min. 2,7 Min. 2,0*)	Min. 2,7 Min. 2,0*)
3.	Lemak	%, b/b	Min. 3,0 Min. 2,0*)	0,6-2,9 0,6-1,9*)	Maks. 0,5 Maks. 0,5*)
4.	Total padatan tanpa lemak	%, b/b	Min. 8,0	Min. 8,0	Min. 8,0
5.	Cemaran logam				
5.1	Kadmium (Cd)	mg/kg	Maks. 0,2	Maks. 0,2	Maks. 0,2
5.2	Timbal (Pb)	mg/kg	Maks. 0,02	Maks. 0,02	Maks. 0,02
5.3	Timah (Sn)	mg/kg	Maks. 40,0	Maks. 40,0	Maks. 40,0
5.4	Merkuri (Hg)	mg/kg	Maks. 0,03	Maks. 0,03	Maks. 0,03
6.	Cemaran arsen (As)	mg/kg	Maks. 0,1	Maks. 0,1	Maks. 0,1
7.	Aflatoksin (M1)	µg/kg	Maks. 0,5	Maks. 0,5	Maks. 0,5
8.	Cemaran mikroba				
8.1	Angka Lempeng	Koloni/0,1 mL	< 10	< 10	< 10
	Total				

Catatan: \*) untuk susu berperisa

Tabel 3 Spesifikasi susu UHT PT. XYZ

No.	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1.	Warna	-	khas, normal
2.	Bau	-	khas, normal
3.	Rasa	-	khas, normal
4.	Protein	%, b/b	3,10 - 3,30
5.	Lemak	%, b/b	3,40 - 3,60
6.	Total padatan	%, b/b	12,50 – 13,50
7.	Total padatan tanpa lemak		9,50 – 10,50
8.	Densitas	mg/kg	1,027 – 1,028
9.	pH	mg/kg	6,55 – 6,65
10.	Angka Lempeng Total	Koloni/0,1 mL	< 10

## 2.4 Kemasan

Kemasan produk memiliki beberapa fungsi, seperti fungsi kenyamanan bagi konsumen, fungsi sebagai media informasi misalnya tentang kandungan produk, tanggal kedaluwarsa, dan saran penyajian. Selain itu, kemasan memiliki peran penting sebagai pelindung produk agar terhindar dari kerusakan, seperti kontaminasi fisik, mekanis, dan mikrobiologi sehingga kualitas produk tetap terjaga (Scetar *et al.* 2018). Pemilihan kemasan juga harus sesuai dengan karakteristik produk karena setiap produk akan membutuhkan jenis kemasan yang berbeda-beda. Susu bubuk, susu evaporasi, dan susu kondensasi dapat dikemas menggunakan kemasan jenis metal yang memiliki permeabilitas gas dan uap air yang rendah. Keunggulan menggunakan kemasan metal adalah kuat dan memiliki karakteristik *gas barrier* yang baik. Kelemahan jenis kemasan ini adalah perlunya dilapisi material lain untuk menghindari korosi dan mencegah terjadinya kontak dengan bahan pangan secara langsung. Kemasan lain yang dapat digunakan untuk susu yaitu kemasan *High-density Polyethylene* (HDPE) yang memiliki keunggulan cenderung tidak mempengaruhi rasa dan bau susu, serta cukup fleksibel. Namun, kekurangan HDPE yaitu kurang bagus sebagai *gas barrier*. Kemasan karton pada susu dapat menggunakan *coated paperboard* yang memiliki lapisan karton (70%), *low-density polyethylene* (25%), dan *alumunium foil* (5%) (Liedwina 2020). PT XYZ menggunakan kemasan jenis *ecolean*. Kemasan ini 50-60% lebih ringan dibanding kemasan jenis karton dengan meminimalkan bahan bakunya. Dampak lingkungan dari *ecolean* diminimalkan mulai dari jenis bahan baku hingga efisiensi energi. Struktur lapisan *ecolean* terdiri dari *Polyolefins* (63%), lapisan penghalang (3%), dolomit dan pigmen (34%). Lapisan *Polyolefins* dapat berupa *Polypropylene* (PP) dan *Polyethylene* (PE). Sebagai bahan untuk mengurangi plastik *Polyolefins* digunakan kapur jenis dolomit. Pigmen pada *ecolean* berfungsi sebagai pewarna sekaligus melindungi dari cahaya. Permeabilitas oksigen diminimalkan dengan penggunaan film plastik jenis EVOH. Adapun kemasan lain yang bersifat *eco-friendly* selain kemasan *ecolean*, yaitu kemasan tetrapak daur ulang. Kemasan ini dapat mengurangi dampak lingkungan dan jejak karbon dengan menggunakan kertas daur ulang. Kertas bekas dari produk dimanfaatkan kembali menjadi kertas baru setelah melewati proses, pencucian hingga pembuatan pulp, sehingga dapat dicetak kembali menjadi kemasan. Namun, dibandingkan dengan kemasan *ecolean*, kemasan tetrapak daur ulang memiliki kekurangan yaitu kualitas dan kekuatan kemasan akan bervariasi bergantung pada kondisi dan jumlah kertas yang didaur ulang. Proses daur ulang kemasan *ecolean* diawali dengan tahap pembersihan sisa produk. Selanjutnya, dilakukan proses pencacahan menjadi bagian yang lebih kecil sehingga mempermudah proses daur ulang. Pemisahan dapat dilakukan berdasarkan berat jenis bahan atau densitas bahan. Bahan plastik yang telah dipisahkan, selanjutnya dilelehkan dan dibentuk ulang menjadi bahan dasar plastik, seperti kantong plastik atau kemasan plastik lainnya. Bahan kemasan lain seperti metal dan gelas kurang menjadi pilihan bagi produk susu UHT karena mempertimbangkan aspek biaya produksi dan kenyamanan atau kemudahan saat membawa produk.

## 2.5 Aseptic Packaging

Proses produksi susu UHT di PT XYZ melalui tahapan yang disebut *aseptic packaging*. Proses ini dilakukan dengan tiga tahapan utama yaitu sterilisasi produk, sterilisasi kemasan, dan proses pengisian dan penutupan yang harus dilakukan dalam kondisi aseptis (Hariyadi *et al.* 2010). Selain itu, permukaan kemasan yang kontak dengan produk harus dipastikan dalam kondisi steril dengan menjaga tekanan atmosfer udara steril bertekanan positif dan ketika produk diisikan ke dalam kemasan harus dalam kondisi aseptis. Ketika kemasan disegel kondisinya harus tertutup dengan rapat/hermetis (Scott 2008).

Proses sterilisasi kemasan yang paling banyak digunakan adalah sterilisasi menggunakan hidrogen perokksida ( $H_2O_2$ ) karena hanya meninggalkan residu sebanyak 0,25 ppm yang tidak menimbulkan efek berbahaya apabila dikonsumsi. Proses sterilisasi kemasan dilakukan dengan mencelupkan kemasan dalam bak berisi larutan 30-33% hidrogen peroksida pada suhu 60-80°C (Ansari dan Rai 2017). Pada kemasan *ecolean* sterilisasi kemasan menggunakan teknologi *electron-beam* untuk menjaga keamanan produk sebagai alternatif dari penggunaan bahan kimia. Proses tersebut menggunakan elektron energi tinggi yang akan ditembakkan pada permukaan kemasan sehingga radikal bebas dari sinar tersebut dapat membunuh bakteri. Proses pendinginan dilakukan agar kerusakan kemasan akibat panas dapat dihindarkan. Kelebihan sterilisasi menggunakan metode ini yaitu lebih efisien waktu dan lebih ramah lingkungan.

## 2.6 Umur Simpan Susu dan Faktor yang Mempengaruhi Umur Simpan

Karakteristik yang dimiliki susu membuat susu tergolong makanan yang mudah mengalami kerusakan. Susu segar apabila ditinjau dari nilai pH, uji didih, dan waktu reduktase hanya memiliki umur simpan selama 4 jam pada suhu ruang (Nababan *et al.* 2014). Sementara itu, apabila susu disimpan pada suhu yang lebih rendah, susu segar memiliki umur simpan yang lebih lama karena penurunan kualitasnya terjadi lebih lambat. Penyimpanan susu pada suhu rendah yaitu 4°C dapat memperpanjang umur simpan hingga 12 jam. Beberapa perlakuan dapat memperpanjang umur simpan susu. Proses pasteurisasi dapat memperpanjang umur simpan susu hingga 12 hari apabila disimpan pada suhu rendah 5-8°C (Al-Farsi *et al.* 2018). Apabila diinginkan umur simpan yang lebih lama dapat dilakukan proses UHT (*Ultra High Temperature*) yang dapat memperpanjang umur simpan susu hingga 36 minggu atau sekitar 9 bulan yang disimpan pada suhu 20°C (Karlsson *et al.* 2019).

Suhu merupakan faktor penting yang mempengaruhi umur simpan susu. Suhu dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba. Suhu 30-40°C merupakan suhu yang bagus bagi kebanyakan bakteri untuk berkembang biak. Namun, pada suhu rendah pun beberapa bakteri tetap dapat tumbuh, seperti bakteri *psychrotrophic* dan *psychrophilic*. Bakteri yang biasa dijumpai pada susu, diantaranya *pseudomonas*, *bacillus*, dan *micrococcus*. Bakteri patogen yang mungkin dijumpai pada susu adalah *Listeria monocytogenes*. Pada dasarnya susu mengandung enzim laktoperokksida yang ketika diaktifkan dapat memberikan efek antibakteri. Namun, efektivitas enzim ini juga dipengaruhi oleh antimikroba lain yang terkandung secara alami pada susu (Mogla *et al.* 2020). Kualitas susu segar itu sendiri juga mempengaruhi umur simpannya. Kondisi sapi yang bersih, sanitasi kandang yang

baik, sanitasi proses dan peralatan saat proses pemerasan susu dapat dimaksimalkan untuk mendapatkan susu yang rendah kontaminasi mikroba. Faktor lain yang sering dijumpai pada industri susu adalah fotooksidasi yang dapat menyebabkan *off-flavor* karena senyawa-senyawa sensitif cahaya pada susu teroksidasi (Cadwallader *et al.* 2022). Penggunaan jenis kemasan yang tepat juga dapat memperpanjang umur simpan susu. Jenis kemasan yang memiliki permeabilitas gas dan air yang rendah memungkinkan untuk meminimalisir terjadinya kontaminasi dan oksidasi. Fotooksidasi juga dapat diatasi dengan penggunaan kemasan yang tidak tembus cahaya seperti *paperboard*.

## 2.7 Pendugaan Umur Simpan Susu

Umur simpan merupakan salah satu hal yang harus dicantumkan dalam kemasan produk dan telah diatur dalam peraturan tentang label pangan. Pencantuman umur simpan produk dinyatakan dengan tanggal kedaluwarsa produk. Pangan yang memiliki masa kedaluwarsa lebih dari 3 bulan, cukup hanya mencantumkan bulan dan tahun kedaluwarsa. Perhitungan umur simpan produk dapat dilakukan dengan dua metode yaitu *Extended Storage Studies* (ESS) dan *Accelerated Shelf-life Testing* (ASLT). Metode *Extended Storage Studies* (ESS) dilakukan dengan perhitungan secara manual dengan menyimpan produk pada kondisi yang sebenarnya dan dicek kondisi produk dengan rentang waktu yang ditentukan sesuai dengan karakteristik produk. Metode ini memiliki hasil yang lebih akurat, tetapi kurang efektif dilakukan untuk produk yang memiliki umur simpan yang lama. Sementara itu, *Accelerated Shelf-life Testing* (ASLT) dilakukan dengan menyimpan produk pada kondisi ekstrim yang menyebabkan laju kerusakan produk menjadi lebih cepat. Kelebihan dari metode ini adalah waktunya yang lebih singkat sehingga efektif digunakan untuk produk yang memiliki umur simpan yang lama (Harris dan Fadli 2014). Ada dua model dalam metode *Accelerated Shelf-life Testing* (ASLT) yaitu model *Arrhenius* dan *Moisture Sorption Isoterm* (MSI). Model *Arrhenius* digunakan pada produk yang laju kerusakannya dominan dipengaruhi oleh suhu yang menjadi pemicu terjadinya reaksi-reaksi kimia sehingga produk mengalami kerusakan. Sementara itu, model *Moisture Sorption Isoterm* (MSI) atau kadar air kritis digunakan pada produk yang penurunan mutunya sensitif terhadap penyerapan uap air. Model kadar air kritis ini meninjau hubungan antara kadar air kesetimbangan dan aktivitas air ( $a_w$ ) (Juliana *et al.* 2020). Pendugaan umur simpan model *Arrhenius* dilakukan dengan penyimpanan produk pada beberapa suhu ekstrim yang berbeda. Orde yang digunakan pada model *Arrhenius* adalah 0 dan 1. Kerusakan pada pangan umumnya mengikuti orde 0 dan orde 1. Sebagai contohnya, reaksi degradasi enzimatis pada buah dan sayur, reaksi *browning* non-enzimatis, dan oksidasi lemak adalah model reaksi orde 0. Tipe kerusakan pangan yang mengikuti orde 1, seperti ketengikan, kerusakan vitamin pada makanan kaleng, dan pertumbuhan mikroorganisme (Nuraini dan Widanti 2020). Pada orde 0, laju reaksi yang terjadi tidak bergantung pada tingkatan parameter mutunya, sehingga penurunan level parameter terjadi secara linier dan laju reaksi tetap konstan seiring berjalannya waktu reaksi. Sementara itu, pada orde 1 laju reaksi bergantung pada tingkatan parameter mutunya. Penurunan level parameter terjadi secara eksponensial seiring waktu. Laju reaksi yang dihasilkan pun berubah-ubah bergantung pada level parameter mutu. Semakin tinggi level parameter, maka laju

reaksi semakin cepat dan berlaku sebaliknya. Laju penurunan mutu pada suhu penyimpanan didasarkan pada persamaan kinetika penurunan mutu sebagai berikut:

$$-dQ/dt = kQ^n$$

Pada orde 0 persamaan kinetika penurunan mutunya menjadi:

$$-dQ/dt = k \quad \text{atau} \quad Q_t = Q_0 - kt$$

Pada orde 1 persamaan kinetika penurunan mutunya menjadi:

$$-dQ/dt = kQ \quad \text{atau} \quad \ln Q_t = \ln Q_0 - kt$$

Keterangan:

$dQ/dt$  = laju perubahan mutu

$k$  = konstanta penurunan mutu

$Q$  = mutu

$Q_0$  = mutu awal

$Q_t$  = mutu pada waktu  $t$

$n$  = orde reaksi

Perhitungan dalam pendugaan umur simpan pada suhu yang diinginkan, diperlukan nilai konstanta penurunan mutu pada suhu yang diinginkan atau nilai  $k_{25}$ . Kurva persamaan regresi linear dibuat berdasarkan plot data nilai  $\ln$  konstanta penurunan mutu ( $k$ ) pada berbagai suhu terhadap nilai  $1/T$ . Nilai  $k_{25}$  ditentukan dengan cara ekstrapolasi menggunakan persamaan *Arrhenius*. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$k = k_0 \exp\left(\frac{-Ea}{RT}\right) \quad \text{atau} \quad \ln k = \ln k_0 - \left(\frac{-Ea}{R}\right)\left(\frac{1}{T}\right)$$

$$k_{25} = k_0 \exp\left(\frac{-Ea}{(1.986)(298)}\right) \quad \text{atau} \quad \ln k_{25} = \ln k_0 - \left(\frac{-Ea}{(1.986)(298)}\right)$$

Setelah mendapatkan nilai  $k_{25}$  perhitungan umur simpan dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$t = (A_0 - A)/k \quad (\text{untuk persamaan reaksi orde nol})$$

$$t = (\ln A_0 - \ln A)/k \quad (\text{untuk persamaan reaksi orde satu})$$

Keterangan:

$k_0$  = konstanta *independent*

$Ea$  = energi aktivasi (kal/mol)

$T$  = suhu mutlak (K)

$R$  = konstanta gas (1.986 kal/mol K)

$t$  = dugaan umur simpan (hari)

$A_0$  = nilai mutu awal

$A$  = nilai mutu pada kondisi kritis

$k_{25}$  = konstanta penurunan mutu pada suhu 25°C

### III METODE

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan selama 4 bulan, yaitu dari bulan September hingga bulan Desember 2023. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Quality Control PT XYZ.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Peralatan untuk analisis, diantaranya pH meter (Mettler Toledo FiveGo, Swiss), wadah, *centrifuge* (Funke Gerber Nova Safety, Jerman), neraca analitik (Ohaus Europe GmbH, Swiss), *milkoscan* (FT2, Denmark), gelas *cup*, inkubator yang dilengkapi dengan pengatur suhu (Memmert In 110, Jerman), pipet, dan tabung reaksi. Bahan baku yang digunakan adalah produk susu UHT yang diproduksi oleh PT XYZ yang dikemas dalam kemasan *ecolean*.

#### 3.3 Prosedur penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu persiapan sampel, pengecekan karakterisasi mutu awal sampel, penyimpanan sampel pada beberapa kondisi, analisis sampel dengan parameter uji yang ditetapkan, penentuan orde reaksi, dan pendugaan umur simpan produk.

##### 3.3.1 Persiapan Sampel

Sampel yang digunakan adalah produk susu UHT PT XYZ yang diproduksi pada tanggal 4 November 2023.

##### 3.3.2 Karakterisasi Mutu Awal

Pendugaan umur simpan pada penelitian ini membutuhkan informasi tentang kondisi awal produk sebelum dilakukan penyimpanan kondisi yang berbeda-beda. Pengukuran kondisi awal produk meliputi analisis pH, kadar protein, kadar lemak, sedimentasi, dan uji organoleptik.

##### 3.3.3 Penyimpanan pada Beberapa Kondisi

Susu UHT PT XYZ yang dikemas menggunakan kemasan jenis *ecolean* disimpan selama 6 minggu terhitung sejak hari ke-0 pada 3 suhu berbeda yaitu 30°C, 40°C, dan 55°C. Sampel yang digunakan untuk seluruh parameter selama 6 minggu adalah sebanyak 126 sampel berukuran 200 mL dengan 1 kali ulangan percobaan dan 2 kali ulangan pengamatan.

##### 3.3.4 Analisis Sampel

Analisis sampel dilakukan setiap 7 hari sehingga pengambilan dan analisis sampel dilakukan setelah disimpan 7 hari, 14 hari, 21 hari, 28 hari, dan 35 hari. Parameter mutu yang diukur dalam penelitian untuk menduga umur simpan produk susu UHT PT XYZ, yaitu derajat keasaman atau pH, kadar protein, kadar lemak, analisis sedimentasi, dan evaluasi sensori atau organoleptik (warna, aroma, rasa, *creamrise*, dan *overall*). Uji organoleptik yang digunakan yaitu uji beda dari kontrol (*different from control*). Sebagai sampel kontrol untuk uji organoleptik pada penelitian ini dilakukan penyimpanan pada suhu 4°C.

### 3.4 Prosedur Analisis

#### 3.4.1 Analisis pengukuran pH (AOAC 2005)

Pengukuran pH sampel diawali dengan kalibrasi pH meter menggunakan larutan buffer pH 7. Selanjutnya, elektroda dibilas dengan aquades dan dikeringkan dengan tisu kemudian elektroda dimasukkan ke dalam larutan pH buffer dengan pH 4. Setelah pH meter dikalibrasi, dilanjutkan dengan mengukur pH pada sampel dengan mencelupkan elektroda ke dalam sampel hingga pH meter menunjukkan hasil angka yang konstan. Setelah pengukuran pH selesai, elektroda dibilas dengan aquades dan dikembalikan ke dalam larutan buffer.

#### 3.4.2 Analisis pengukuran sedimentasi (Gerber 2006)

Sedimentasi susu diukur menggunakan *gerber centrifuge*. Sekitar 10 gram sampel susu ditimbang lalu dimasukkan ke dalam tabung reaksi berukuran 10 ml. Tabung reaksi yang sudah berisi susu dimasukkan ke dalam lubang *centrifuge* secara bersilang dan berlawanan agar seimbang. Penutup *centrifuge* ditutup lalu diatur kecepatan yang digunakan yaitu 1500 rpm selama 20 menit dan ditekan tombol *on* untuk memulai. Setelah sentrifugasi selesai, sedimen dan supernatan dipisahkan dengan membuang supernatan dari tabung *centrifuge*. Sedimen yang tersisa didiamkan selama beberapa waktu dengan posisi terbalik hingga hanya tersisa sedimennya saja lalu ditimbang dan dihitung persentase sedimennya menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Sedimen (\%)} = \frac{\text{bobot sedimen (g)}}{\text{bobot sampel (g)}} \times 100\%$$

#### 3.4.3 Analisis sensori (*Different from Control Test*) (Whelan 2017)

Uji beda dari kontrol atau *different from control test* merupakan serangkaian uji untuk menentukan tingkat perbedaan antara sampel yang sudah diberi kode dengan sampel kontrol sebagai acuannya (Whelan 2017). Sebanyak 50 ml sampel disiapkan pada wadah khusus yang digunakan untuk uji sensori dengan diberi kode angka acak 3 digit angka. Panelis diminta mengamati dan mencicipi sampel kontrol terlebih dahulu kemudian sebelum mencicipi sampel berkode, panelis menetralkan sensorinya dengan *crackers*. Setelah sensori panelis netral kembali, sampel berkode diamati dan dicicipi. Perbedaan skor/poin antara sampel kontrol dengan sampel berkode dituliskan panelis dengan parameter, antara lain warna, aroma, rasa, *creamrise*, dan overall. Penilaian dilakukan dengan skala 1 hingga 5, dengan penjelasan nilai 1 = tidak ada perbedaan, 2 = sedikit berbeda, 3 = moderat, 4 = cukup berbeda, dan 5 = sangat berbeda. Panelis yang digunakan adalah panelis semi terlatih dari PT XYZ dengan jumlah 10 orang.

#### 3.4.4 Analisis Protein (FOSS Analytical A/S 2009)

Analisis protein dilakukan dengan menggunakan bantuan alat Milkoscan *analyzer* yaitu alat yang biasa digunakan untuk mengontrol atau melakukan standarisasi pada produk *dairy*. Mekanisme Milkoscan yaitu dengan *Fourier transform infrared technology* (FTIR) untuk mengetahui kondisi komponen susu dengan waktu singkat. Sampel susu yang akan dianalisis disiapkan ke dalam gelas piala sekitar 25 ml dan diletakkan pada *inlet pipette* milkoscan. Selanjutnya, ditekan tanda analisis untuk susu UHT dan ditunggu. Secara otomatis sampel akan melalui proses *pretreatment* yaitu dihomogenisasi, dipanaskan, dan akan dimasukkan ke dalam akumulator dan disuntikkan ke dalam kuvet. Setelah melalui proses tersebut, sampel akan diukur dengan spektrometer inframerah. Milkoscan

akan mengukur intensitas cahaya yang diteruskan lalu dianalisis untuk menghasilkan spektrum. Database spektrum yang diperoleh akan dibandingkan dengan referensi sehingga alat akan menghitung kadar protein berdasarkan pola penyerapan cahaya oleh protein.

#### 3.4.5 Analisis Lemak (FOSS Analytical A/S 2009)

Analisis lemak dilakukan dengan metode yang sama dengan analisis protein yaitu menggunakan bantuan Milkoscan *analyzer*. Sampel susu yang akan dianalisis disiapkan ke dalam gelas piala sekitar 25 ml dan diletakkan pada *inlet pipette* milkoscan lalu ditekan tanda analisis untuk susu UHT. Secara otomatis sampel akan melalui proses *pretreatment* yaitu dihomogenisasi, dipanaskan, dan akan dimasukkan ke dalam akumulator dan disuntikkan ke dalam kuvet. Setelah melalui proses tersebut, sampel akan diukur dengan spektrometer inframerah. Milkoscan akan mengukur intensitas cahaya yang diteruskan lalu dianalisis untuk menghasilkan spektrum. Database spektrum yang diperoleh akan dibandingkan dengan referensi sehingga alat akan menghitung kadar lemak berdasarkan pola penyerapan cahaya oleh lemak.

#### 3.4.6 Penentuan Parameter Kritis

Sebelum dilakukan pendugaan umur simpan, parameter kritis ditentukan dengan mempertimbangkan parameter mutu yang penurunan mutunya paling cepat hingga titik kritisnya atau parameter yang paling responsif dari penerimaan konsumen. Laju penurunan mutu ini dapat dilihat berdasarkan konstanta laju penurunan mutu ( $k$ ). Parameter yang memiliki sensitivitas paling tinggi terhadap perubahan suhu dapat dilihat dari nilai energi aktivasi ( $E_a$ ) yang paling rendah. Apabila ada beberapa parameter yang memenuhi kriteria, parameter yang dipilih yaitu yang memiliki umur simpan lebih pendek. Laju penurunan mutu pada suhu penyimpanan didasarkan pada persamaan kinetika penurunan mutu sebagai berikut:

$$-\frac{dQ}{dt} = kQ^n$$

Pada orde 0 persamaan kinetika penurunan mutunya menjadi:

$$-\frac{dQ}{dt} = k \quad \text{atau} \quad Q_t = Q_0 - kt$$

Pada orde 1 persamaan kinetika penurunan mutunya menjadi:

$$-\frac{dQ}{dt} = kQ \quad \text{atau} \quad \ln Q_t = \ln Q_0 - kt$$

Keterangan:

$dQ/dt$  = laju perubahan mutu

$k$  = konstanta penurunan mutu

$Q$  = mutu

$Q_0$  = mutu awal

$Q_t$  = mutu pada waktu  $t$

$n$  = orde reaksi

#### 3.4.7 Penentuan orde reaksi

Orde reaksi parameter ditentukan dengan membuat plot data hubungan antara nilai mutu tiap parameter pada sumbu y dan lama penyimpanan pada sumbu x. Kurva regresi linear pada orde 0 menghubungkan nilai mutu parameter terhadap waktu penyimpanan. Sementara itu, kurva regresi linear orde 1 menghubungkan nilai  $\ln$  mutu parameter terhadap waktu penyimpanan. Dari hubungan kedua variabel tersebut, dihitung koefisien determinasi ( $R^2$ ) dengan aplikasi yang digunakan yaitu *microsoft excel*. Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang digunakan

yaitu  $\leq 0,75$ . Orde terpilih adalah orde dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) terbesar.

#### 3.4.8 Pendugaan umur simpan model *Arrhenius*

Berdasarkan orde terpilih, kurva persamaan regresi linear dibuat berdasarkan plot data antara nilai  $\ln$  konstanta penurunan mutu ( $k$ ) pada berbagai suhu terhadap nilai  $1/T$ . Nilai  $k_{25}$  ditentukan dengan cara ekstrapolasi menggunakan persamaan *Arrhenius*. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$k = k_0 \exp\left(\frac{-Ea}{RT}\right) \quad \text{atau} \quad \ln k = \ln k_0 - \left(\frac{Ea}{R}\right)\left(\frac{1}{T}\right)$$

$$k_{25} = k_0 \exp\left(\frac{-Ea}{(1.986)(298)}\right) \quad \text{atau} \quad \ln k_{25} = \ln k_0 - \left(\frac{Ea}{(1.986)(298)}\right)$$

Setelah mendapatkan nilai  $k_{25}$  perhitungan umur simpan dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$t = (A_0 - A)/k \quad (\text{untuk persamaan reaksi orde nol})$$

$$t = (\ln A_0 - \ln A)/k \quad (\text{untuk persamaan reaksi orde satu})$$

Keterangan:

$k_0$  = konstanta *independent*

$Ea$  = energi aktivasi (kal/mol)

$T$  = suhu mutlak (K)

$R$  = konstanta gas (1.986 kal/mol K)

$t$  = dugaan umur simpan (hari)

$A_0$  = nilai mutu awal

$A$  = nilai mutu pada kondisi kritis

$k_{25}$  = konstanta penurunan mutu pada suhu 25°C

### 3.5 Analisis Data

Pengujian ini ditujukan untuk mengetahui pengaruh suhu dan lama penyimpanan terhadap parameter yang diamati. Analisis ini menggunakan aplikasi SPSS Statistics 22. Pada kolom *variable view* dituliskan variabel yang diamati yaitu suhu, waktu, dan parameter uji. Data dimasukan pada kolom *Data view*. Analisis yang digunakan yaitu *general linear model* lalu *univariate*. Variabel dependen dimasukkan ke dalam kotak data “Dependent Variable” dan dimasukkan faktor ke dalam kotak data “Fixed Factor”. Dipilih opsi “Descriptive Statistics” dan “Homogeneity Tests” pada taraf signifikansi 0,05%. Ditekan opsi “Ok” untuk analisis data.

## IV HASIL & PEMBAHASAN

### 4.1 Karakterisasi Mutu Awal

Nilai pH produk saat kondisi awal sebelum dilakukan penyimpanan yaitu sebesar 6.65, sedangkan standar pH yang dimiliki PT XYZ yaitu 6.55 – 6.65. Hasil uji kadar protein sebesar 2.92% dan kadar lemak sebesar 3.53%. Standar PT XYZ yaitu minimal 3.10% untuk kadar protein dan 3.40% untuk kadar lemak. Sedimentasi sebelum dilakukan penyimpanan terbentuk sebanyak 0.08%. Standar sedimentasi yang dimiliki PT XYZ masih bersifat kualitatif dan belum kuantitatif. Uji organoleptik pada seluruh parameter (warna, aroma, rasa, *creamrise*, dan *overall*) menunjukkan nilai 1 yang memiliki arti tidak ada perbedaan dengan sampel yang akan disimpan pada suhu kontrol.

### 4.2 Penurunan Mutu Parameter

#### 1) Nilai pH

Hasil pengujian pengaruh waktu dan suhu penyimpanan terhadap pH susu dapat dilihat pada Tabel 4. Uji ANOVA (Lampiran 1) menunjukkan interaksi antara suhu dan waktu penyimpanan berpengaruh nyata terhadap pH susu ( $p<0,05$ ). Setelah 7 hari penyimpanan, pH sampel pada setiap suhu penyimpanan menunjukkan perbedaan dengan pH susu hari ke-0. Pada suhu 30°C pH susu setelah 7 hari penyimpanan yaitu 6,54 dan pada penyimpanan suhu 40°C pH susu menurun menjadi 6,46. Penurunan pH terbesar terjadi pada susu yang disimpan pada suhu 55°C yaitu sebesar 6,35. Pada hari ke-14 pH susu yang disimpan pada suhu 30°C, 40°C, dan suhu 55°C tidak berbeda nyata dengan hari ke-7. Pada hari ke-21, pH susu yang disimpan suhu 30°C dan 40°C tidak berbeda dengan hari ke-7, sedangkan penurunan pH susu yang disimpan pada suhu 55°C berbeda nyata yaitu menjadi 6,28. Pada penyimpanan hari ke-28, pH susu pada masing-masing suhu penyimpanan mengalami penurunan yang tidak berbeda nyata. Nilai pH susu mengalami penurunan hingga hari ke-35, tetapi pada uji ANOVA (Lampiran 1) tidak terdeteksi perbedaan yang nyata antara hari ke-28 dan hari ke-35. Berdasarkan penurunan pH susu selama masa penyimpanan, terlihat bahwa penurunan pH susu terbesar terjadi pada susu yang disimpan suhu 55°C, kemudian diikuti susu yang disimpan pada suhu 40°C dan 30°C. Nilai pH susu akhir selama 35 hari penyimpanan yaitu sebesar 6,17 yang disimpan pada suhu 55°C, 6,37 pada suhu 40°C, dan 6,47 pada suhu 30°C. Suhu penyimpanan yang tinggi menyebabkan proses isomerisasi dan degradasi terjadi yang menghasilkan asam format (Karlsson *et al.* 2019). Sementara itu, menurut Al-Saadi dan Deeth (2008) penurunan nilai pH juga dapat disebabkan oleh asam yang terbentuk dari reaksi maillard dan defosforilasi kasein yang menyebabkan terjadinya pelepasan proton. Hasil penelitian serupa menyatakan penurunan pH dipengaruhi oleh suhu penyimpanan (Hamdi *et al.* 2018; Millogo *et al.* 2014).

Tabel 4 Hasil uji parameter pH

Suhu	Waktu penyimpanan (hari)					
	0	7	14	21	28	35
30°C	6,65 <sup>a</sup>	6,54 <sup>b</sup>	6,53 <sup>b</sup>	6,51 <sup>bc</sup>	6,5 <sup>bc</sup>	6,47 <sup>cd</sup>
40°C	6,65 <sup>a</sup>	6,46 <sup>de</sup>	6,45 <sup>de</sup>	6,42 <sup>ef</sup>	6,4 <sup>fg</sup>	6,37 <sup>gh</sup>
55°C	6,65 <sup>a</sup>	6,35 <sup>h</sup>	6,35 <sup>h</sup>	6,28 <sup>i</sup>	6,26 <sup>i</sup>	6,17 <sup>j</sup>

## 2) Nilai Sedimentasi

Sedimentasi susu yang terbentuk terlihat mengalami peningkatan seperti dapat dilihat pada tabel 5. Pada hasil uji ANOVA (lampiran 2), interaksi antara waktu dan suhu penyimpanan tidak berpengaruh nyata terhadap sedimentasi ( $p>0,05$ ). Setelah 7 hari penyimpanan, rataan sedimentasi yang dihasilkan berbeda nyata dari minggu sebelumnya. Selanjutnya, pada hari ke-14, 21, dan 28 sedimentasi yang terbentuk tidak berbeda nyata. Penyimpanan pada hari ke-35 menunjukkan adanya perbedaan nyata dengan nilai rataan sedimentasi sebesar 0,133%. Sementara itu, pada faktor tunggal suhu penyimpanan, susu yang disimpan pada suhu 30°C dan 40°C tidak berbeda nyata, dengan nilai rataan 0,106% dan 0,11%. Sedimentasi pada susu yang disimpan pada suhu 40°C dan 55°C tidak berbeda nyata, tetapi pada susu yang disimpan pada suhu 30°C dan 55°C menunjukkan perbedaan nyata dengan rataan sebesar 0,125%. Sedimentasi pada susu UHT selama periode penyimpanan sering kali terjadi. Stabilitas susu UHT yang kurang baik dapat menyebabkan agregasi misel kasein sehingga terbentuk sedimentasi (Deeth dan Lewis 2017). Selain periode penyimpanan susu, suhu penyimpanan dapat menjadi penyebab sedimentasi terbentuk. Ramsey dan Swartzel (1984) menyebutkan bahwa peningkatan suhu penyimpanan akan mempengaruhi penurunan viskositas sehingga laju pengendapan meningkat dan terbentuk sedimen karena globula lemak dalam kondisi lebih cair. Sebaliknya, pada suhu yang lebih rendah akan meningkatkan viskositas susu sehingga laju pengendapan menurun karena dapat dihambat oleh globula lemak. Grewal *et al.* (2017) menyebutkan bahwa interaksi protein-lipid berperan dalam pembentukan sedimen karena lemak mengendap bersama protein. Hal tersebut dapat terjadi karena pada suhu 40°C lemak susu akan mencair dan mengakibatkan perubahan interaksi rantai fosfolipid dan trigliserida.

Tabel 5 Hasil uji sedimentasi

Suhu	Waktu penyimpanan (hari)						Rataan
	0	7	14	21	28	35	
30°C	0,08%	0,10%	0,11%	0,12%	0,11%	0,12%	0,106% <sup>a</sup>
40°C	0,08%	0,10%	0,12%	0,12%	0,11%	0,13%	0,11% <sup>ab</sup>
55°C	0,08%	0,11%	0,14%	0,14%	0,13%	0,15%	0,125% <sup>b</sup>
Rataan	0,08% <sup>a</sup>	0,103% <sup>b</sup>	0,123% <sup>cd</sup>	0,126% <sup>cd</sup>	0,116% <sup>bc</sup>	0,133% <sup>d</sup>	

## 3) Karakteristik Sensori

Hasil pengujian organoleptik atau sensori menggunakan metode uji beda dari kontrol atau *different from control test* menunjukkan hasil perbedaan yang

meningkat. Berdasarkan uji ANOVA (Lampiran 3), interaksi waktu dan suhu penyimpanan berpengaruh nyata terhadap perbedaan rasa susu ( $p<0,05$ ). Hasil uji sensori pada hari ke-7 menunjukkan tidak ada perbedaan nyata pada susu yang disimpan pada suhu 30°C dan 40°C yaitu 1,2 dan 1,4, tetapi perbedaan nyata ditunjukkan pada susu yang disimpan pada suhu 55°C yaitu sebesar 1,9. Hari ke-14 peningkatan skor hasil uji sensori menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada susu yang disimpan pada suhu 30°C dan 40°C, tetapi pada susu yang disimpan pada suhu 55°C menunjukkan perbedaan yang nyata dengan skor sebesar 2. Selanjutnya, pada hari ke-21 terdeteksi perbedaan yang nyata pada susu yang disimpan pada suhu 40°C dan 55°C yaitu sebesar 2,2 dan 2,5, sedangkan susu yang disimpan pada suhu 30°C tidak berbeda nyata dengan skor 1,7. Pada penyimpanan hari ke-28, susu yang disimpan pada suhu 30°C tidak berbeda nyata dengan minggu sebelumnya. Sementara itu, pada susu yang disimpan pada suhu 40°C dan 55°C menunjukkan perbedaan nyata dengan skor uji sebesar 2,9 dan 3,4. Pada hari ke-35 perbedaan rasa yang terdeteksi pada setiap suhu menunjukkan perbedaan nyata yaitu sebesar 2,2 pada susu yang disimpan pada suhu 30°C, 3,3 pada susu yang disimpan pada suhu 40°C, dan 4,5 pada susu yang disimpan pada suhu 55°C.

Tabel 6 Rataan hasil uji sensori parameter rasa

Suhu	Waktu penyimpanan (hari)					
	0	7	14	21	28	35
30°C	1 <sup>a</sup>	1,2 <sup>ab</sup>	1,5 <sup>bcd</sup>	1,7 <sup>cde</sup>	1,8 <sup>cde</sup>	2,2 <sup>fg</sup>
40°C	1 <sup>a</sup>	1,4 <sup>abc</sup>	1,5 <sup>bcd</sup>	2,2 <sup>fg</sup>	2,9 <sup>h</sup>	3,3 <sup>i</sup>
55°C	1 <sup>a</sup>	1,9 <sup>def</sup>	2 <sup>ef</sup>	2,5 <sup>g</sup>	3,4 <sup>i</sup>	4,5 <sup>j</sup>

Hasil uji sensori parameter warna dapat dilihat pada Tabel 7. Berdasarkan hasil uji ANOVA (lampiran 3), interaksi antara waktu dan suhu penyimpanan berpengaruh nyata terhadap warna susu ( $p<0,05$ ). Panelis mendeteksi pada hari ke-7 bahwa warna susu yang disimpan pada suhu 30°C tidak berbeda nyata, sedangkan susu pada penyimpanan suhu 40°C dan 50°C berbeda nyata dengan skor 2,3 dan 2,7. Penyimpanan hari ke-14 menunjukkan bahwa warna susu yang disimpan pada suhu 30°C mulai terdeteksi berbeda nyata dengan skor 2,5. Susu yang disimpan pada suhu 40°C dan 55°C juga berbeda dengan penyimpanan minggu sebelumnya yaitu dengan skor sebesar 3 dan 3,4. Pada hari ke-21, terjadi peningkatan skor perbedaan, tetapi tidak berbeda dengan minggu sebelumnya pada masing-masing suhu penyimpanan. Peningkatan skor uji sensori terus terjadi hingga hari ke-35 dengan skor 3 untuk susu yang disimpan pada suhu 30°C, skor 3,9 pada susu yang disimpan pada suhu 40°C, dan skor 4,5 pada susu yang disimpan pada suhu 55°C.

Tabel 7 Rataan hasil uji sensori parameter warna

Suhu	Waktu penyimpanan (hari)					
	0	7	14	21	28	35
30°C	1 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	2,5 <sup>bcd</sup>	2,8 <sup>bcd</sup>	2,9 <sup>cde</sup>	3 <sup>cdef</sup>
40°C	1 <sup>a</sup>	2,3 <sup>b</sup>	3 <sup>cdef</sup>	3,2 <sup>def</sup>	3,5 <sup>fg</sup>	3,9 <sup>gh</sup>
55°C	1 <sup>a</sup>	2,7 <sup>bcd</sup>	3,4 <sup>efg</sup>	3,9 <sup>gh</sup>	4,4 <sup>hi</sup>	4,5 <sup>i</sup>

Hasil uji sensori parameter aroma dapat dilihat pada Tabel 8. Berdasarkan hasil uji ANOVA (lampiran 3), interaksi antara waktu dan suhu penyimpanan tidak berpengaruh nyata terhadap aroma susu ( $p>0,05$ ). Rataan skor uji parameter aroma pada susu yang disimpan pada suhu 30°C, 40°C, dan 55°C menunjukkan perbedaan nyata ( $p<0,05$ ). Setelah 7 hari penyimpanan, rataan skor uji parameter warna menunjukkan perbedaan nyata dibandingkan minggu sebelumnya dengan skor sebesar 1,77. Pada hari ke-14, rataan skor uji menunjukkan perbedaan nyata dengan skor 2,23. Pola yang sama terjadi hingga hari ke-28 yang menunjukkan perbedaan nyata dibandingkan minggu sebelumnya dengan skor sebesar 28. Pada hari ke-35, rataan skor uji tidak berbeda nyata dibandingkan hari ke-28 dengan skor 3,17.

Tabel 8 Rataan hasil uji sensori parameter aroma

Suhu	Waktu penyimpanan (hari)						Rataan
	0	7	14	21	28	35	
30°C	1	1,3	1,9	2,2	2,7	2,7	1,97 <sup>a</sup>
40°C	1	1,7	2,1	2,5	2,9	3	2,20 <sup>b</sup>
55°C	1	2,3	2,7	3,1	3,7	3,8	2,77 <sup>c</sup>
Rataan	1 <sup>a</sup>	1,77 <sup>b</sup>	2,23 <sup>c</sup>	2,60 <sup>d</sup>	3,10 <sup>e</sup>	3,17 <sup>e</sup>	

Hasil uji sensori creamrise susu dapat dilihat pada Tabel 9. Berdasarkan hasil uji ANOVA (lampiran 3), interaksi antara waktu dan suhu penyimpanan berpengaruh nyata terhadap creamrise susu ( $p<0,05$ ). Pada hari ke-7 perbedaan belum terjadi pada susu yang disimpan pada suhu 30°C, tetapi perbedaan nyata sudah terlihat pada susu yang disimpan pada suhu 40°C dan 55°C. Pada hari ke-14, mulai terdeteksi perbedaan creamrise dengan skor 1,7 pada susu yang disimpan pada suhu 30°C. Pada susu yang disimpan pada suhu 40°C dan 55°C pun terlihat perbedaan yang nyata dengan skor 2,7 dan 3. Hari ke-21 peningkatan skor perbedaan hasil uji sensori terus terjadi pada masing-masing suhu yaitu sebesar 2,9 pada susu yang disimpan pada suhu 30°C, skor 3,5 pada susu yang disimpan pada suhu 40°C, dan skor 3,9 pada susu yang disimpan pada suhu 55°C yang menunjukkan adanya perbedaan nyata dari minggu sebelumnya. Pada hari ke-28 peningkatan creamrise yang terjadi pada susu yang disimpan pada suhu 30°C dan 40°C tidak berbeda nyata yaitu dengan skor 3,2 dan 3,6. Sementara itu, pada susu yang disimpan pada suhu 55°C terdeteksi perbedaan nyata yaitu dengan skor 4,6. Hingga hari ke-35 tidak terjadi perbedaan yang nyata dibandingkan dengan hari ke-28 yaitu sebesar 3,2 pada susu yang disimpan pada suhu 30°C, skor 4 pada susu yang disimpan pada suhu 40°C, dan skor 5 pada susu yang disimpan pada suhu 55°C.

Tabel 9 Rataan hasil uji sensori parameter *creamrise*

Suhu	Waktu penyimpanan (hari)					
	0	7	14	21	28	35
30°C	1 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	1,7 <sup>bc</sup>	2,9 <sup>d</sup>	3,2 <sup>de</sup>	3,2 <sup>de</sup>
40°C	1 <sup>a</sup>	1,6 <sup>b</sup>	2,7 <sup>d</sup>	3,5 <sup>ef</sup>	3,6 <sup>efg</sup>	4 <sup>g</sup>
55°C	1 <sup>a</sup>	2,1 <sup>c</sup>	3 <sup>d</sup>	3,9 <sup>fg</sup>	4,6 <sup>h</sup>	5 <sup>h</sup>

Hasil uji sensori parameter overall dapat dilihat pada tabel 10. Berdasarkan hasil uji ANOVA (lampiran 3), interaksi antara waktu dan suhu penyimpanan berpengaruh nyata terhadap overall susu ( $p<0,05$ ). Pada hari ke-7 berbeda nyata pada 3 taraf suhu penyimpanan. Susu yang disimpan pada suhu 30°C skor hasil uji sensori yaitu sebesar 1,5, kemudian pada susu yang disimpan pada suhu 40°C sebesar 2,3. Skor perbedaan terbesar terjadi pada susu yang disimpan pada suhu 55°C yaitu sebesar 2,7. Skor meningkat pada hari ke-14 dan berbeda nyata pada susu yang disimpan pada suhu 30°C yaitu sebesar 2,3. Sementara itu, pada susu yang disimpan pada suhu 40°C dan 55°C terjadi peningkatan, tetapi tidak berbeda nyata yaitu sebesar 2,6 dan 2,9. Pada hari ke-21, perbedaan nyata ditunjukkan oleh susu yang disimpan pada suhu 40°C dan 55°C dengan skor 3,3 dan 3,8. Peningkatan skor uji sensori pada suhu 30°C tidak berbeda nyata yaitu sebesar 2,6. Pada hari ke-28 hanya susu yang disimpan pada suhu 55°C yang berbeda nyata dari hari sebelumnya yaitu dengan skor 4,3. Hari ke-35, peningkatan skor perbedaan pada susu yang disimpan pada suhu 30°C berbeda nyata dengan skor 3,3. Sementara itu, pada susu yang disimpan pada suhu 40°C dan 55°C tidak berbeda nyata yaitu dengan skor 3,8 dan 4,6.

Tabel 10 Rataan hasil uji sensori parameter overall

Suhu	Waktu penyimpanan (hari)					
	0	7	14	21	28	35
30°C	1 <sup>a</sup>	1,5 <sup>b</sup>	2,3 <sup>c</sup>	2,6 <sup>cd</sup>	2,7 <sup>cd</sup>	3,3 <sup>ef</sup>
40°C	1 <sup>a</sup>	2,3 <sup>c</sup>	2,6 <sup>cd</sup>	3,3 <sup>ef</sup>	3,5 <sup>fg</sup>	3,8 <sup>g</sup>
55°C	1 <sup>a</sup>	2,7 <sup>cd</sup>	2,9 <sup>de</sup>	3,8 <sup>g</sup>	4,3 <sup>h</sup>	4,6 <sup>h</sup>

Berdasarkan hasil uji sensori pada masing-masing parameter menunjukkan bahwa panelis mendeteksi perbedaan yang semakin tinggi selama masa penyimpanan sampel. Semakin tinggi suhu penyimpanan, maka perbedaan yang terdeteksi oleh panelis pun semakin tinggi. Menurut Susanto (2020), reaksi pencoklatan non-enzimatis seperti reaksi maillard yang terjadi karena adanya interaksi gula pereduksi dan protein dapat menyebabkan perubahan warna menjadi kecoklatan. Selain itu, reaksi tersebut juga dapat menimbulkan aroma khusus, sehingga panelis mendeteksi adanya perbedaan aroma.

Reaksi maillard tetap dapat berlangsung selama penyimpanan susu, tetapi dipengaruhi oleh suhu penyimpanannya. Semakin rendah suhu penyimpanan, maka perubahan karakter susu akibat reaksi maillard yang terjadi semakin tidak signifikan (Lalwani 2024). Lapisan tipis atau creamrise dapat muncul karena terjadi pemisahan lemak yang diakibatkan oleh suhu dan waktu penyimpanan (Lu *et al.* 2013). Viskositas lemak akan menurun dan terjadi perbedaan densitas antara

partikel lemak dan fase cairnya (Karlsson *et al.* 2019). Hal tersebut, memungkinkan pergerakan partikel lemak menjadi lebih cepat untuk membentuk gumpalan. Densitas gumpalan lemak yang lebih rendah akan mengapung di atas permukaan susu selama penyimpanan.

#### 4) Kadar Protein

Hasil uji kadar protein dapat dilihat pada tabel 11. Berdasarkan uji ANOVA (lampiran 4), interaksi antara waktu dan suhu penyimpanan tidak berpengaruh nyata terhadap kadar protein ( $p>0,05$ ). Kadar protein susu yang disimpan pada suhu 30°C, 40°C, dan 55°C tidak menunjukkan perbedaan yang nyata ( $p>0,05$ ). Selama waktu penyimpanan hingga hari ke-35, kadar protein susu tidak menunjukkan perbedaan nyata ( $p>0,05$ ). Hasil pengukuran kadar protein tersebut menggunakan milkoscan menunjukkan spektrum cahaya yang diteruskan dan yang diserap oleh susu. Protein memiliki pola penyerapan yang khas sehingga hasil dari spektrum tersebut akan dibandingkan dengan spektrum referensi sehingga hasil pengukuran akan ditampilkan sebagai kadar protein pada sampel susu. Apabila ditinjau berdasarkan SNI 3950 (2014) susu UHT full cream memiliki kadar protein minimal 2,7% (BSN 2014). Sementara itu, PT. XYZ memiliki spesifikasi kandungan protein tersendiri yaitu sebesar 3,10 – 3,30%. Kadar protein susu pada hari ke-0 yaitu 2,93%. Meskipun nilai ini tidak memenuhi standar yang ditentukan oleh perusahaan, nilai kadar protein tersebut masih memenuhi standar SNI. Menurut (Novia *et al.* 2011), kadar protein dapat menurun selama penyimpanan karena pengaruh suhu tinggi yang dapat menyebabkan protein terdenaturasi. Hasil pengukuran kadar protein tersebut, sejalan dengan penelitian Lim *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa selama waktu penyimpanan, kadar protein susu tidak berubah secara signifikan. Selama waktu penyimpanan, kadar protein susu dapat mengalami proses denaturasi. Denaturasi terjadi ketika protein mengalami perubahan atau perusakan struktur sekunder dan tersiernya akibat proses pemanasan (Mejares *et al.* 2022). Proses pemanasan dengan suhu tinggi juga dapat menyebabkan perubahan stabilitas protein selama waktu penyimpanan (Khrisna *et al.* 2021).

Tabel 11 Hasil uji kadar protein

Suhu	Waktu penyimpanan (hari)						Rataan
	0	7	14	21	28	35	
30°C	2,92%	2,91%	2,90%	2,94%	2,93%	2,88%	2,91% <sup>a</sup>
40°C	2,92%	2,90%	2,92%	2,92%	2,93%	2,87%	2,91% <sup>a</sup>
55°C	2,92%	2,95%	2,96%	2,90%	2,91%	2,98%	2,94% <sup>a</sup>
Rataan	2,92% <sup>a</sup>	2,92% <sup>a</sup>	2,93% <sup>a</sup>	2,92% <sup>a</sup>	2,92% <sup>a</sup>	2,91% <sup>a</sup>	

#### 5) Kadar Lemak

Kadar lemak susu cenderung mengalami penurunan seperti yang dapat dilihat pada tabel 12. Pada hasil uji ANOVA (lampiran 5), interaksi antara waktu dan suhu penyimpanan tidak berpengaruh nyata terhadap kadar lemak susu ( $p>0,05$ ). Penurunan kadar lemak pada susu yang disimpan suhu 30°C, 40°C, dan 55°C menunjukkan hasil yang berbeda nyata ( $p<0,05$ ), tetapi kadar lemak tidak berbeda

nyata selama penyimpanan hingga hari ke-35. ( $p>0,05$ ). Rataan kadar lemak pada susu yang disimpan pada suhu 30°C dan 40 °C tidak berbeda nyata yaitu sebesar 3,56% dan 3,34%. Rataan kadar lemak susu yang disimpan pada suhu 40°C dan 55 °C juga tidak berbeda nyata. Perbedaan nyata hanya terlihat pada susu yang disimpan pada suhu penyimpanan 30°C dan 55°C. Rataan kadar lemak susu yang disimpan pada suhu 55°C yaitu sebesar 3,26%. Hasil pengukuran kadar lemak dengan milkoscan tersebut menunjukkan spektrum cahaya yang diteruskan dan yang diserap oleh sampel. Lemak memiliki pola penyerapan yang khas sehingga hasil dari spektrum tersebut akan dibandingkan dengan spektrum referensi sehingga hasil pengukuran akan ditampilkan sebagai kadar lemak pada sampel uji. Apabila ditinjau berdasarkan SNI 3950 (2014) susu UHT full cream memiliki kadar protein minimal 3,0% (BSN 2014). Sementara itu, PT. XYZ memiliki spesifikasi yang tersendiri untuk kandungan lemak yaitu sebesar 3,40 – 3,60%. Hasil penelitian Taw *et al.* (2014) dan Hamad *et al.* (2017) menunjukkan bahwa penyimpanan susu pada beberapa suhu yang berbeda tidak menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan. Menurut De Longhi *et al.* (2012), penurunan nilai kadar lemak pada susu UHT dapat dipengaruhi oleh penggunaan susu yang memiliki karakteristik lemak lebih rendah dari spesifikasi yang ditentukan. Suhu dan waktu penyimpanan berdampak pada pemisahan lemak yang terjadi yang ditunjukkan oleh lemak yang mengambang di permukaan susu (Lu *et al.* 2013). Pemisahan lemak terjadi karena adanya perbedaan densitas antara fase lemak dan cair (Karlsson *et al.* 2019). Menurut Rabbi (2024), perubahan karakteristik lemak tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti jumlah kandungan lemak susu, proses pemanasan, serta kondisi penyimpanan.

Tabel 12 Hasil uji kadar lemak

Suhu	Waktu penyimpanan (hari)						Rataan
	0	7	14	21	28	35	
30°C	3,53%	3,59%	3,56%	3,58%	3,59%	3,55%	3,56% <sup>a</sup>
40°C	3,53%	3,46%	3,31%	2,92%	3,46%	3,38%	3,34% <sup>ab</sup>
55°C	3,53%	3,32%	3,14%	3,01%	3,30%	3,26%	3,26% <sup>b</sup>
Rataan	3,53%	3,45%	3,33%	3,17%	3,45%	3,39%	

#### 4.3 Kinetika Penurunan Mutu selama Penyimpanan

Kinetika penurunan mutu didapatkan dari plot nilai parameter mutu selama penyimpanan sebagai sumbu y dan waktu penyimpanan sebagai sumbu x pada masing-masing suhu penyimpanan. Kurva regresi linear pada orde nol menghubungkan nilai mutu parameter terhadap waktu penyimpanan. Sementara itu, kurva regresi linear orde satu menghubungkan nilai  $\ln$  mutu parameter terhadap waktu penyimpanan. Dari kurva tersebut diperoleh tingkat korelasinya ( $R^2$ ) dengan fitur pada perangkat lunak Microsoft excel. Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) menunjukkan tingkat keakuratan prediksi hubungan perubahan mutu dan waktu penyimpanan. Nilai koefisien determinasi yang dapat digunakan yaitu ( $R^2 \geq 0,75$ ). Nilai koefisien determinasi hasil analisis regresi linear disajikan pada Tabel 13. Parameter-parameter yang memiliki nilai koefisien determinasi ( $R^2 \geq 0,75$ ) adalah

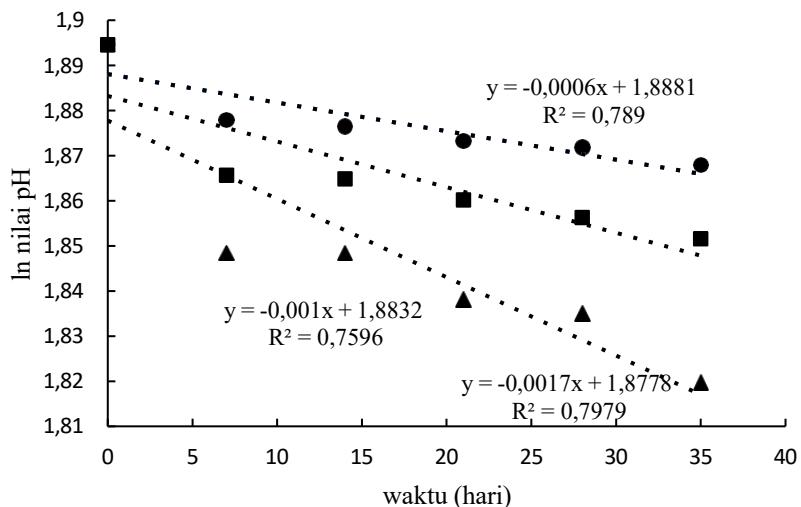
pH, warna, aroma, rasa, creamrise, dan overall yang selanjutnya digunakan untuk menghitung umur simpan susu.

Tabel 13 Koefisien determinasi orde reaksi 0 dan 1 dari masing-masing parameter

Parameter	Suhu	R <sup>2</sup> orde 0	R <sup>2</sup> orde 1	Orde terpilih
pH	30	0,7862	0,7890	1
	40	0,7549	0,7596	
	55	0,7905	0,7979	
Sedimentasi	30	0,6549	0,6507	-
	40	0,6859	0,6756	
	55	0,6702	0,6615	
Warna (sensori)	30	0,8660	0,8155	0
	40	0,8879	0,7587	
	55	0,8794	0,7386	
Aroma (sensori)	30	0,9606	0,9304	0
	40	0,9589	0,8827	
	55	0,9164	0,7911	
Rasa (sensori)	30	0,9796	0,9748	1
	40	0,9635	0,9772	
	55	0,9448	0,9459	
Creamrise (sensori)	30	0,8995	0,8878	0
	40	0,9386	0,8765	
	55	0,9803	0,8846	
Overall (sensori)	30	0,9535	0,7868	0
	40	0,9104	0,8957	
	55	0,9214	0,7816	
Kadar protein	30	0,0992	0,1008	-
	40	0,2170	0,2184	
	55	0,0332	0,0323	
Kadar lemak	30	0,1227	0,0997	-
	40	0,0741	0,0692	
	55	0,2158	0,1814	

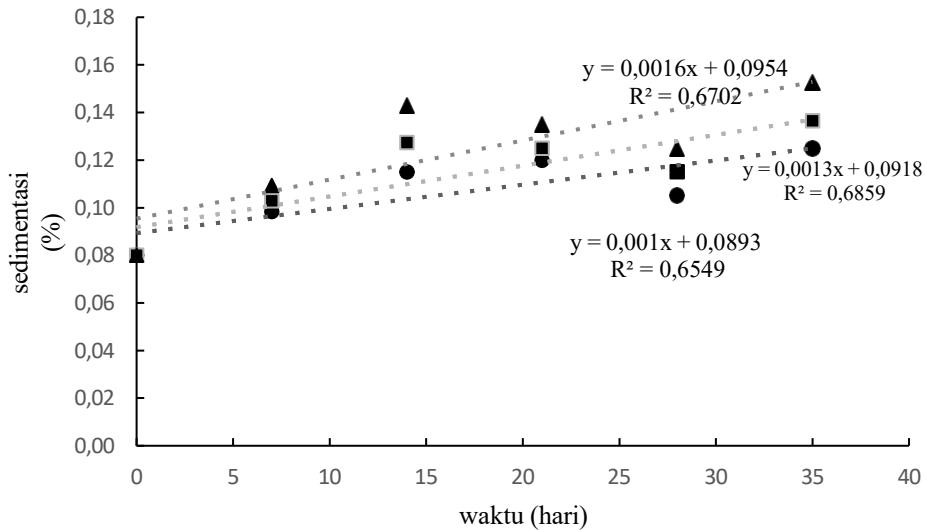
Dari parameter tersebut dapat dilihat laju penurunan mutu yang terjadi. Gambar 1 menunjukkan pada parameter pH terpilih orde 1 dengan nilai konstanta

penurunan mutu ( $k$ ) pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  yaitu  $0,0006$ , pada suhu  $40^{\circ}\text{C}$  yaitu  $0,001$ , dan pada suhu  $55^{\circ}\text{C}$  sebesar  $0,0017$ . Berdasarkan nilai konstanta penurunan mutu yang terjadi pada pH sampel terlihat bahwa semakin tinggi suhu penyimpanan akan menghasilkan nilai konstanta penurunan yang lebih besar yang berarti kerusakan mutu yang terjadi semakin cepat. Seperti dapat dilihat pada Tabel 11 dan gambar 1, koefisien determinasi kurva hubungan penurunan mutu pH dengan waktu penyimpanan memiliki nilai yang tinggi yaitu  $0,789$  pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$ , pada suhu  $40^{\circ}\text{C}$  sebesar  $0,7596$ , dan pada suhu  $55^{\circ}\text{C}$  sebesar  $0,7979$ . Hal tersebut menunjukkan bahwa akurasi kurva regresi untuk parameter pH cukup tinggi selama waktu penyimpanan.



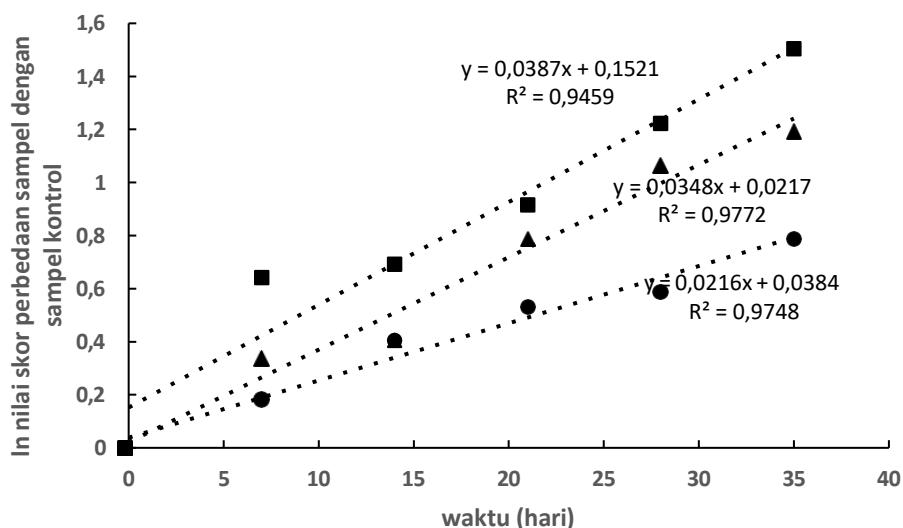
Gambar 1 Kinetika penurunan pH selama waktu penyimpanan pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  (●),  $40^{\circ}\text{C}$  (■), dan  $55^{\circ}\text{C}$  (▲)

Kinetika laju penurunan mutu parameter sedimentasi seperti dapat dilihat pada gambar 2 menunjukkan adanya peningkatan. Nilai konstanta penurunan mutu pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  sebesar  $0,001$ , pada suhu  $40^{\circ}\text{C}$  sebesar  $0,0013$ , dan pada suhu  $55^{\circ}\text{C}$  sebesar  $0,0016$ . Berdasarkan hasil tersebut, terlihat bahwa suhu penyimpanan yang lebih tinggi menghasilkan sedimentasi yang lebih cepat. Namun, berdasarkan koefisien determinasinya tidak lebih dari  $0,75$ . Pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  koefisien determinasi persamaan regresi sebesar  $0,6549$ , kemudian pada suhu  $40^{\circ}\text{C}$  koefisien determinasi persamaan regresi sebesar  $0,6859$ . Sementara itu, pada suhu  $55^{\circ}\text{C}$ , koefisien determinasi persamaan regresi yang dihasilkan yaitu sebesar  $0,6702$ . Berdasarkan nilai koefisien determinasinya, akurasi kurva regresi untuk parameter sedimentasi kurang baik selama waktu penyimpanan.



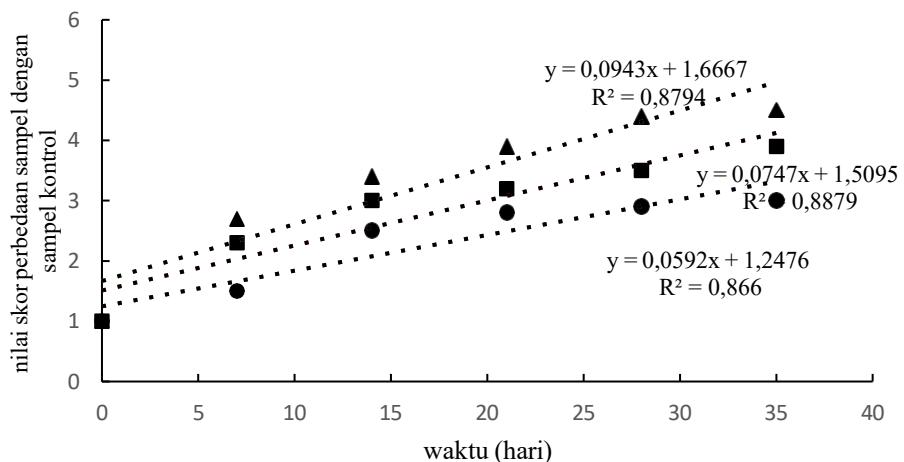
Gambar 2 Kinetika sedimentasi selama waktu penyimpanan pada suhu 30°C (●), 40°C (■), dan 55°C (▲)

Gambar 3 menunjukkan laju penurunan mutu parameter rasa mengikuti reaksi orde 1 menunjukkan adanya peningkatan laju penurunan mutu. Pada suhu 30°C konstanta penurunan mutu yang dihasilkan yaitu 0,0216, pada suhu 40°C sebesar 0,0348, dan pada suhu 55°C yaitu 0,0387. Koefisien determinasi kurva hubungan penurunan mutu rasa dengan waktu penyimpanan sangat tinggi yaitu hampir mendekati nilai 1. Hal tersebut menunjukkan bahwa kurva regresi dapat memprediksi penurunan mutu pada parameter rasa dengan akurat selama waktu penyimpanan. Koefisien determinasi persamaan regresi pada suhu 30°C yaitu sebesar 0,9748. Selanjutnya, pada suhu 40°C koefisien determinasi persamaan regresinya adalah sebesar 0,9772 dan koefisien determinasi persamaan regresi pada suhu 55°C adalah sebesar 0,9459.



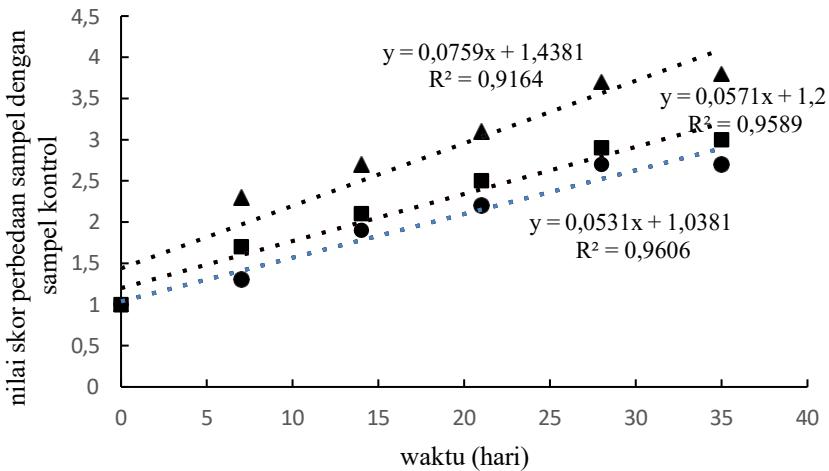
Gambar 3 Kinetika parameter rasa susu selama waktu penyimpanan pada suhu 30°C (●), 40°C (■), 55°C (▲), dan kontrol (◆)

Gambar 4 menunjukkan nilai konstanta penurunan mutu pada suhu 30°C sebesar 0,0592, pada suhu 40°C sebesar 0,0747, dan pada suhu 55°C sebesar 0,0943. Adanya peningkatan nilai konstanta penurunan mutu tersebut menandakan bahwa panelis mendeteksi perbedaan warna dengan sampel kontrol semakin besar pada susu yang disimpan pada suhu yang lebih tinggi. Sementara itu, koefisien determinasi persamaan regresi yang dihasilkan pada suhu 30°C yaitu sebesar 0,8660. Pada suhu 40°C koefisien determinasi persamaan regresi yang dihasilkan lebih tinggi yaitu sebesar 0,8879. Pada suhu 55°C, koefisien determinasi persamaan regresinya yaitu 0,8794. Nilai koefisien determinasi yang dihasilkan pada parameter warna relatif tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa akurasi kurva regresi untuk parameter warna cukup baik selama waktu penyimpanan.



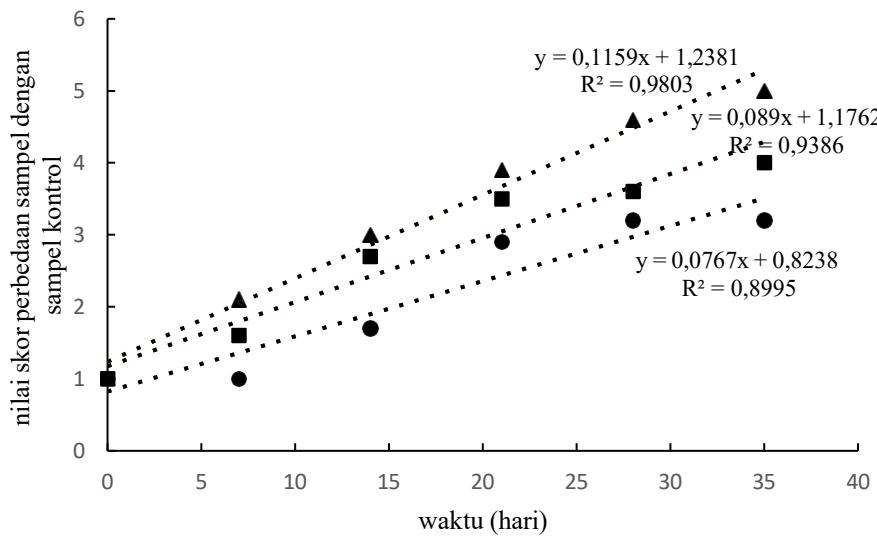
Gambar 4 Kinetika parameter warna susu selama waktu penyimpanan pada suhu 30°C (●), 40°C (■), 55°C (▲), dan kontrol (◆)

Pada parameter aroma seperti dapat dilihat pada gambar 5, konstanta penurunan mutu aroma susu yang dihasilkan pada suhu 30°C yaitu 0,0531, pada suhu 40°C yaitu 0,0571, pada suhu 55°C yaitu 0,0759. Semakin tinggi suhu penyimpanan maka perbedaan aroma yang terdeteksi oleh panelis juga semakin besar. Sementara itu, koefisien determinasi persamaan regresi pada suhu 30°C yaitu sebesar 0,9606, pada suhu 40°C koefisien determinasi persamaan regresinya lebih tinggi yaitu sebesar 0,9589. Pada suhu 55°C, koefisien determinasi persamaan regresinya yaitu sebesar 0,9164. Nilai koefisien determinasi yang dihasilkan pada parameter aroma sangat tinggi hingga mendekati nilai 1, yang menunjukkan bahwa kurva regresi dapat memprediksi penurunan mutu pada parameter aroma dengan akurat selama waktu penyimpanan.



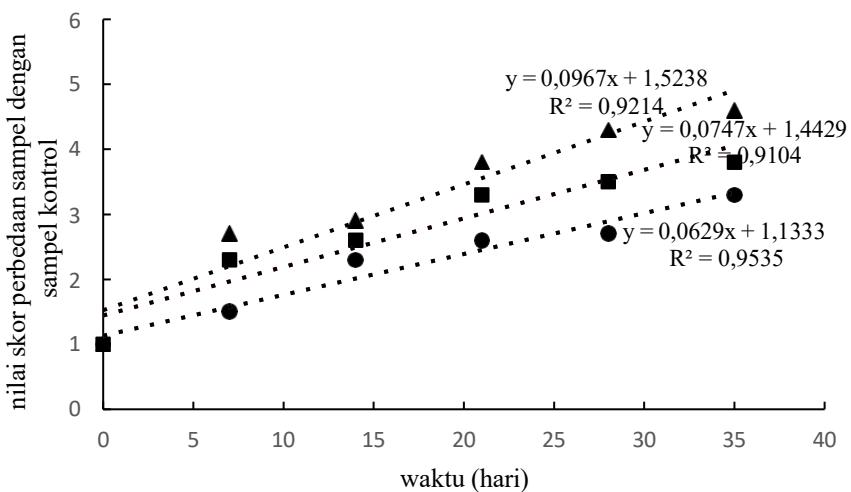
Gambar 5 Kinetika parameter aroma susu selama waktu penyimpanan pada suhu 30°C (●), 40°C (■), 55°C (▲), dan kontrol (◆)

Sebagai dapat dilihat pada gambar 6, pola pada parameter creamrise yang dihasilkan yaitu semakin tinggi suhu penyimpanan menghasilkan skor uji sensori yang semakin besar. Konstanta penurunan mutu pada suhu 30°C yaitu sebesar 0,0767, pada suhu 40°C sebesar 0,089, dan pada suhu 55°C sebesar 0,1159. Sementara itu, koefisien determinasi persamaan regresi pada suhu 30°C yaitu sebesar 0,8995. Pada suhu 40°C koefisien determinasi persamaan regresinya lebih tinggi yaitu sebesar 0,9386. Pada suhu 55°C, koefisien determinasi persamaan regresinya yaitu sebesar 0,9803. Nilai koefisien determinasi yang dihasilkan pada parameter creamrise sangat tinggi yang menunjukkan bahwa kurva regresi dapat memprediksi penurunan mutu pada parameter *creamrise* dengan akurat selama waktu penyimpanan



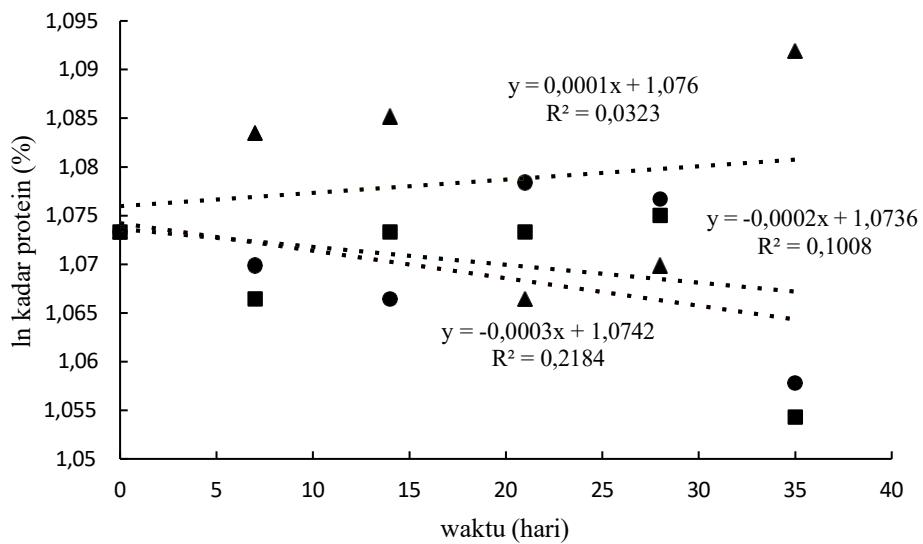
Gambar 6 Kinetika parameter *creamrise* susu selama waktu penyimpanan pada suhu 30°C (●), 40°C (■), 55°C (▲), dan kontrol (◆)

Pada parameter overall seperti dapat dilihat pada gambar 7, konstanta penurunan mutu pada suhu 30°C sebesar 0,0629, pada suhu 40°C sebesar 0,747, dan pada suhu 55°C sebesar 0,0967. Sementara itu, koefisien determinasi persamaan regresi pada suhu 30°C yaitu sebesar 0,9535. Pada suhu 40°C koefisien determinasi persamaan regresinya lebih tinggi yaitu sebesar 0,9104. Pada suhu 55°C, koefisien determinasi persamaan regresinya yaitu sebesar 0,9214. Nilai koefisien determinasi yang dihasilkan pada parameter overall relatif tinggi yang menunjukkan bahwa kurva regresi dapat memprediksi penurunan pada parameter overall dengan akurat selama waktu penyimpanan.



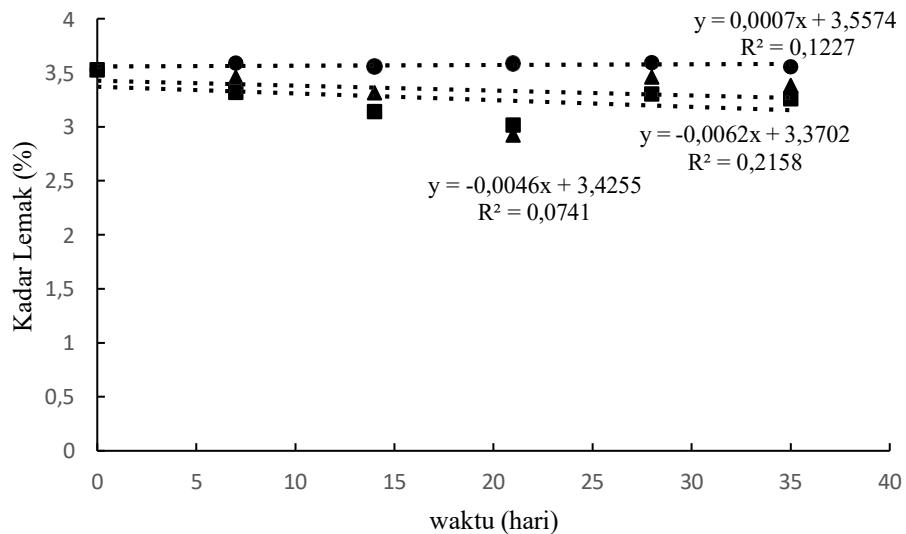
Gambar 7 Kinetika parameter *overall* susu selama waktu penyimpanan pada suhu 30°C (●), 40°C (■), 55°C (▲), dan kontrol (◆)

Seperti dapat dilihat pada gambar 8, koefisien penurunan mutu kadar protein pada suhu 30°C sebesar 0,0002, kemudian pada suhu 40°C sebesar 0,0003, dan pada suhu 55°C yaitu sebesar 0,0001. Sementara itu, koefisien determinasi persamaan regresi pada suhu 30°C yaitu sebesar 0,1008. Pada suhu 40°C koefisien determinasi persamaan regresi lebih tinggi yaitu sebesar 0,2184. Pada suhu 55°C, koefisien determinasi persamaan regresinya yaitu sebesar 0,0323. Nilai koefisien determinasi yang dihasilkan pada parameter kadar protein cenderung rendah. Hal tersebut menunjukkan bahwa akurasi analisis regresi untuk parameter kadar protein kurang baik selama waktu penyimpanan.



Gambar 8 Kinetika kadar protein susu selama waktu penyimpanan pada suhu 30°C (●), 40°C (■), dan 55°C (▲)

Seperti dapat dilihat pada gambar 9, koefisien penurunan mutu kadar lemak pada suhu 30°C sebesar 0,0007, kemudian pada suhu 40°C sebesar 0,0046, dan pada suhu 55°C yaitu sebesar 0,0062. Sementara itu, koefisien determinasi persamaan regresi pada suhu 30°C yaitu sebesar 0,1227. Pada suhu 40°C koefisien determinasi persamaan regresinya lebih tinggi yaitu sebesar 0,0741. Pada suhu 55°C, koefisien determinasi persamaan regresi yaitu sebesar 0,2158. Nilai koefisien determinasi yang dihasilkan pada parameter kadar protein lemak sangat rendah. Hal tersebut menunjukkan bahwa akurasi analisis regresi untuk parameter kadar lemak kurang baik selama waktu penyimpanan.



Gambar 9 Kinetika kadar lemak susu selama waktu penyimpanan pada suhu 30°C (●), 40°C (■), dan 55°C (▲)

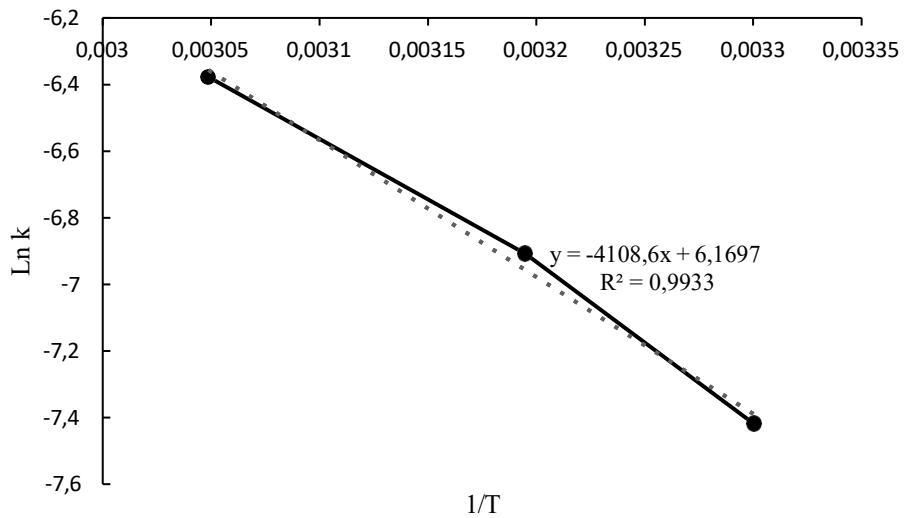
#### 4.4 Pendugaan Umur Simpan

Nilai gradien atau konstanta penurunan mutu dari persamaan parameter yang dihasilkan selanjutnya digunakan untuk menentukan kurva *Arrhenius* hubungan antara nilai  $\ln k$  dengan  $1/T$  merujuk persamaan  $\ln k = \ln k_0 - (Ea/RT)$ . Hasil analisis regresi linear untuk menghitung nilai  $k_{25}$  disajikan pada Tabel 14.

Tabel 14 Nilai  $k$  parameter terpilih

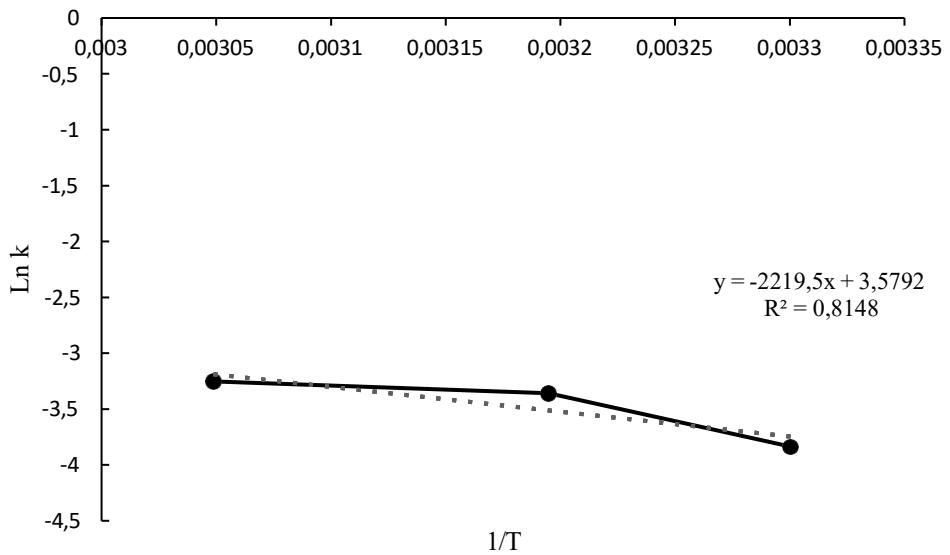
Parameter	Suhu (°C)	Suhu (K)	1/T (1/K)	Ln k	k	Persamaan Regresi
pH	30	303	0,00330	-7,4185	0,0006	$y = -4108,6x + 6,1697$
	40	313	0,00319	-6,9077	0,0010	$\ln k = -4108,6 \left(\frac{1}{T}\right) + 6,1697$
	55	328	0,00304	-6,3771	0,0017	
rasa	30	303	0,00330	-2,5996	0,0743	$y = -2219,5x + 3,5792$
	40	313	0,00319	-2,4146	0,0894	$\ln k = -2219,5 \left(\frac{1}{T}\right) + 3,5792$
	55	328	0,00304	-2,2547	0,1049	
warna	30	303	0,00330	-2,8268	0,0592	$y = -1834,9x + 3,2432$
	40	313	0,00319	-2,5942	0,0747	$\ln k = -1834,9 \left(\frac{1}{T}\right) + 3,2432$
	55	328	0,00304	-2,3612	0,0943	
aroma	30	303	0,00330	-2,9335	0,0531	$y = -1452,9x + 1,8299$
	40	313	0,00319	-2,8629	0,0571	$\ln k = -1452,9 \left(\frac{1}{T}\right) + 1,8299$
	55	328	0,00304	-2,5783	0,0759	
creamrise	30	303	0,00330	-2,5678	0,0767	$y = -1651,5x + 2,8732$
	40	313	0,00319	-2,4191	0,0890	$\ln k = -1651,5 \left(\frac{1}{T}\right) + 2,8732$
	55	328	0,00304	-2,1550	0,1159	
overall	30	303	0,00330	-2,7662	0,0629	$y = -1713,2x + 2,8848$
	40	313	0,00319	-2,5942	0,0747	$\ln k = -1713,2 \left(\frac{1}{T}\right) + 2,8848$
	55	328	0,00304	-2,3361	0,0967	

Dari data konstanta penurunan mutu parameter pada 3 taraf suhu penyimpanan dan suhu penyimpanan, dibuat kurva regresi linear hubungan nilai  $\ln k$  dengan  $1/T$ . Pada parameter pH susu seperti dapat dilihat pada gambar 10, hasil persamaan regresi yang diperoleh yaitu  $y = -4108,6x + 6,1697$  atau  $\ln k = -4108,6 \left(\frac{1}{T}\right) + 6,1697$  dengan koefisien determinasi sebesar 0,9933. Nilai koefisien determinasi yang mendekati 1 tersebut menunjukkan bahwa akurasi analisis regresi sesuai dengan konstanta penurunan mutu pH pada 3 taraf suhu penyimpanan.



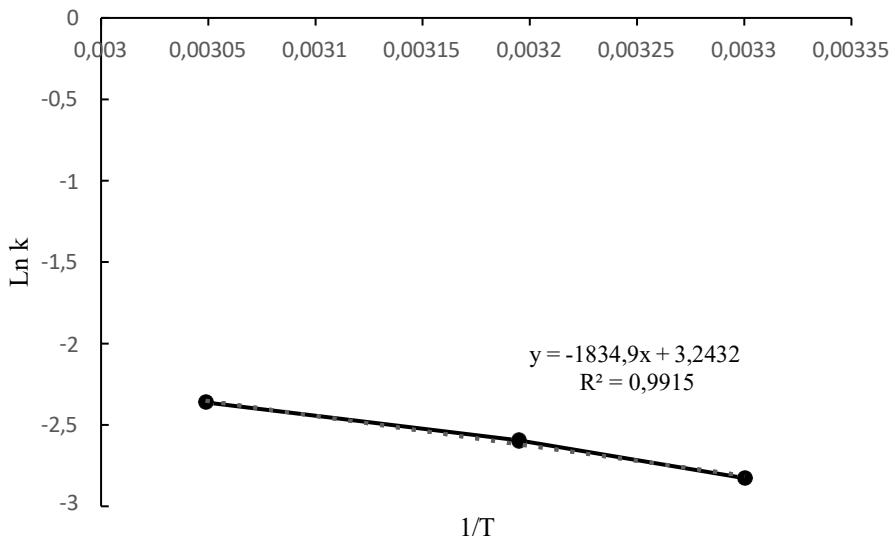
Gambar 10 Kurva regresi nilai  $\ln k$  dan  $1/T$  parameter pH

Untuk parameter rasa susu, seperti dapat dilihat pada gambar 11, persamaan regresi yang diperoleh adalah  $y = -2219,5x + 3,5792$  atau  $\ln k = -2219,5 \left(\frac{1}{T}\right) + 3,5792$  dengan koefisien determinasi sebesar 0,8148. Nilai koefisien determinasi yang cukup besar tersebut menunjukkan bahwa akurasi analisis regresi sesuai dengan konstanta penurunan mutu parameter rasa pada 3 taraf suhu penyimpanan.



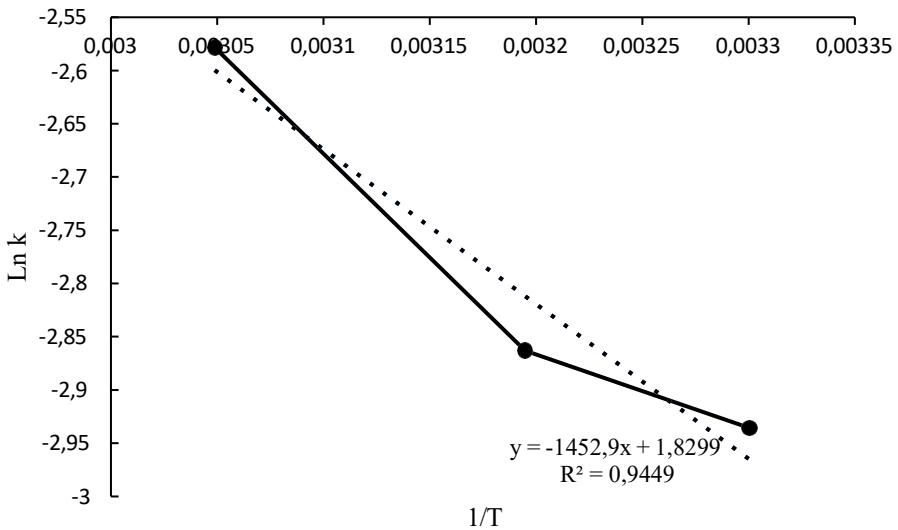
Gambar 11 Kurva regresi nilai  $\ln k$  dan  $1/T$  parameter rasa

Untuk parameter warna susu, seperti dapat dilihat pada gambar 12, persamaan regresi yang diperoleh adalah  $y = -1834,9x + 3,2432$  atau  $\ln k = -1834,9 \left(\frac{1}{T}\right) + 3,2432$  dengan koefisien determinasi sebesar 0,9915. Nilai koefisien determinasi yang mendekati 1 tersebut menunjukkan bahwa akurasi analisis regresi sesuai dengan konstanta penurunan mutu parameter warna pada 3 taraf suhu penyimpanan.



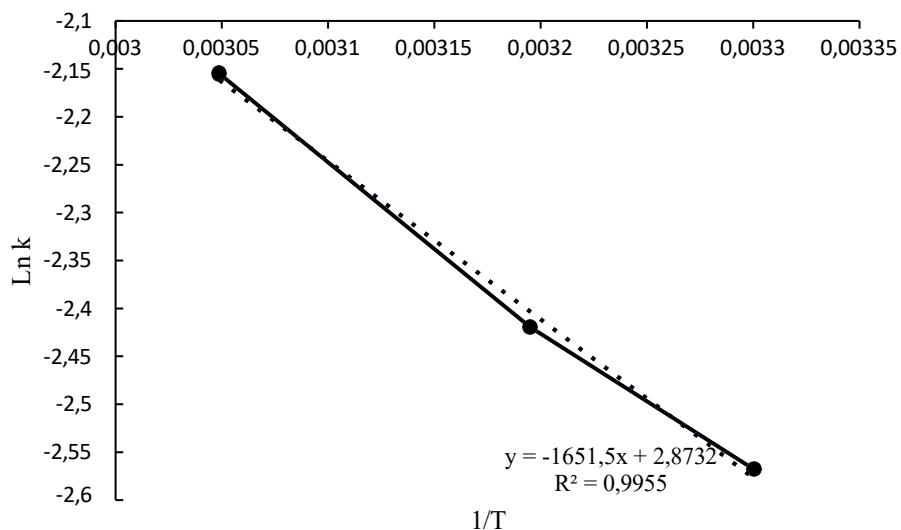
Gambar 12 Kurva regresi nilai  $\ln k$  dan  $1/T$  parameter warna

Pada parameter aroma susu seperti dapat dilihat pada gambar 13, hasil persamaan regresi yang diperoleh yaitu  $y = -1452,9x + 1,8299$  atau  $\ln k = -1452,9 \left(\frac{1}{T}\right) + 1,8299$  dengan koefisien determinasi sebesar 0,9449. Nilai koefisien determinasi yang mendekati 1 tersebut menunjukkan bahwa akurasi analisis regresi sesuai dengan konstanta penurunan mutu parameter aroma pada 3 taraf suhu penyimpanan.



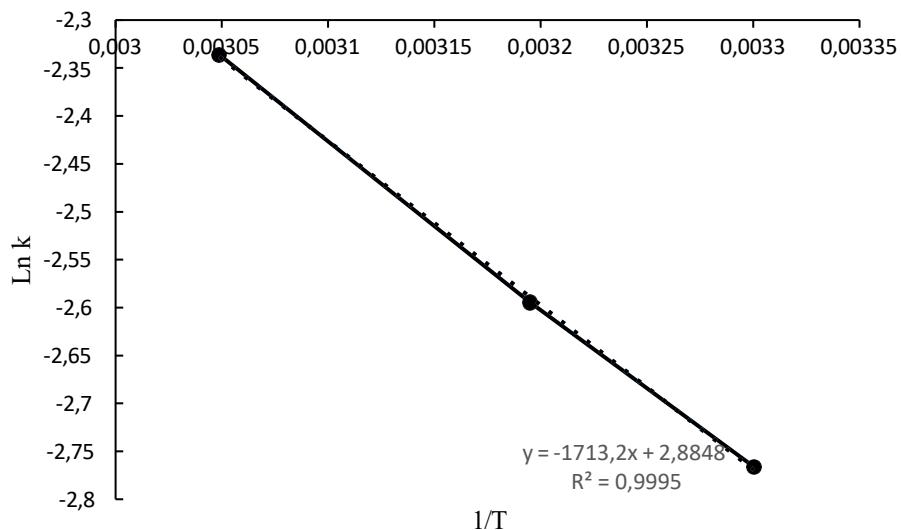
Gambar 13 Kurva regresi nilai  $\ln k$  dan  $1/T$  parameter aroma

Pada parameter *creamrise* susu seperti dapat dilihat pada gambar 14, hasil persamaan regresi yang diperoleh yaitu  $y = -1651,5x + 2,8732$  atau  $\ln k = -1651,5 \left(\frac{1}{T}\right) + 2,8732$  dengan koefisien determinasi sebesar 0,9955. Nilai koefisien determinasi yang mendekati 1 tersebut menunjukkan bahwa akurasi analisis regresi sesuai dengan konstanta penurunan mutu parameter *creamrise* pada 3 taraf suhu penyimpanan.



Gambar 14 Kurva regresi nilai  $\ln k$  dan  $1/T$  parameter *creamrise*

Pada parameter *overall* susu seperti dapat dilihat pada gambar 15, hasil persamaan regresi yang diperoleh yaitu  $y = -1713,2x + 2,8848$  atau  $\ln k = -1713,2 \left(\frac{1}{T}\right) + 2,8848$  dengan koefisien determinasi sebesar 0,9995. Nilai koefisien determinasi yang mendekati 1 tersebut menunjukkan bahwa akurasi analisis regresi sesuai dengan konstanta penurunan mutu parameter *overall* pada 3 taraf suhu penyimpanan.



Gambar 15 Kurva regresi nilai  $\ln k$  dan  $1/T$  parameter *overall*

Setelah mengetahui hubungan nilai  $\ln k$  dan  $1/T$ , berikutnya untuk menghitung umur simpan perlu ditentukan nilai  $k_{25}$  dengan cara ekstrapolasi dari persamaan regresi pada tiap parameter. Contoh perhitungan dapat dilihat pada lampiran 6. Seperti dapat dilihat pada Tabel 15, pada parameter pH, nilai  $k_{25}$  yaitu sebesar 0,0006. Untuk, parameter rasa nilai  $k_{25}$  sebesar 0,0206, sementara pada parameter warna susu, nilai  $k_{25}$  sebesar 0,0540. Parameter aroma memiliki nilai  $k_{25}$  sebesar 0,0469, sedangkan parameter *creamrise* menunjukkan nilai  $k_{25}$  tertinggi,

yaitu 0,0688. Terakhir, pada parameter *overall*, nilai  $k_{25}$  yaitu sebesar 0,0566. Selanjutnya, untuk menghitung umur simpan dapat dilakukan dengan rumus  $t = A_0 / k$  untuk orde 0 dan rumus  $t = (\ln A_0 - \ln A) / k$ . Nilai  $A_0$  merupakan nilai mutu awal yang diukur pada kondisi awal sebelum dilakukan uji lainnya. Sementara itu, nilai  $A$  merupakan nilai titik kritis yang bisa didapatkan berdasarkan standar perusahaan, regulasi terkait, atau pendekatan matematika. PT XYZ menetapkan titik kritis nilai pH yaitu sebesar 6,55. Sementara itu, pada parameter sensori titik kritis sebesar 3 yang menunjukkan nilai moderat dari perbedaan dengan kontrol.

Tabel 15 Nilai  $k_{25}$  dan umur simpan tiap parameter

Parameter	$K_{25}$	$A_0$	$A$	$Ea$ (kal/mol)	Umur Simpan
pH	0,0006	6,65	6,55	8159,67	25 hari
Rasa	0,0206	1	3	4407,92	53 hari
Warna	0,0540	1	3	3634,11	37 hari
Aroma	0,0469	1	3	2885,45	42 hari
<i>Creamrise</i>	0,0688	1	3	3280,07	29 hari
<i>Overall</i>	0,0566	1	3	3402,41	35 hari

Pendugaan umur simpan dilakukan dengan memproyeksikan pada suhu penyimpanan suhu ruang yaitu suhu  $25^{\circ}\text{C}$ . Pada parameter aroma, menggunakan persamaan regresi linear  $y = -1452,9x + 1,8299$  atau  $\ln k = -1452,9 \left(\frac{1}{T}\right) + 1,8299$  umur simpan pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$  berdasarkan parameter aroma susu didapatkan hasil 42 hari. Perhitungan umur simpan pada parameter *creamrise* menunjukkan hasil 29 hari. Sementara itu, pada parameter *overall* umur simpan produk didapatkan hasil 35 hari. Parameter warna pada orde 0 seperti dapat dilihat pada gambar 11 didapatkan persamaan  $y = -1834,9x + 3,2432$  atau  $\ln k = -1834,9 \left(\frac{1}{T}\right) + 3,2432$ . Maka perhitungan umur simpan pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$  warna didapatkan hasil 37 hari. Sementara itu, pada parameter rasa didapatkan nilai umur simpan yaitu 53 hari. Pendugaan umur simpan pada parameter pH pada orde 1 didapatkan pendugaan umur simpan produk susu UHT yaitu sekitar 25 hari. Hasil ini menunjukkan bahwa akan ada penurunan nilai pH di bawah 6,55 setelah 25 hari. Contoh perhitungan nilai  $k_{25}$  dan umur simpan dapat dilihat pada lampiran 6.

Pendugaan umur simpan dengan parameter parameter tersebut menunjukkan hasil yang relatif-jauh dari umum simpan susu UHT pada umumnya dengan parameter pH menjadi parameter kritis karena penurunan mutu terjadi lebih cepat dari parameter lain yaitu 25 hari. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor, salah satunya dari jenis kemasan. Kemasan yang digunakan pada produk susu ini yaitu berjenis *ecolean* dengan lapisannya terdiri dari *Polyolefins* (63%), EVOH (3%), isian dan pigmen (34%). Lapisan *Polyolefins* berupa *Polypropylene* (PP) dan *Polyethylene* (PE). Sebagai isian pengganti plastik digunakan kapur jenis dolomit. Produk susu UHT umumnya menggunakan jenis kemasan *tetra-pack* yang lapisannya terdiri dari tiga bahan berbeda yaitu kertas (75%), *Polyethylene* (PE) (20%), dan alumunium (5%) (Corso *et al.* 2018). Kertas memiliki fungsi pada stabilitas dan ketahanan kemasan. *Polyethylene* memiliki fungsi sebagai pelindung dari kelembaban lingkungan, sedangkan alumunium berfungsi untuk menghalangi cahaya dan oksigen masuk ke dalam produk. Tingkat *Oxygen Transmission Rate*

(OTR) dan *Water Vapour Transmission Rate* (WVTR) yang dimiliki kemasan tetrapak yaitu 0 cc/m<sup>2</sup>/hari dan 0 g/m<sup>2</sup>/hari sehingga dapat melindungi produk selama masa penyimpanan. Sementara itu, pada kemasan *ecolean* yang digunakan PT XYZ lapisan yang berfungsi untuk melindungi dari air dan oksigen yaitu EVOH memiliki nilai *Oxygen Transmission Rate* (OTR) dan *Water Vapour Transmission Rate* (WVTR) berturut-turut sebesar 0-5.2 cc/m<sup>2</sup>/hari dan 20-50 g/m<sup>2</sup>/hari. Apabila dibandingkan dengan kemasan jenis *tetra-pack*, permeabilitas jenis kemasan *ecolean* menunjukkan nilai yang lebih besar, sehingga transmisi oksigen dan uap air yang masuk selama masa penyimpanan menjadi lebih banyak. Hal tersebut dapat menyebabkan penurunan mutu produk dapat terjadi lebih cepat dan umur simpannya tidak selama produk susu UHT yang menggunakan kemasan jenis *tetra-pack*. Faktor lain yang kemungkinan dapat menyebabkan umur simpan produk susu UHT PT XYZ yang pendek yaitu kualitas bahan baku yang digunakan. Sumber susu yang digunakan haruslah dari sapi yang sehat dan bebas dari penyakit. Kebersihan ketika susu segar dihasilkan perlu dilakukan pada kondisi yang higienis sehingga kontaminasi dapat terhindarkan dari alat maupun lingkungannya. Susu yang berkualitas juga akan mempengaruhi nutrisi yang terkandung di dalamnya, seperti lemak, protein, dan laktosa yang dapat mempengaruhi rasa, aroma, maupun karakteristik lain dari susu. Selama proses produksi susu UHT perlu diperhatikan bahwa semua proses dilakukan dengan baik, seperti suhu dan waktu pemanasan terpenuhi, pengemasan harus dalam kondisi steril, penyimpanan dilakukan pada kondisi yang baik sehingga meminimalkan kerusakan. Proses distribusi yang kurang baik juga dapat mempengaruhi umur simpan susu. Kondisi-kondisi yang dapat berpotensi menyebabkan kerusakan pada produk, seperti kebocoran kemasan, suhu penyimpanan, dan potensi cemaran dari lingkungan atau alat transportasi yang tidak bersih perlu diperhatikan agar mendapatkan umur simpan produk yang maksimal.

## V SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Penurunan mutu susu UHT terjadi selama masa penyimpanan pada masing-masing parameter. Pada parameter pH susu, waktu dan suhu penyimpanan berpengaruh terhadap pH susu yang ditunjukkan adanya penurunan pH. Terbentuk sedimentasi selama masa penyimpanan, meskipun tidak dalam jumlah yang signifikan. Pada parameter sensori, panelis dapat mendeteksi adanya perbedaan dibanding sampel kontrol dari segi warna, aroma, rasa, *creamrise*, dan *overall*. Kadar protein susu menunjukkan hasil yang fluktuatif selama masa penyimpanan. Kadar lemak susu cenderung mengalami penurunan, tetapi tidak secara signifikan. Pendugaan umur simpan dilakukan pada parameter yang memiliki koefisien determinasi  $\leq 0,75$  yaitu pada parameter pH, warna, aroma, rasa, *creamrise*, dan *overall*. Parameter kritis dalam perhitungan umur simpan produk susu UHT yaitu parameter pH dengan umur simpan selama 25 hari sebelum mengalami penurunan nilai pH. Sementara itu, pada parameter lain umur simpan produk menunjukkan hasil selama 29 hari pada parameter *creamrise*, 35 hari pada parameter *overall*, 37 hari pada parameter warna, 42 hari pada parameter aroma, dan 53 hari pada parameter rasa.

### 5.2 Saran

Terdapat parameter yang menunjukkan kondisi awal yang menunjukkan kondisi di bawah standar perusahaan. Oleh karena itu, perlu perlakuan atau perhatian lebih agar produk susu UHT saat kondisi *finish good* dapat memenuhi standar regulasi atau standar perusahaan agar ketika sampai di pihak konsumen dalam kondisi yang semestinya. Pada permasalahan gelasi yang terjadi, perlu penelitian lebih lanjut untuk mencari tahu dengan lebih tepat penyebab dan langkah penanganannya. Pada parameter uji sensori agar hasilnya lebih akurat, dapat dilakukan oleh panelis terlatih. Diperlukan peninjauan kembali setelah 25 hari, 29 hari, 37 hari, 42 hari, dan 53 hari terkait mutu produk masih dalam kondisi dapat diterima atau tidak. Selain itu, data mutu produk ketika sudah tidak diterima konsumen perlu ditinjau agar dapat digunakan sebagai informasi tambahan dalam menentukan spesifikasi produk.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Farsi M, Al-Gharibi I, Al-Abri A, Al-Humaimi A, Al-Nabhani F, Al-Hashmi H, Al-Sarmi K, Al-Shibli S. 2021. Evaluating the shelf-life of pasteurized milk in Oman. *Heliyon*. 7(3): 1-6.
- Al-Saadi JMS, Deeth HC. 2008. Cross-linking of proteins and other changes in UHT milk during storage at different temperatures. *The Australian Journal of Dairy Technology*. 63(2): 79-85.
- Antunes IC, Bexiga R, Pinto C, Roseiro LC, Quaresma MAG. 2023. Cow's milk in human nutrition and the emergence of plant-based milk alternatives. *Foods*. 12(1): 1-21.
- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. 18th edn. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA, USA.
- Awulachew MT. 2021. Understanding to shelf-life and product stability of foods. *Journal of Food Technology and Preservation*. 5(8): 1-5.
- BSN. 2011. SNI 3141.1 tentang susu segar-bagian 1: sapi. Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional.
- BSN. 2014. SNI 3950 tentang susu UHT (*Ultra High Temperature*). Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional.
- Cadwallader DC, Gerrard PD, Drake MA. 2023. The role of packaging on the flavor of fluid milk. *Journal Dairy Science*. 106(1): 151-167.
- Cahyaningtyas AA, Pudjiastuti W, Ramdhan I. 2016. Pengaruh suhu penyimpanan terhadap organoleptik, derajat keasaman dan pertumbuhan bakteri *coliform* pada susu pasteurisasi. *Jurnal Riset Teknologi Pangan*. 10(1): 13-23.
- Coolbear T, Janin N, Traill R, Shingleton R. 2022. Heat-induced changes in the sensory properties of milk. *International Dairy Journal*. 126(1):105-199.
- Corso SH, Ferreira AC, Meneghini C. 2018. Thermal analysis of tetra pak packaging as thermal insulation. *International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES)*. 7(3): 8-15.
- Datta N, Deeth HC. 2001. Age gelation of UHT milk-a review. *Food and Bioproducts Processing*. 79(4): 197-210.
- De Longhi R, Spinardi N, Nishimura MT, Miyabe MY, Aragon ALC, De Rezende CM, De Santana EHW. 2012. A survey of the physicochemical and microbiological quality of ultra heat treated whole milk in Brazil during their shelf life. *International Journal of Dairy Technology*. 65(1): 45-50.
- Deeth HC, Lewis MJ. 2017. High temperature processing of milk and milk products. Chichester (UK): John Wiley & Sons.
- Deeth HC. 2020. *The effect of UHT processing and storage on milk proteins*. Brisbane (AUS): ACADEMIC PRESS
- Dharmawan A, Marthen B, Adam F, Sari IP, Maulana R. 2019. Sistem kontrol proposisional-integral pada proses pasteurisasi susu. *Transmisi*. 21(1): 15-18.
- Fiana RM, Murtius WS. 2022. Estimating the shelf life of Oyster Mushroom

- Rendang packed with vacuum or non-vacuum technique by the application of the arrhenius methods. Di dalam: IOP Publishing, editor. The 4th International Conference on Sustainability Agriculture and Biosystem; 2021 Nov 24; Online. Bristol: IOP Publishing: hlm 1-8; [diakses 2023 Nov 28]. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1059/1/012053/pdf>
- FOSS Analytical A/N. 2009. Milkoscan™ FT2 Software Manual. Hillerød (DK): FOSS Analytical A/N.
- Gerber N. 2006. Funke Gerber. Berlin (DE): Funke-Dr.N.Gerber Labortechnik GmbH.
- Gershom N, Ssemakula. 2017. Traditional methods of milk processing and preservation by local farmers in kashongi sub county kiruhura district. *American Journal of Science, Engineering and Technology*. 2(2): 62-71.
- Grewal MK, Chandrapala J, Donkor O, Apostolopoulos V, Stojanovska L, Vasiljevic T. 2017. Fourier transform infrared spectroscopy analysis of physicochemical changes in UHT milk during accelerated storage. *International Dairy Journal*. 66: 99-107.
- Grewal MK. 2018. Understanding and predicting storage stability of UHT milk [disertasi]. Melbourne :Victoria University.
- Hamad MNEF, Abdel-Kader YI, Shahin MAH. 2017. Analysis of representative samples of UHT sterilized milk in the Egyptian market. *American Journal of Food, Nutrition and Health*. 2(6): 31-42.
- Hamdi NM, Bouraoul R, Darej C, Mahjoub A, Hassayaoune L, Hamdi HM, Lanouar L. 2018. The effect of storage temperature and duration on the composition and bacteriological quality of raw milk. *Journal of Agriculture and Allied Sciences*. 7(1): 77-82.
- Hariyadi P, Saptawati B, Rachmat S, Made A. 2010. Sterilisasi UHT dan pengemasan aseptik. *Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor*. *Journal of Food and Dairy Technology*. 11(1): 16-17.
- Juliana R, Hasbullah R, Mardjan SS. 2020. Model *moisture sorption isotherm* (MSI) dan pendugaan umur simpan bubuk jahe merah pada berbagai jenis kemasan. *Jurnal Keteknikan Pertanian*. 8(1): 23-28.
- Karlsson MA, Langton M, Inngings F, Malmgren B, Hojer A, Wikstrom M, Lundh A. 2019. Changes in stability shelf-life of ultra-high temperature treated milk during long term storage at different temperatures. *Heliyon*. 5(9): 1-9.
- Katz AC. 2018. Milk nutrition and perceptions [Skripsi]. Providence: Johnson & Wales University
- Khrishna TC, Najda A, Bains A, Tosif M, Paplinski R, Kaplan M, Chawla P. 2021. Influence of ultra-heat treatment on properties of milk proteins. *J Polymers*. 13(18)

- Lalwani S. 2024. Thermal processing of milk: effect on nutrient content and physical properties [tesis]. Denmark: Lund University.
- Liedwina S. 2020. Upaya mengurangi *sleeve loss* produk susu UHT menggunakan pendekatan DMAIC di PT XYZ [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Lim SH, Chin NY, Sulaiman A, Tay CH, Wong TH. 2023. Microbiological, physicochemical and nutritional properties of fresh milk treated with industrial high-pressure processing (HPP) during storage. *Foods*. 12(3): 592.
- Lu C, Wang G, Li Y, Zhang L. 2013. Effect of homogenisation pressures on physicochemical changes in different layers of ultra-high temperature whole milk during storage. *J of Dairy Tech.* 66(3): 325-332. DOI: <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12055>.
- Mejares CT, Huppertz T, Chandrapala J. 2022. Thermal processing of buffalo milk – a review. *Int Dairy J.* 129: 1-13.
- Millogo V, Sissao M, Sidibe GA. 2014. Effect of storage time and temperature on raw milk composition of dairy cattle in tropical conditions. 2(1)104-108.
- Mogla A, Hemant, Chaturvedi DK. 2020. Milk preservation by using HVEF. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 9(7): 537-544.
- Nababan LA, Suada IK, Swacita IBN. 2014. Ketahanan susu segar pada penyimpanan suhu ruang ditinjau dari uji tingkat keasaman, didih, dan waktu reduktase. *Indonesia Medicus Veterinus*. 3(4): 274-282.
- Navyanti F, Adriyani R. 2015. Higiene sanitasi, kualitas fisik dan bakteriologi susu sapi segar perusahaan susu x di Surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 8(1): 36-47.
- Novia D, Melia S, Ayuza NZ. 2011. Kajian suhu pengovenan terhadap kadar protein dan nilai organoleptik telur asin. *Jurnal Peternakan*. 8(2): 70-76.
- Park JM, Koh JH, Kim JM. 2018. Predicting shelf-life of ice cream by accelerated conditions. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*. 38(6): 1216- 1225.
- Rabbi RM. 2024. Uji stabilitas dan pengaruh suhu penyimpanan terhadap mutu produk susu UHT di PT XYZ [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Ramsey JA, Swartzel KR. 1984. Effect of ultra high temperature processing and storage conditions on rates of sedimentation and fat separation of aseptically packaged milk. *Journal of Food Science*. 49(1): 257-262.
- Sayed E, Ibrahim MIAA, Awad S. 2018. Effect of milk quality and stabilizers on some physicochemical properties of UHT-Milk. *Alexandria Journal of Food Science and Technology*. 15(1): 49-64.
- Scetar M, Barukcic I, Kurek M, Jakopovic KL, Bozanic R, Galic K. 2018. Packaging perspective of milk and dairy products. *Mljekarstvo*. 69(1): 3-20.
- Scott D. 2008. UHT Processing and Aseptic Filling of Dairy Foods [Tesis]. Kansas State University: Kansas.
- Sims R. 2023. An overview on importance of milk preservation methods in dairy

- farming.
- Sungkar SN. 2020. Pengaruh tepung pisang tanduk (*Musa corniculata*) dalam pembuatan biskuit terhadap karakteristik, umur simpan serta uji penerimaan pada siswa sekolah dasar [Skripsi]. Semarang: Universitas Katolik Soegijapranata.
- Susanto I. 2020. Uji validasi pendugaan umur simpan susu UHT cokelat dengan metode accelerated shelf life test (ASLT) di PT XYZ [skripsi]. Universitas Katolik Soegijapranata: Semarang.
- Taw A, Effat G, Nasra D. 2014. Effect of storage on some physico-chemical characteristics of UHT milk stored at different temperature. *Alexandria Sci Exchange Journal*. 35: 107-114.
- Whelan VJ. 2017. Difference from control (DFC) test. Di dalam: Lauren Rogers, editor. *Discrimination Testing in Sensory Science*. Cambridge (UK): Woodhead Publishing. hlm 209-236.

**LAMPIRAN**

Lampiran 1 Pengaruh lama penyimpanan dan suhu penyimpanan terhadap nilai parameter pH

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: pH

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.423 <sup>a</sup>	17	.025	64.425	.000
Intercept	1487.773	1	1487.773	3853226.252	.000
Waktu * Suhu	.033	10	.003	8.468	.000
Waktu	.145	5	.029	75.029	.000
Suhu	.245	2	.123	317.705	.000
Error	.007	18	.000		
Total	1488.203	36			
Corrected Total	.430	35			

a. R Squared = ,984 (Adjusted R Squared = ,969)

**pH**

Duncan<sup>a</sup>

SUHUXW AKTU	N	Subset for alpha = 0.05									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S55H35	2	6.1700									
S55H28	2		6.2750								
S55H21	2			6.2850							
S55H7	2				6.3500						
S55H14	2					6.3500					
S40H35	2						6.3700				
S40H28	2							6.4000	6.4000		
S40H21	2								6.4250	6.4250	
S40H14	2									6.4550	6.4550
S40H7	2									6.4600	6.4600
S30H35	2										6.4850
S30H28	2										6.5000
S30H21	2										6.5100
S30H14	2										6.5300
S30H7	2										6.5400
S30H0	2										6.6500
S40H0	2										6.6500
S55H0	2										6.6500
Sig.		1.000	.579	.299	.108	.175	.076	.125	.198	.051	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

Lampiran 2 Pengaruh lama penyimpanan dan suhu penyimpanan terhadap nilai parameter sedimentasi

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: Sedimentasi

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.016 <sup>a</sup>	17	.001	5.911	.000
Intercept	.481	1	.481	2983.724	.000
Waktu * Suhu	.001	10	7.278E-5	.452	.900
Waktu	.014	5	.003	16.869	.000
Suhu	.002	2	.001	5.810	.011
Error	.003	18	.000		
Total	.500	36			
Corrected Total	.019	35			

a. R Squared = .848 (Adjusted R Squared = .705)

Pengaruh waktu penyimpanan terhadap sedimentasi susu

Duncan<sup>a</sup>

Waktu	N	Subset			
		1	2	3	4
Hari ke 0	6	.080000			
Hari ke 7	6		.103333		
Hari ke 28	6		.115000	.115000	
Hari ke 21	6			.126667	.126667
Hari ke 14	6			.130000	.130000
Hari ke 35	6				.138333
Sig.		1.000	.129	.067	.148

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

Alpha = 0,05.

Pengaruh suhu penyimpanan terhadap sedimentasi susu

Duncan,a,b

Suhu	N	Subset	
		1	2
Suhu 30	12	.107500	
Suhu 40	12	.114167	.114167
Suhu 55	12		.125000
Sig.		.215	.051

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12.000.

Lampiran 3 Pengaruh lama penyimpanan dan suhu penyimpanan terhadap parameter rasa, warna, aroma, creamrise, dan overall

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: Rasa

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	244.911 <sup>a</sup>	17	14.407	56.923	.000
Intercept	1596.089	1	1596.089	6306.498	.000
Waktu * Suhu	5.389	10	.539	2.129	.025
Waktu	217.044	5	43.409	171.518	.000
Suhu	22.478	2	11.239	44.407	.000
Error	41.000	162	.253		
Total	1882.000	180			
Corrected Total	285.911	179			

a. R Squared = .857 (Adjusted R Squared = .842)

**Rasa**

Duncan<sup>a</sup>

SUHUX WAKTU U	N	Subset for alpha = 0.05									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S30H0	10	1.00									
S40H0	10	1.00									
S55H0	10	1.00									
S30H7	10	1.20	1.20								
S40H7	10	1.40	1.40	1.40							
S30H14	10		1.50	1.50	1.50						
S40H14	10		1.50	1.50	1.50						
S30H21	10			1.70	1.70	1.70					
S30H28	10				1.80	1.80	1.80	1.80			
S55H7	10					1.90	1.90	1.90			
S55H14	10						2.00	2.00			
S30H35	10							2.20	2.20		
S40H21	10							2.20	2.20		
S55H21	10								2.50		
S40H28	10									2.90	
S40H35	10										3.30
S55H28	10										3.40
S55H35	10										4.50
Sig.		.070	.167	.070	.070	.167	.070	.152	1.000	.611	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Warna

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	286.044 <sup>a</sup>	17	16.826	64.593	.000
Intercept	1779.756	1	1779.756	6832.237	.000
Waktu * Suhu	14.889	10	1.489	5.716	.000
Waktu	199.911	5	39.982	153.486	.000
Suhu	71.244	2	35.622	136.749	.000
Error	42.200	162	.260		
Total	2108.000	180			
Corrected Total	328.244	179			

a. R Squared = .871 (Adjusted R Squared = .858)

### Warna

Duncan<sup>a</sup>

SUHUXWAKTU	N	Subset for alpha = 0.05								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
S30H0	10	1.00								
S40H0	10	1.00								
S55H0	10	1.00								
S30H7	10	1.50								
S40H7	10		2.30							
S30H14	10		2.50	2.50						
S55H7	10		2.70	2.70	2.70					
S30H21	10		2.80	2.80	2.80					
S30H28	10			2.90	2.90	2.90				
S30H35	10			3.00	3.00	3.00	3.00			
S40H14	10			3.00	3.00	3.00	3.00			
S40H21	10				3.20	3.20	3.20			
S55H14	10					3.40	3.40	3.40		
S40H28	10						3.50	3.50		
S40H35	10							3.90	3.90	
S55H21	10							3.90	3.90	
S55H28	10								4.40	4.40
S55H35	10									4.50
Sig.		.058	.058	.070	.070	.065	.065	.058	.050	.678

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Aroma

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	128.578 <sup>a</sup>	17	7.563	18.565	.000
Intercept	961.422	1	961.422	2359.855	.000
Waktu * Suhu	4.489	10	.449	1.102	.364
Waktu	103.778	5	20.756	50.945	.000
Suhu	20.311	2	10.156	24.927	.000
Error	66.000	162	.407		
Total	1156.000	180			
Corrected Total	194.578	179			

a. R Squared = ,661 (Adjusted R Squared = ,625)

### Aroma

Duncan<sup>a,b</sup>

Waktu	N	Subset				
		1	2	3	4	5
Hari 0	30	1.00				
Hari ke 7	30		1.77			
Hari ke 14	30			2.23		
Hari ke 21	30				2.60	
Hari ke 28	30					3.10
Hari ke 35	30					3.17
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	.686

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .407.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = 0,05.

### Aroma

Duncan<sup>a,b</sup>

Suhu	N	Subset		
		1	2	3
Suhu 30	60	1.97		
Suhu 40	60		2.20	
Suhu 55	60			2.77
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .407.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 60.000.

b. Alpha = 0,05.

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Creamrise

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	267.000 <sup>a</sup>	17	15.706	53.007	.000
Intercept	1445.000	1	1445.000	4876.875	.000
Waktu * Suhu	15.367	10	1.537	5.186	.000
Waktu	204.133	5	40.827	137.790	.000
Suhu	47.500	2	23.750	80.156	.000
Error	48.000	162	.296		
Total	1760.000	180			
Corrected Total	315.000	179			

a. R Squared = .848 (Adjusted R Squared = .832)

### Creamrise

Duncan<sup>a,b</sup>

SUHUXWAKTU	N	Subset							
		1	2	3	4	5	6	7	8
S30H0	10	1.00							
S30H7	10	1.00							
S40H0	10	1.00							
S55H0	10	1.00							
S40H7	10		1.60						
S30H14	10		1.70	1.70					
S55H7	10			2.10					
S40H14	10				2.70				
S30H21	10				2.90				
S55H14	10				3.00				
S30H35	10				3.20	3.20			
S30H28	10				3.20	3.20			
S40H21	10					3.50	3.50		
S40H28	10					3.60	3.60	3.60	
S55H21	10						3.90	3.90	
S40H35	10							4.00	
S55H28	10								4.60
S55H35	10								5.00
Sig.		1.000	.668	.087	.056	.119	.106	.106	.087

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .270.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

b. Alpha = 0,05.

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Overall

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	233.250 <sup>a</sup>	17	13.721	62.261	.000
Intercept	1462.050	1	1462.050	6634.513	.000
Waktu * Suhu	11.500	10	1.150	5.218	.000
Waktu	173.517	5	34.703	157.477	.000
Suhu	48.233	2	24.117	109.437	.000
Error	35.700	162	.220		
Total	1731.000	180			
Corrected Total	268.950	179			

a. R Squared = .867 (Adjusted R Squared = .853)

### Overall

Duncan<sup>a</sup>

SUHUXWAKTU	N	Subset for alpha = 0.05							
		1	2	3	4	5	6	7	8
S30H0	10	1.00							
S40H0	10	1.00							
S55H0	10	1.00							
S30H7	10		1.50						
S30H14	10			2.30					
S40H7	10			2.30					
S30H21	10			2.60	2.60				
S40H14	10			2.60	2.60				
S30H28	10			2.70	2.70				
S55H7	10			2.70	2.70				
S55H14	10				2.90				
S30H35	10					3.30	3.30		
S40H21	10					3.30	3.30		
S40H28	10						3.50	3.50	
S40H35	10							3.80	3.80
S55H21	10								3.80
S55H28	10								4.30
S55H35	10								4.60
Sig.		1.000	1.000	.104	.218	.078	.382	.188	.162

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

Lampiran 4 Pengaruh lama penyimpanan dan suhu penyimpanan terhadap kadar protein

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: Kadar\_Protein

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.024 <sup>a</sup>	17	.001	.387	.972
Intercept	307.652	1	307.652	84934.491	.000
Waktu * Suhu	.017	10	.002	.478	.883
Waktu	.001	5	.000	.079	.995
Suhu	.005	2	.003	.699	.510
Error	.065	18	.004		
Total	307.741	36			
Corrected Total	.089	35			

a. R Squared = .267 (Adjusted R Squared = -.424)

Lampiran 5 Pengaruh lama penyimpanan dan suhu penyimpanan terhadap kadar lemak

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: Kadar\_Lemak

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.597 <sup>a</sup>	17	.035	.813	.664
Intercept	426.767	1	426.767	9871.877	.000
Waktu * Suhu	.099	10	.010	.230	.989
Waktu	.132	5	.026	.612	.692
Suhu	.366	2	.183	4.229	.031
Error	.778	18	.043		
Total	428.142	36			
Corrected Total	1.375	35			

a. R Squared = ,434 (Adjusted R Squared = -.100)

Pengaruh suhu penyimpanan terhadap kadar lemak susu

Duncan<sup>a,b</sup>

Suhu	N	Subset	
		1	2
Suhu 55	12	3.3225	
Suhu 40	12	3.4375	3.4375
Suhu 30	12		3.5692
Sig.		.192	.138

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error)  
= .043.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size =  
12.000.  
b. Alpha = 0,05.

### Lampiran 6 Contoh perhitungan umur simpan

- a. Perhitungan nilai  $k$  pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$  dan umur simpan untuk parameter warna

$$\text{Persamaan Arrhenius: } \ln k = \ln k_0 + \left(\frac{-Ea}{R}\right) \frac{1}{T}$$

$$T = 25^{\circ}\text{C} = 298^{\circ}\text{K}$$

$$1/T = 0,00336$$

$$y = -1834,9x + 3,2432$$

$$y = -1834,9 (0,00336) + 3,2432$$

$$y = -2,9220$$

$$y = \ln k$$

$$k = \text{anti ln} (-2,9220)$$

$$k = 0,0540$$

$$A_0 = 1 \text{ dan } A = 3$$

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

$$t = (1 - 3) / 0,0540$$

$$t = 37,0370$$

$$t = 37 \text{ hari}$$