



Artikel

Pendugaan Umur Simpan Sale Lilit dengan Metode *Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT) Model Arrhenius*

Estimating The Shelf Life of Sale Lilit Using the Arrhenius Model Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT) Method

Ruhaeni¹, Zainuri¹, Qabul Dinanta Utama^{1*}

¹Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

Informasi Artikel

Genesis Artikel:

Diterima:
14-01-2025
Disetujui:
31-01-2025

Keywords:

Accelerated Shelf-Life Testing
Arrhenius
Free Fatty Acid
Sale lilit
Shelf life

ABSTRACT

Indonesia is one of the countries with great potential, especially in the agricultural sector. One of the most widely used agricultural commodities is types of fruits such as bananas. Sale lilit is one of the processed foods with the main ingredient in the form of ripe bananas that have been dried and then processed and packaged using aluminum foil packaging. This study aims to examine the estimated shelf life of sale lilit. The method of estimating the shelf life used is the Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT) method of the Arrhenius model. Sale lilit is stored at three different storage temperatures according to the treatment (30°C, 40°C and 50°C). Parameters observed include moisture content, FFA content, texture (hardness and crispness), color, aroma, taste and texture. These parameters were analyzed during storage at day 0, 5, 10, 15 and day 20 of storage. The results showed that sale lilit stored at 30°C has the longest shelf life. Based on data on the rate of increase in FFA levels, the estimated shelf life of the sale is 56,119 days. This study implies that storage temperature plays an important role in extending the shelf life of sale lilit, so producers can optimize storage conditions, packaging, and product distribution.

Kata Kunci:

Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT)
Arrhenius
Asam Lemak Bebas
Sale lilit
Umur Simpan

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara dengan yang memiliki potensi besar khususnya dalam sektor pertanian. Salah satu komoditi pertanian yang paling banyak dimanfaatkan adalah jenis buah-buahan seperti buah pisang. Sale lilit merupakan salah satu olahan makanan dengan bahan utama berupa buah pisang matang yang sudah dikeringkan kemudian diolah dan dikemas dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk menelaah perkiraan umur simpan sale lilit. Metode pendugaan umur simpan yang digunakan adalah metode *Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT) model Arrhenius*. Sale lilit disimpan pada tiga suhu penyimpanan yang berbeda sesuai perlakuan (30°C, 40°C dan 50°C). Parameter yang diamati meliputi kadar air, kadar FFA, tekstur (kekerasan dan kerenyahan), warna, aroma, rasa dan tekstur. Pengamatan parameter dilakukan pada hari ke-0, 5, 10, 15 dan hari ke-20 penyimpanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sale lilit yang disimpan pada suhu 30°C memiliki umur simpan yang paling lama. Berdasarkan data laju peningkatan kadar FFA, perkiraan umur simpan sale lilit yaitu 56,119 hari. Penelitian ini mengimplikasikan bahwa suhu penyimpanan berperan penting dalam memperpanjang umur simpan sale lilit, sehingga produsen dapat mengoptimalkan kondisi penyimpanan, pengemasan, dan distribusi produk.



*Penulis Korespondensi:

Email: qabul.utama@unram.ac.id

doi: 10.30812/jtmp.v3i2.4810

Hak Cipta ©2025 Penulis, Dipublikasikan oleh Jurnal Teknologi dan Mutu Pangan

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi CC BY-SA (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

Cara Sitasi: Ruhaeni, R., Zainuri, Z., Utama, Q.D. (2025). Pendugaan Umur Simpan Sale Lilit dengan Metode *Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT) Model Arrhenius*. Jurnal Teknologi Dan Mutu Pangan, 3(2), 121-135.

<https://doi.org/10.30812/jtmp.v3i2.4810>

1. PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai negara yang memiliki potensi besar khususnya dalam bidang pertanian. Sektor pertanian berada di posisi kedua sebagai penyumbang terbesar terhadap perekonomian terutama pada industri pengolahan (Dya & Budyanra, 2020). Potensi besar dalam bidang pertanian meliputi perkebunan, perikanan, tanaman pangan dan hortikultura. Produk hortikultura merupakan salah satu komoditi sektor pertanian yang memiliki potensi dan peluang untuk dikembangkan, salah satunya adalah jenis buah-buahan. Salah satu jenis buah-buahan dengan tingkat produksi yang cukup tinggi adalah buah pisang.

Sale pisang merupakan salah satu produk yang diolah dari buah pisang matang yang sudah dikeringkan hingga mencapai kadar air tertentu. Produk sale pisang memiliki rasa yang cukup khas dengan daya simpan yang cukup lama. Menurut peraturan kepala badan POM Nomor 21 tahun 2016 tentang kategori pangan, sale pisang adalah produk olahan buah semi basah diperoleh dari buah segar dengan cara pengeringan dan atau pengasapan dan dikemas secara kedap (hermetis) (Badan Pengawasan Obat dan Makanan, 2019). Semua jenis pisang pada dasarnya dapat dijadikan sale, tetapi tidak semua jenis pisang dapat menghasilkan sale dengan cita rasa yang enak dan khas (Suyanti & Supriyadi, 2008). Jenis pisang yang cocok digunakan untuk diolah menjadi sale diantaranya pisang ambon, kepok, siem, raja bulu dan mas. Mutu sale pisang sangat dipengaruhi oleh tingkat ketuaan buah, jenis dan mutu pisang segar yang diolah (Gardjito et al., 2018). Sale lilit merupakan upaya diversifikasi produk olahan pisang yang diolah dengan bahan dasar sale pisang segar kemudian dililit dengan adonan yang bentuk akhirnya menyerupai molen.

Umur simpan atau masa kadaluarsa merupakan salah satu parameter untuk mengkaji ketahanan produk selama masa penyimpanan. Penentuan umur simpan dapat dilakukan dengan mengevaluasi perubahan karakteristik mutu produk selama penyimpanan. Informasi masa simpan dapat digunakan oleh produsen untuk mengetahui rentang waktu produk saat mulai diproduksi sampai dikemas hingga sampai pada konsumen dengan mutu yang memenuhi persyaratan (Asiah et al., 2018). Penentuan umur simpan sale pisang dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) model *Arrhenius*.

Metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) merupakan penentuan umur simpan produk dengan cara mempercepat perubahan mutu pada parameter kritis. Metode ASLT biasanya menggunakan kondisi lingkungan yang dapat mempercepat reaksi penurunan mutu produk (Arif, 2016). Model *Arrhenius* pada umumnya dapat digunakan untuk menentukan umur simpan produk pangan yang kerusakannya banyak dipengaruhi oleh perubahan suhu, yaitu dengan memicu terjadinya reaksi-reaksi kimia yang berpengaruh terhadap kerusakan produk pangan. Penentuan umur simpan model *Arrhenius* dapat dilakukan dengan cara menyimpan produk pangan pada suhu ekstrim dimana kerusakan produk pangan tersebut dapat terjadi dengan cepat (Kusnandar, 2004).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rahman et al. (2018), menyatakan bahwa penyimpanan sale pisang menggunakan kemasan vakum dapat bertahan kurang lebih 28 hari dengan memberikan hasil terbaik untuk setiap Parameter. Sale pisang yang dikemas dengan vakum masih memiliki mutu yang lebih baik dibandingkan dengan perlakuan lain. Hal ini dikarenakan udara di dalam kemasan ditarik keluar dan adanya kemasan dapat menghambat masuknya uap air dari udara ke dalam produk. Selain itu, lama penyimpanan juga dapat mempengaruhi mutu sale pisang. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu penyimpanan maka kadar air sale pisang semakin meningkat. Kondisi ini disebabkan karena sale pisang mudah menyerap air yang ada di sekeliling lingkungan penyimpanannya. Banyaknya penyerapan air dapat memicu terjadinya pertumbuhan khamir dan kapang yang mengakibatkan terjadinya penurunan mutu sale pisang. Penentuan umur simpan produk pangan termasuk sale lilit sangat penting, karena informasi terkait umur simpan produk pangan masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan pendugaan umur simpan produk olahan sale lilit dengan menggunakan metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) model *Arrhenius* pada beberapa suhu penyimpanan.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari alat untuk pembuatan produk sale lilit, penyimpanan produk dan untuk analisis. Peralatan yang digunakan untuk pembuatan produk sale lilit meliputi alat pencetak mie, baskom, dehidrator (Ezidri), kompor, mixer, nampan, pisau, saringan minyak, sarung tangan, sealer, spatula, talenan, timbangan analitik dan wajan. Peralatan yang digunakan untuk penyimpanan berupa incubator (Mermert), sedangkan alat analisis yaitu botol timbang, buret 50 ml, cawan porselen, corong, desikator, erlenmeyer 250 ml, pipet tetes, pipet volume 25 ml, penjepit cawan, sarung tangan (Bagus), statif, oven (Mermert), tabung reaksi, tang krus dan *texture analyzer* (Brookfield).

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan untuk pembuatan produk sale lilit dan bahan untuk analisis kimiawi. Bahan untuk pembuatan sale lilit adalah baking powder (Cendrawasih), buah pisang mas, gula halus (Clarix), mentega (Blue band), minyak goreng (Minyak kita), telur, tepung tapioka (Bintang mas), tepung terigu (Segitiga biru) dan vanili cair (Ie kim tie). Bahan-bahan yang digunakan untuk analisis kimia adalah larutan aquades, larutan NaOH 0,1 N, alkohol 96% dan indikator PP.

2.2. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilaksanakan di Desa Pakuan dan Laboratorium. Rancangan percobaan dalam penelitian ini yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL). Sale lilit yang akan digunakan sebagai sampel dikemas dengan menggunakan jenis kemasan aluminium foil kemudian dilakukan penyimpanan pada tiga suhu yang berbeda yaitu 30°C, 40°C dan 50°C. Perubahan sampel akan dilihat pada hari ke- 0, 5, 10, 15 dan 20 hari. Sampel tersebut kemudian akan dianalisis sifat kimia (kadar air, kadar FFA), sifat fisik (tekstur) dan organoleptik (aroma, warna, rasa dan tekstur). Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) dengan model *Arrhenius*.

2.3. Pendugaan Umur Simpan Model Persamaan Arrhenius

Penentuan umur simpan sale lilit ini dilakukan dengan menggunakan metode *Accelerated Shelf-Life Test* (ASLT) model *Arrhenius*. Sale lilit dikemas menggunakan aluminium foil dan disimpan pada suhu kritis 30°C, 40°C, dan 50°C. Pengamatan dilakukan dengan dua kali ulangan dan diamati selama 20 hari dengan rentang pengamatan pada hari ke 0, 5, 10, 15 dan 20 sehingga didapatkan 5 titik pengamatan. Perhitungan umur simpan kemudian dilakukan berdasarkan (Haryati et al., 2015).

Data dari analisis setiap parameter diplotkan terhadap waktu (hari) dan didapatkan persamaan regresi linernya sehingga diperoleh tiga persamaan untuk tiga kondisi suhu penyimpanan produk menggunakan persamaan 1.

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

Dimana y =nilai karakteristik produk, x =waktu penyimpanan (hari), b =laju perubahan karakteristik ($slope$ =laju penurunan mutu= k), dan a =nilai karakteristik awal produk. Pemilihan orde reaksi untuk suatu parameter dilakukan dengan cara membandingkan koefisien determinasi (R^2) tiap persamaan regresi linear pada suhu yang sama). Orde reaksi dengan nilai R^2 yang lebih besar merupakan orde reaksi yang digunakan oleh parameter tersebut. Nilai $\ln k$ dan $1/T(K - 1)$ yang merupakan parameter *Arrhenius* ditabulasikan, selanjutnya nilai $\ln k$ diplotkan terhadap $1/T(K - 1)$ dan didapatkan nilai intersep dan slope dari persamaan regresi linear dan dihitung menggunakan persamaan 2.

$$\ln k = \ln k_0 - \left(\frac{Ea}{R} \times \frac{1}{T} \right) \quad (2)$$

dimana $\ln k_0$ =intersep, Ea/R =slope, Ea =energi aktivasi, dan R =konstanta gas ideal (1,986 kal/mol). Dari persamaan tersebut diperoleh nilai konstanta k_0 yang merupakan faktor eksponensial dan nilai energi aktivasi (Ea) reaksi perubahan karakteristik produk kemudian ditentukan model persamaan laju reaksi (k) perubahan karakteristik produk siap pakai dihitung dengan persamaan 3.

$$k = k_0 \cdot e^{-\left(\frac{E}{RT} \right)} \quad (3)$$

Penentuan parameter kunci dengan melihat parameter yang mempunyai energi aktivasi terendah. Umur simpan sale lilit dihitung dengan persamaan kinetika reaksi berdasarkan orde reaksi 0 menurut persamaan 4 dan orde reaksi 1 pada persamaan 5.

$$t = \frac{(A_0 - A_t)}{k} \quad (4)$$

$$t = \frac{\ln(A_0 - A_t)}{k} \quad (5)$$

Keterangan:

- t : umur simpan produk (hari)
- A_0 : nilai atribut mutu di awal (hari ke-0)
- A_t : nilai atribut mutu di akhir (titik kritis)
- k : konstanta penurunan mutu

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kadar Air

Kadar air dalam suatu produk perlu ditetapkan, hal ini dikarenakan semakin tinggi kadar air suatu produk dapat menyebabkan kerusakan yang lebih cepat pada produk makanan (Pertwi et al., 2024). Selain itu, kadar air dalam bahan pangan ikut menentukan daya terima konsumen dan daya tahan dari produk makanan tersebut. Hasil penelitian menunjukkan pada tabel 1 bahwa kadar air pada setiap suhu mengalami perubahan seiring dengan

bertambahnya waktu penyimpanan produk sale lilit. Pengujian hari ke-1, analisa kadar air produk sale lilit dengan kemasan aluminium foil yaitu sebesar 7,72%. Selanjutnya, kadar air tertinggi pada suhu 30°C, 40°C dan 50°C berturut-turut sebesar 11,535%, 10,175% dan 9,827%. Artinya terjadi perubahan kandungan kadar air pada sale lilit selama penyimpanan. Umumnya, kandungan kadar air dalam bahan pangan seharusnya mengalami kenaikan seiring dengan lamanya penyimpanan. Hal ini sejalan dengan Solihin et al. (2015) yang menyatakan bahwa semakin lama penyimpanan maka kadar air yang terdapat dalam bahan pangan akan terus mengalami peningkatan meskipun pada awal penyimpanan mengakibatkan kadar air dapat mengalami penurunan.

Tabel 1. Hasil analisa kadar air selama penyimpanan pada suhu yang berbeda

| Waktu Penyimpanan (Hari) | Kadar Air (%) | | |
|--------------------------|---------------|-------|------|
| | 30°C | 40°C | 50°C |
| 0 | 7,72 | 7,72 | 7,72 |
| 5 | 8,61 | 10,18 | 9,83 |
| 10 | 7,79 | 8,04 | 9,80 |
| 15 | 11,54 | 9,48 | 7,96 |
| 20 | 7,68 | 7,81 | 9,69 |

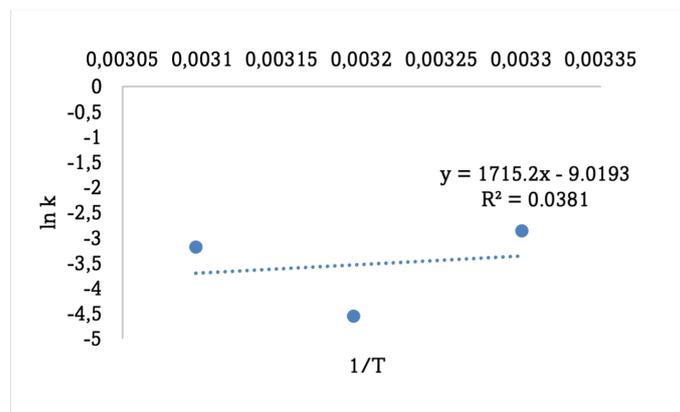
Penurunan kadar air yang terdapat dalam sale lilit selama penyimpanan kemungkinan disebabkan oleh terjadinya proses evaporasi dari sale lilit ke lingkungan sekitar, sedangkan peningkatan kadar air dalam sale lilit dapat disebabkan oleh sale lilit yang menyerap air dari lingkungan disekitarnya. Lebih lanjut, Indah (2011) memaparkan bahwa produk kering memiliki sifat yang sangat sensitif terhadap perubahan nilai kadar air yang mengakibatkan terjadinya proses deteriorasi selama penyimpanan. Perubahan kadar air dalam sale lilit dapat dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban ruangan selama penyimpanan.

Pemilihan orde reaksi kadar air sebagai parameter dalam pendugaan umur simpan dilakukan dengan membandingkan nilai koefisien determinasi (R^2) dari persamaan regresi linier pada suhu yang sama untuk reaksi orde nol dan orde satu. Nilai R^2 digunakan sebagai indikator kesesuaian model regresi, di mana orde reaksi dengan nilai R^2 yang lebih besar dianggap lebih sesuai untuk menggambarkan perubahan kadar air selama penyimpanan. Proses ini bertujuan untuk menentukan model kinetika yang paling akurat dalam memprediksi laju perubahan kadar air pada produk yang diteliti. Persamaan regresi linier untuk parameter kadar air pada reaksi orde nol dan orde satu disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Persamaan Regresi Linier Kadar Air Orde Nol dan Orde Satu pada Sale lilit

| Perlakuan | Suhu (°C) | Persamaan | | R^2 | |
|-----------|-----------|-------------------------|------------------------|----------|-----------|
| | | Orde nol | Orde satu | Orde nol | Orde satu |
| P1 | 30 | $y = 0,0569x + 8,0978$ | $y = 0,0056x + 2,0903$ | 0,0746 | 0,0662 |
| P2 | 40 | $y = -0,0105x + 8,7486$ | $y = -0,001x + 2,1601$ | 0,0055 | 0,0037 |
| P3 | 50 | $y = 0,0414x + 8,583$ | $y = 0,0049x + 2,1424$ | 0,0955 | 0,1014 |

Berdasarkan Tabel 2, dapat diketahui bahwa kecepatan reaksi perubahan kadar air mengikuti kinetika reaksi orde nol. Hal ini ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi (R^2) yang lebih besar pada model orde nol dibandingkan dengan orde satu, sehingga model ini lebih sesuai untuk menggambarkan perubahan kadar air selama penyimpanan. Selanjutnya, berdasarkan data pada Tabel 7, dibuat plot persamaan Arrhenius untuk menganalisis hubungan antara konstanta laju reaksi ($\ln k$) dan kebalikan suhu absolut ($1/T$), yang divisualisasikan pada Gambar 1. Hasil analisis regresi linier dari plot Arrhenius menunjukkan bahwa persamaan yang diperoleh adalah $\ln k = -9,0193 + 1715,2/T$, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,0381. Nilai R^2 yang relatif rendah mengindikasikan bahwa suhu mungkin bukan satu-satunya faktor yang mempengaruhi perubahan kadar air selama penyimpanan, sehingga diperlukan analisis lebih lanjut untuk memahami faktor lain yang berkontribusi terhadap laju perubahan kadar air.



Gambar 1. Plot Arrhenius Perubahan Kadar Air

Perubahan kadar air ini dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya tingkat kekeringan pisang sale yang digunakan, bahan baku pembuatan adonan lilitan sale pisang, suhu penyimpanan, kelembaban ruang penyimpanan, dan lama penyimpanan. Sale lilit yang mengandung kadar air tinggi akan mengakibatkan produk mudah melempem dan dapat menyebabkan pertumbuhan mikroorganisme yang berpengaruh terhadap mutu produk pangan. Penelitian yang dilakukan oleh [Alfiyani et al. \(2018\)](#) menyatakan bahwa RH lingkungan juga dapat memberikan pengaruh terhadap umur simpan produk pangan. RH lingkungan yang tinggi dapat mengakibatkan tingginya penyerapan uap air dari udara ke sampel yang mengakibatkan terjadinya perubahan kadar air dalam sampel.

3.2. Kadar asam lemak bebas (*free fatty acid*)

Uji asam lemak bebas atau lebih dikenal dengan FFA menunjukkan derajat kualitas minyak yang terdapat dalam produk pangan ([Soliawati & Utama, 2024](#)). Asam lemak bebas dapat mengakibatkan bau dan rasa yang tidak diinginkan pada produk sale lilit. Peningkatan kadar asam lemak bebas pada produk disebabkan oleh adanya pertukaran komponen air yang terdapat dalam bahan pangan yang digoreng dalam minyak sebagai penghantar panas ([Telaumbanua & Utama, 2024](#)). Kadar asam lemak bebas dapat mengalami peningkatan seiring dengan waktu dan frekuensi penggorengan yang meningkat. Selain itu, minyak goreng yang digunakan secara berulang juga dapat menyebabkan reaksi kompleks pada bahan pangan yang berakibat pada peningkatan kadar asam lemak bebas dalam bahan pangan ([Nurhasnawati, 2017](#)).

Tabel 3. Hasil analisa kadar FFA selama penyimpanan dengan suhu berbeda

| Waktu Penyimpanan (Hari) | Kadar FFA (%) | | |
|--------------------------|---------------|-------|-------|
| | 30°C | 40°C | 50°C |
| 0 | 0,687 | 0,687 | 0,687 |
| 5 | 0,877 | 0,882 | 0,858 |
| 10 | 1,265 | 0,925 | 0,902 |
| 15 | 0,977 | 0,882 | 0,900 |
| 20 | 0,915 | 0,812 | 0,987 |

Asam lemak bebas (FFA) merupakan salah satu faktor penting yang digunakan untuk menunjukkan tingkat hidrolisis lemak. Berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa kadar FFA pada setiap suhu penyimpanan mengalami perubahan yang signifikan. Pada pengujian hari ke-1, kadar FFA mencapai sebesar 0,687%. Kadar FFA tertinggi pada suhu penyimpanan 30°C, 40°C dan 50°C berturut-turut sebesar 1,265%, 0,925% dan 0,987%. Nilai FFA berbanding terbalik dengan kadar air, dimana semakin tinggi nilai FFA menunjukkan rendahnya kualitas minyak yang digunakan. Kenaikan nilai FFA akan menunjukkan minyak mengalami kerusakan akibat hidrolisa.

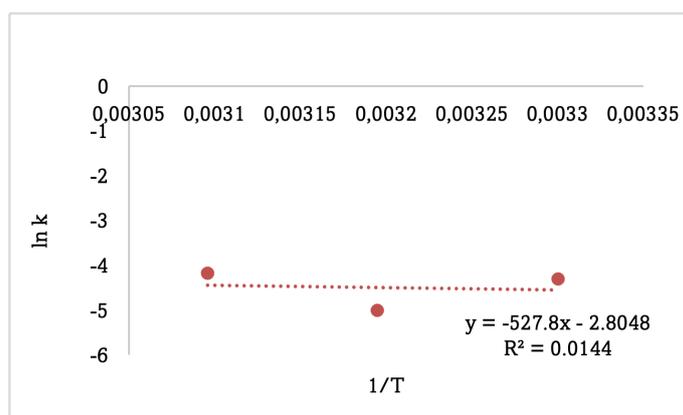
Umumnya, kadar asam lemak bebas dalam bahan pangan akan terus mengalami peningkatan seiring dengan semakin tingginya suhu penyimpanan. Hal ini diakibatkan suhu penyimpanan yang tinggi dapat mengakibatkan percepatan kerusakan produk dibandingkan dengan penyimpanan pada suhu ruang dan suhu rendah ([Kumalasari et al., 2018](#)). Peningkatan kadar asam lemak bebas diakibatkan oleh reaksi hidrolisis oleh minyak yang terkandung dalam produk. Suhu penyimpanan dapat mengakibatkan reaksi hidrolisis yang tinggi sehingga mengakibatkan

terjadinya percepatan proses hidrolisa lemak. Penyimpanan yang tidak sesuai dalam jangka waktu yang cukup lama dapat merusak lemak atau minyak yang mengakibatkan terjadinya pemutusan ikatan gliserida yang kemudian membentuk gliserol dan asam lemak (Nurhasnawati, 2017). Tabel 4 menunjukkan persamaan regresi linear produk sale lilit yang disimpan pada suhu 30°C, 40°C dan 50°C untuk paramater FFA orde nol dan orde satu.

Tabel 4. Persamaan Regresi Linier Kadar FFA Ordo 0 dan Ordo 1

| Perlakuan | Suhu (°C) | Persamaan | | R2 | |
|-----------|-----------|------------------------|------------------------|----------|-----------|
| | | Orde nol | Orde satu | Orde nol | Orde satu |
| P1 | 30 | $y = 0,0111x + 0,833$ | $y = 0,0136x - 0,213$ | 0,1761 | 0,2411 |
| P2 | 40 | $y = 0,005x + 0,7876$ | $y = 0,0067x - 0,2494$ | 0,179 | 0,2022 |
| P3 | 50 | $y = 0,0128x + 0,7384$ | $y = 0,0154x - 0,3045$ | 0,8378 | 0,809 |

Berdasarkan Tabel 4, kinetika perubahan laju kadar asam lemak bebas (FFA) pada produk sale lilit yang disimpan pada suhu 30°C, 40°C, dan 50°C mengikuti model reaksi orde satu. Hal ini menunjukkan bahwa laju perubahan kadar FFA bergantung pada konsentrasi FFA yang tersisa dalam produk selama penyimpanan. Untuk menganalisis pengaruh suhu terhadap laju perubahan kadar FFA, dibuat plot persamaan Arrhenius yang menggambarkan hubungan antara konstanta laju reaksi ($\ln k$) dan kebalikan suhu absolut ($1/T$), sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2. Hasil regresi linier dari plot Arrhenius menunjukkan bahwa persamaan yang diperoleh adalah $\ln k = -2,8048 - 527,8/T$, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,0144. Nilai R^2 yang rendah mengindikasikan bahwa suhu bukan satu-satunya faktor yang berkontribusi terhadap perubahan kadar FFA selama penyimpanan, sehingga diperlukan analisis lebih lanjut terhadap faktor lain seperti kandungan oksigen, kadar air, serta interaksi dengan komponen lain dalam produk.



Gambar 2. Plot Arrhenius Perubahan Kadar FFA

Menurut Hutasoit (2009), bau tengik pada produk makanan dihasilkan dari proses oksidasi bahan baku yang menyusun produk tersebut. Proses oksidasi ini terjadi ketika oksigen bereaksi dengan lemak, mengakibatkan terbentuknya asam lemak bebas dan gliserol. Asam lemak bebas yang terbentuk kemudian dapat mempercepat proses oksidasi lanjutan, menghasilkan senyawa seperti peroksida, aldehyd, dan keton. Senyawa-senyawa ini dikenal sebagai kontributor utama terhadap aroma dan rasa tengik pada produk pangan. Ketengikan tidak hanya menurunkan kualitas sensoris, tetapi juga mempercepat penurunan mutu produk secara keseluruhan, mengurangi daya terima konsumen, dan mempengaruhi umur simpan produk. Dengan demikian, pemahaman tentang mekanisme oksidasi ini penting dalam upaya pengendalian kualitas dan perpanjangan umur simpan produk pangan.

3.3. Tekstur

Tekstur merupakan salah satu parameter utama yang menentukan tingkat penerimaan suatu produk pangan oleh konsumen. Dalam analisis tekstur, kekerasan produk diukur berdasarkan besarnya gaya per satuan waktu yang diperlukan untuk mematahkan atau merusak struktur produk tersebut. Semakin tinggi tingkat kekerasan suatu produk, semakin besar gaya yang dibutuhkan untuk memecahnya (Sumarna, 2008). Pengujian tekstur pada penelitian ini dilakukan menggunakan *texture analyzer*, yang memungkinkan pengukuran objektif terhadap karakteristik mekanis produk. Data hasil uji tekstur yang diperoleh setelah penyimpanan pada tiga kondisi yang berbeda

disajikan secara lengkap dalam Tabel 5, yang menggambarkan bagaimana faktor lingkungan penyimpanan dapat mempengaruhi kekerasan dan struktur produk pangan seiring waktu.

Tabel 5. Hasil analisa tekstur selama Penyimpanan pada suhu berbeda

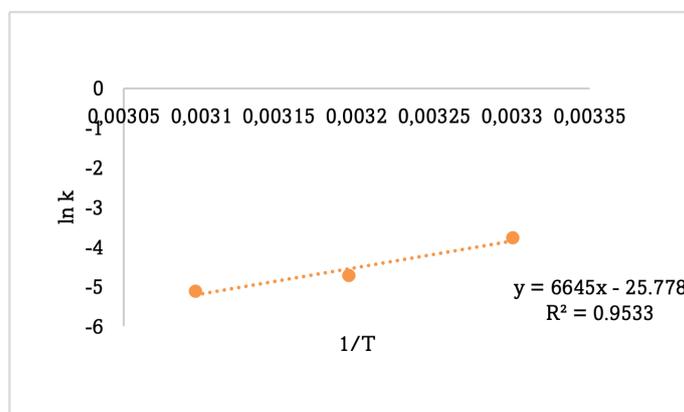
| Waktu Penyimpanan (Hari) | Kekerasan (N) | | |
|--------------------------|---------------|--------|--------|
| | 30°C | 40°C | 50°C |
| 0 | 12,773 | 12,773 | 12,773 |
| 5 | 9,054 | 9,831 | 12,314 |
| 10 | 12,985 | 12,819 | 14,374 |
| 15 | 8,513 | 9,928 | 11,569 |
| 20 | 7,380 | 10,172 | 11,351 |

Berdasarkan Tabel 5 diketahui bahwa tekstur (kekerasan) pada setiap suhu penyimpanan mengalami perubahan yang signifikan. Pada pengujian hari ke-1, tekstur (kekerasan) mencapai sebesar 12,773 N. Nilai tekstur (kekerasan) tertinggi pada suhu penyimpanan 30°C, 40°C dan 50°C berkisar antara 7,38 N sampai dengan 14,374 N. Semakin keras suatu produk, maka gaya yang dibutuhkan untuk mematahkan produk juga semakin besar. Kekerasan dengan nilai yang kecil menunjukkan bahwa sale lilit renyah dan tidak alot sehingga mudah dikunyah, sedangkan kekerasan dengan nilai yang besar menunjukkan sale lilit semakin keras. Tabel 6 menunjukkan persamaan regresi linear produk sale lilit yang disimpan pada suhu 30°C, 40°C dan 50°C untuk parameter tekstur orde nol dan orde satu.

Tabel 6. Persamaan Regresi Linier Tekstur Ordo 0 dan Ordo 1

| Perlakuan | Suhu (°C) | Persamaan | | R2 | |
|-----------|-----------|-------------------------|-------------------------|----------|-----------|
| | | Orde nol | Orde satu | Orde nol | Orde satu |
| P1 | 30 | $y = -0,2265x + 12,406$ | $y = -0,0232x + 2,5227$ | 0,4847 | 0,5254 |
| P2 | 40 | $y = -0,1021x + 12,126$ | $y = -0,0089x + 2,4889$ | 0,2715 | 0,2647 |
| P3 | 50 | $y = -0,0718x + 13,194$ | $y = -0,006x + 2,5799$ | 0,2219 | 0,2521 |

Korelasi antara nilai tekstur (kekerasan) dengan waktu penyimpanan sale lilit pada suhu 30°C, 40°C dan 50°C pada Tabel 6 menunjukkan bahwa reaksi mengikuti orde satu. Kemudian, dibuat plot persamaan Arrhenius untuk perubahan tekstur (kekerasan) perbandingan antara $\ln k$ dan $1/T$ yang dapat dilihat pada Gambar 3. Persamaan regresi linier dari plot Arrhenius ($\ln k$ dan $1/T$) yang ditunjukkan pada Gambar 3 yaitu $\ln k = -25,778 + 6645/T$ dengan nilai R2 sebesar 0,9533.



Gambar 3. Plot Arrhenius Perubahan Tekstur

Kekerasan pada sale lilit dapat terlihat pada tingkat kekerasan sale pisang. Perubahan nilai tekstur (kek-

erakan) juga dipengaruhi oleh kadar air yang terdapat dalam produk. Semakin tinggi kadar air yang terdapat dalam sale pisang, maka tekstur sale lilit yang dihasilkan semakin keras. Hal ini dikarenakan, banyaknya kadar air yang terdapat dalam sale pisang mengakibatkan sale pisang menjadi alot. Selain itu, volume pengembangan pada adonan tepung juga dapat mempengaruhi tekstur. Tekstur akan berpengaruh terhadap cita rasa yang ditimbulkan oleh bahan tersebut. Perubahan tekstur dan konsistensi pada bahan dapat merubah rasa dan bau yang timbul pada produk makanan akibat kecepatan timbulnya rangsangan terhadap sel olfaktorik dan kelenjar air liur (Rosiani et al., 2015).

3.4. Warna

Warna merupakan salah satu bagian yang penting dari penampilan produk dan merupakan parameter penilaian sensori yang cukup penting (Utama et al., 2022). Hal ini disebabkan karena penilaian sensori merupakan hal utama yang dilihat oleh konsumen. Warna bahan pangan dipengaruhi oleh kondisi permukaan bahan pangan dan kemampuannya untuk memantulkan, menyebarkan, menyerap dan meneruskan sinar yang tampak (Ardiyansyah & Apriliyanti, 2016). Lebih lanjut, Fauziyyah et al. (2024) yang menyatakan bahwa notasi L^* adalah parameter kecerahan yang dapat menyatakan kemampuan suatu bahan untuk memantulkan cahaya yang mengenai permukaan bahan. Analisa uji warna dilakukan dengan menggunakan alat *colorimeter*. Data hasil uji warna yang disimpan pada 3 kondisi penyimpanan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Analisa kecerahan selama penyimpanan pada suhu berbeda

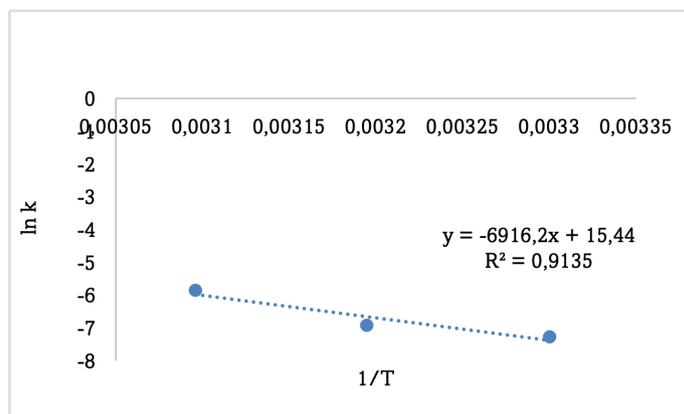
| Waktu Penyimpanan (Hari) | Kecerahan (L) | | |
|--------------------------|---------------|---------|---------|
| | 30°C | 40°C | 50°C |
| 0 | 57,8008 | 57,8008 | 57,8008 |
| 5 | 57,6225 | 59,345 | 60,8675 |
| 10 | 58,2425 | 62,1175 | 63,0675 |
| 15 | 58,48 | 61,015 | 59,5825 |
| 20 | 56,415 | 58,4125 | 62,8875 |

Berdasarkan Tabel 7 dapat dilihat bahwa intensitas kecerahan produk mengalami perubahan yang cukup signifikan. Intensitas kecerahan produk (L^*) berkisar antara 56,415 sampai 63,0675. Umumnya, warna sale lilit yang dihasilkan seharusnya lebih gelap. Hal ini dikarenakan terjadinya reaksi mailard antara gugus amino protein dengan gula pereduksi selama proses penggorengan (Cicilia et al., 2021). Perubahan warna pada produk dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya suhu yang tinggi dan waktu pengeringan yang lama akan mengakibatkan warna produk menjadi coklat (Hartisyah et al., 2024). Namun, pada pengujian warna didapatkan intensitas warna sale lilit semakin cerah. Tabel 7 menunjukkan persamaan regresi linear produk sale lilit yang disimpan pada suhu 30°C, 40°C dan 50°C untuk parameter warna (kecerahan) orde nol dan orde satu.

Tabel 8. Persamaan Regresi Linier Warna Ordo 0

| Perlakuan | Suhu (°C) | Persamaan | | R2 | |
|-----------|-----------|-------------------------|-------------------------|----------|-----------|
| | | Orde nol | Orde satu | Orde nol | Orde satu |
| P1 | 30 | $y = -0,0383x + 58,095$ | $y = -0,0007x + 4,0621$ | 0,1426 | 0,1462 |
| P2 | 40 | $y = 0,0579x + 59,159$ | $y = 0,001x + 4,0798$ | 0,0646 | 0,0661 |
| P3 | 50 | $y = 0,1778x + 59,063$ | $y = 0,0029x + 4,0783$ | 0,3956 | 0,3984 |

Korelasi antara nilai warna dengan waktu penyimpanan sale lilit pada suhu 30°C, 40°C dan 50°C pada Tabel 8 menunjukkan bahwa reaksi mengikuti orde satu. Kemudian, dibuat plot persamaan Arrhenius untuk perubahan warna (tingkat kecerahan) perbandingan antara $\ln k$ dan $1/T$ yang dapat dilihat pada Gambar 4. Persamaan regresi linier dari plot Arrhenius ($\ln k$ dan $1/T$) yang ditunjukkan pada Gambar 4 yaitu $\ln k = 15,44 - 6916,2/T$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9533.



Gambar 4. Plot Arrhenius Perubahan Warna

Perubahan hasil analisa warna pada sale lilit disebabkan oleh suhu dan lamanya waktu penggorengan, waktu penyimpanan dan suhu penyimpanan. Suhu penggorengan yang semakin rendah yang diikuti oleh waktu penggorengan yang semakin cepat maka akan diperoleh nilai kecerahan yang semakin tinggi yang menandakan warna pada produk makann semakin cerah (Syahrul et al., 2017). Warna yang diinginkan pada sale lilit adalah yang tingkat kecerahannya tinggi tetapi produk tetap matang dan sebaliknya produk tidak berwarna gelap.

3.5. Mutu Organoleptik

Uji organoleptik sering disebut juga sebagai uji indera atau uji sensori yang melibatkan indera manusia sebagai alat utama dalam pengujian untuk pengukuran daya terhadap suatu daya penerimaan terhadap produk. Beberapa indera yang sering digunakan dalam uji organoleptik adalah indera penciuman/hidung, indera penglihat/mata, indera pengecap/lidah, dan indera peraba/tangan. Kemampuan alat indera inilah yang akan memberikan kesan penilaian terhadap produk yang diuji sesuai dengan sensor atau rangsangan yang diterima oleh indera (Gusnadi et al., 2021).

1. Aroma

Beberapa industri makanan menganggap bahwa aroma merupakan salah satu hal yang penting untuk diperhatikan karena dinilai dapat menentukan tingkat penerimaan konsumen terhadap produk pangan yang akan dipasarkan (Winarno, 2002). Lebih lanjut, Zuhrina (2011) memaparkan bahwa aroma yang disebarkan oleh makanan dapat membangkitkan selera konsumen melalui rangsangan indera penciuman sehingga menimbulkan daya tarik yang sangat kuat. Aroma yang terdapat dalam produk pangan disebabkan oleh terbentuknya senyawa yang mudah mengalami penguapan yang diakibatkan oleh terjadinya reaksi oleh enzim atau dapat terbentuk tanpa bantuan reaksi enzim.

Tabel 9. Hasil Uji Organoleptik Aroma Sale Lilit Selama Penyimpanan

| Waktu (Hari) | Suhu | | | | | |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 30°C | | 40°C | | 50°C | |
| | Hedonik | Skoring | Hedonik | Skoring | Hedonik | Skoring |
| 0 | 3,95 | 4,3 | 3,85 | 4,15 | 3,95 | 4,45 |
| 5 | 3,94 | 4,25 | 4,1 | 4,25 | 3,75 | 3,9 |
| 10 | 3,6 | 3,65 | 3,2 | 3,45 | 3,15 | 3,25 |
| 15 | 4,05 | 3,95 | 3,9 | 3,8 | 3,65 | 3,55 |
| 20 | 3,65 | 3,6 | 3,8 | 3,6 | 2,65 | 2,75 |

Aroma meliputi berbagai sifat seperti harum, manis, busuk dan tengik. Pada buah segar, beberapa senyawa volatil dapat berperan sebagai pembentuk aroma. Senyawa volatil tersebut meliputi senyawa ester, alkohol, aldehida, karbonil, asam, fenol, hidrokarbon dan sulfur. Seiring dengan tingkat kematangan buah dapat mengakibatkan

terjadinya perubahan pada senyawa volatil. Selain itu, pengolahan dengan suhu tinggi juga dapat mengakibatkan hilangnya senyawa volatil (Habibi et al., 2019). Hasil analisis berupa rerata mengenai perubahan aroma sale lilit yang diuji dengan menggunakan metode hedonik dan skoring dapat dilihat pada Tabel 9.

Berdasarkan Tabel 9 menunjukkan hasil uji hedonik dan skoring terhadap parameter aroma sale lilit. Pada suhu 30°C untuk uji hedonik menunjukkan skor aroma sale lilit berkisar antara 3,6- 4,05 (agak suka-suka), pada 40°C menunjukkan skor berkisar antara 3,6 -4,3 (agak suka-suka) dan pada suhu 50°C menunjukkan skor berkisar antara 2,65 – 4,45 (tidak suka-suka). Sedangkan uji skoring menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata terhadap parameter aroma yang berkisar antara 2,75 – 4,3 (tengik-tidak tengik).

Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa terjadi penurunan skor yang tidak signifikan terhadap parameter aroma sale lilit yang menunjukkan adanya bau tengik. Aroma tengik yang terdapat pada produk sale lilit disebabkan karena terbentuknya asam lemak bebas (FFA) yang menunjukkan terjadinya perubahan mutu akibat kerusakan produk. Puspitasari et al. (2020) memaparkan bahwa faktor cahaya dan gas dapat memberikan pengaruh terhadap kadar air dan asam lemak pada produk yang dapat mempengaruhi cita rasa pada produk selama masa penyimpanan.

2. Rasa

Rasa merupakan parameter penting yang perlu diuji dengan melibatkan indera pengecap/mulut. Dalam penginderaan cecapan manusia terdapat empat cecapan utama yang meliputi rasa manis, pahit, asam dan asin (Zuhra, 2006). Rasa dipengaruhi oleh berbagai faktor yaitu senyawa kimia, suhu, konsentrasi dan interaksi dengan komponen rasa yang lain (Setyaningsih et al., 2010). Hasil analisis berupa purata mengenai perubahan aroma sale lilit yang diuji dengan menggunakan metode hedonik dan skoring dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Uji Organoleptik Rasa Sale Lilit Selama Penyimpanan

| Waktu (Hari) | Suhu | | | | | |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 30°C | | 40°C | | 50°C | |
| | Hedonik | Skoring | Hedonik | Skoring | Hedonik | Skoring |
| 0 | 3,85 | 3,7 | 3,8 | 3,4 | 4,2 | 3,65 |
| 5 | 3,8 | 3,85 | 3,7 | 3,65 | 3,65 | 3,35 |
| 10 | 3,5 | 3,6a | 3,4 | 2,55 | 2,85 | 2,8 |
| 15 | 4,65 | 3,65 | 3,55 | 3,85 | 3,75 | 3,8 |
| 20 | 3,65 | 3,7 | 3,4a | 3,31 | 3,8 | 3,1 |

Kecenderungan tingkat kesukaan panelis terhadap sale lilit dapat berdasarkan Tabel 9 menunjukkan hasil uji hedonik terhadap parameter rasa sale lilit diperoleh skor berkisar 2,85 – 4,2 (agak suka-suka). Sedangkan untuk uji skoring menunjukkan skor yang diberikan panelis berkisar antara 2,55 -3,85 (agak berasa pisang, kurang manis sampai berasa pisang, kurang manis). Cita rasa pada produk pangan yang dihasilkan biasanya dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti bau, rasa dan rangsangan yang berasal dari indera pengecap/mulut. Selain itu, beberapa faktor lain yang mempengaruhi terbentuknya rasa yaitu suhu, senyawa kimia, konsistensi dan interaksi pangan dengan komponen rasa lain selama proses pemasakan. Rasa dan aroma pada sale lilit dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kualitas buah dan tingkat kematangan buah serta penggunaan minyak goreng. Pisang yang memiliki tingkat kematangan yang cukup dapat menghasilkan aroma dan rasa pisang yang khas (Aziza, 2022).

3. Warna

Suatu bahan pangan yang memiliki rasa yang enak namun memiliki warna yang tidak menarik atau memberi kesan telah menyimpang dari warna seharusnya, maka seharusnya tidak akan di konsumsi. Penentuan mutu suatu bahan pangan pada umumnya tergantung pada warna, hal ini dikarenakan warna tampil terlebih dahulu (Zainuri et al., 2023). Hasil analisis berupa purata mengenai perubahan sensoris tekstur sale lilit dengan menggunakan uji hedonik dan skoring dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Uji Organoleptik Warna Sale Lilit Selama Penyimpanan

| Waktu (Hari) | Suhu | | | | | |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 30°C | | 40°C | | 50°C | |
| | Hedonik | Skoring | Hedonik | Skoring | Hedonik | Skoring |
| 0 | 3,75 | 4,1 | 3,75 | 4,1 | 3,95 | 4 |
| 5 | 3,85 | 3,7 | 4,1 | 3,85 | 4,15 | 3,75 |
| 10 | 3,6 | 3,6 | 3,6 | 3,6 | 3,7 | 3,95 |
| 15 | 3,8 | 3,85 | 3,8 | 3,8 | 3,8 | 3,39 |
| 20 | 3,8 | 3,85 | 3,65 | 3,85 | 3,65 | 4,05 |

Berdasarkan Tabel 11 diperoleh skor hedonik pada parameter warna sale lilit selama penyimpanan berkisar antara 3,6 – 4,15 (agak suka-suka). Sedangkan pada uji skoring menunjukkan skor berkisar antara 3,6 – 4,15 (putih kekuningan-kuning kecoklatan). Warna pada sale lilit dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti bahan baku, proses pengolahan dan faktor kimiawi. Warna awal pada saat sebelum penggorengan sale lilit adalah warna putih agak kekuningan yang disebabkan oleh bahan baku mentega. Selanjutnya pada saat proses penggorengan, sale lilit akan mengalami proses karamelisasi yang disebabkan oleh pemasakan menggunakan minyak goreng sehingga akan memiliki warna yang lebih kecoklatan daripada bahan baku asalnya.

Adanya proses pemanasan dengan suhu tinggi selama penyimpanan juga menyebabkan warna sale lilit menjadi lebih gelap seiring dengan lamanya penyimpanan. Hal ini disebabkan karena semakin berkurangnya kadar air yang mengakibatkan terjadinya perubahan warna sale lilit menjadi lebih gelap. Selain itu, selama proses karamelisasi, terjadi reaksi pula antara gula dan protein yang menyebabkan terjadinya reaksi mailard yang mengakibatkan terjadinya pencoklatan (Martiyanti & Vita, 2019).

4. Tekstur

Tekstur pada bahan pangan merupakan salah satu atribut penting yang melibatkan indera pencicip/mulut pada saat digigit, dikunyah dan ditelan ataupun dengan menggunakan jari dengan melibatkan indera peraba/tangan. Tekstur berperan penting dalam mempengaruhi tingkat penerimaan konsumen atau panelis terhadap mutu produk pangan (Astuti et al., 2023). Hasil analisis berupa purata mengenai perubahan sensoris tekstur sale lilit dengan menggunakan uji hedonik dan skoring dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil Uji Organoleptik Teksur Sale Lilit Selama Penyimpanan

| Waktu (Hari) | Suhu | | | | | |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 30°C | | 40°C | | 50°C | |
| | Hedonik | Skoring | Hedonik | Skoring | Hedonik | Skoring |
| 0 | 3,8 | 3,4 | 3,25 | 3,05 | 3,7 | 3,55 |
| 5 | 3,45 | 3,1 | 3,4 | 3,05 | 3,55 | 3,3 |
| 10 | 3,45 | 3,1 | 2,95 | 2,8 | 2,95 | 2,85 |
| 15 | 3,3 | 3,15 | 3,45 | 3,05 | 3,5 | 3,2 |
| 20 | 3,65 | 3,2 | 3,1 | 3,05 | 3,2 | 3,05 |

Kecenderungan tingkat kesukaan panelis terhadap sale lilit dapat berdasarkan Tabel 12 menunjukkan hasil uji hedonik terhadap parameter tekstur menunjukkan skor 2,95 – 3,70 (agak suka-suka) selama penyimpanan. Sedangkan pada uji skoring menunjukkan skor 2,8 – 3,55 (keras-agak renyah). Tekstur produk tergantung pada kekompakan partikel penyusunnya bila produk tersebut dipatahkan sedangkan mutu teksturnya ditentukan oleh kemudahan terpecahnya partikel-partikel penyusun saat produk dikunyah dan sifat-sifat partikel yang dihasilkan (Martiyanti & Vita, 2019).

Selain itu, tekstur produk pangan juga dapat ditentukan proses pencampuran bahan, tingkat kekeringan sale pisang dan penggorengan. Pada tahap pencampuran adonan, adonan terlebih dahulu dicampurkan hingga kalis sebelum dilakukan proses selanjutnya. Selain itu, semakin kering sale pisang segar yang digunakan maka tekstur sale lilit yang dihasilkan semakin keras/alot. Sedangkan, pada tahap penggorengan dilakukan penguapan air dan penyerapan minyak. Proses ini berpotensi untuk membentuk kerenyahan atau kekerasan pada produk. Selain itu, tekstur produk juga dipengaruhi oleh kadar air, semakin tinggi kadar air akan mengakibatkan tekstur produk sale lilit menjadi semakin keras atau alot.

3.6. Perhitungan Umur Simpan

Setelah dilakukan penentuan parameter utama dalam menentukan umur simpan, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai energi aktivasi (E_a) yang diperoleh dari slope persamaan regresi linear. Menurut Khamidah (2010), energi aktivasi adalah energi yang diperlukan untuk mendegradasi suatu produk. Energi aktivasi akan bernilai rendah apabila reaksi berjalan cepat yang memiliki arti produk akan lebih cepat mengalami kerusakan. Sedangkan, apabila energi aktivasi tinggi menunjukkan bahwa kerusakan pada produk berjalan secara lebih lambat. Adapun faktor-faktor yang dapat mempengaruhi penurunan mutu atau kerusakan pada produk yaitu oksigen, uap air, cahaya, mikroorganisme, kompresi dan bahan kimia toksik (Palupi et al., 2011).

Activation Energy (AE) atau lebih dikenal dengan energi aktivasi (E_a) merupakan energi minimal yang harus dimiliki oleh suatu molekul untuk melakukan suatu reaksi yang dalam hal ini adalah untuk terbentuknya nilai FFA. E_a berfungsi sebagai parameter yang digunakan untuk mengetahui jumlah energi minimum yang berfungsi untuk mengaktifkan suatu reaksi sebagai akibat dari pertemuan molekul-molekul yang terjadi di dalam tumbukan atau getaran, sedangkan jumlah frekuensi tumbukan antar molekul-molekul selama reaksi berlangsung bisa ditunjukkan dengan adanya konstanta faktor frekuensi (K_0). Nilai faktor frekuensi cenderung mengikuti pola perubahan nilai E_a yang dimana faktor frekuensi akan mengalami kenaikan seiring dengan naiknya nilai E_a atau juga sebaliknya. Parameter dengan nilai energi aktivasi terendah merupakan parameter kunci Anggo (2018). Parameter kunci inilah yang kemudian akan digunakan untuk menentukan umur simpan sale lilit dapat dilihat pada tabel 13.

Tabel 13. Persamaan Arrhenius dan R2 Setiap Parameter Uji

| No | Perlakuan | Persamaan Arrhenius (Orde yang dipilih) | Energi Aktivasi (E_a) |
|----|---------------------|---|-------------------------------|
| 1 | Kadar Air | $\ln k = -9,0193 + 1715,2/T$ | 14.260 Joule/mol $^{\circ}$ K |
| 2 | Kadar FFA | $\ln k = -2,8048 - 527,8/T$ | 4.388 Joule/mol $^{\circ}$ K |
| 3 | Tekstur (Kekerasan) | $\ln k = -25,7780 + 6645,0/T$ | 55.247 Joule/mol $^{\circ}$ K |
| 4 | Warna (Kecerahan) | $\ln k = 15,4400 - 6916,2/T$ | 57.501 Joule/mol $^{\circ}$ K |

Sejalan dengan pendapat dari Garrote et al. (2008) yang memaparkan bahwa penentuan parameter kinetika, konstanta laju reaksi serta energi aktivasi yang tepat berperan penting untuk memprediksi perubahan kualitas produk yang diakibatkan oleh perlakuan pemanasan. Slope = E_a/R dari setiap parameter dapat dilihat pada Tabel 13. Energi aktivasi yang dihasilkan pada parameter kadar air, kadar %FFA, tekstur dan warna sale lilit untuk orde nol berturut-turut sebesar 14,260 Joule/mol $^{\circ}$ K, 6,865 Joule/mol $^{\circ}$ K, 4,388 Joule/mol $^{\circ}$ K, 55,247 Joule/mol $^{\circ}$ K dan 57,501 Joule/mol $^{\circ}$ K. Hasil perhitungan E_a dari setiap parameter menunjukkan bahwa energi aktivasi terkecil yaitu pada parameter asam lemak bebas (FFA) yang mencapai 4,388 joule/mol $^{\circ}$ K yang artinya untuk meningkatkan nilai asam lemak bebas (FFA) pada sale lilit dibutuhkan sedikitnya energi terbanyak sebanyak 4,388 joule/mol $^{\circ}$ K. Penentuan umur simpan sale lilit dihitung berdasarkan parameter asam lemak bebas (FFA). Parameter asam lemak bebas mengikuti orde reaksi satu menggunakan persamaan 5. Dimana kadar FFA kritis (Q_t) sale lilit diperoleh dari SNI 8370-2018 tentang batas maksimum kadar asam lemak bebas mencapai 2,5%, sehingga perhitungan umur simpan sale lilit dapat dilihat pada Tabel 14.

Berdasarkan hasil perhitungan umur simpan pada Tabel 14 diperoleh umur simpan paling lama untuk sale lilit kemasan aluminium foil pada suhu 30 $^{\circ}$ C yakni selama 56,119 hari (1,87 bulan) dan umur simpan terendah pada suhu 50 $^{\circ}$ C selama 50,381 hari (1,67 bulan). Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan suhu dapat mempengaruhi masa simpan produk pangan yang diakibatkan karena suhu menyebabkan semakin cepatnya laju reaksi yang mengakibatkan produk cepat mengalami kerusakan. Nofrida et al. (2024), memaparkan bahwa suhu penyimpanan berhubungan erat dengan umur simpan produk pangan. Hal ini disebabkan karena suhu berpengaruh terhadap kecepatan kerusakan dan penurunan mutu produk. Semakin tinggi suhu penyimpanan maka semakin besar laju percepatan penurunan mutu (k) yang mengakibatkan umur simpan (t) produk semakin pendek.

Tabel 14. Umur Simpan Keripik Pisang

| Suhu Penyimpanan | | Nt-N0 | Ln (Nt-N0) | Nilai k | Umur Simpan | |
|------------------|-----|-------|------------|-------------|-------------|-----------|
| °C | °K | | | | t (hari) | t (bulan) |
| 30 | 303 | 1,813 | 0,59498 | 0,010601983 | 56,119 | 1,87 |
| 40 | 313 | 1,813 | 0,59498 | 0,011208734 | 53,082 | 1,76 |
| 50 | 323 | 1,813 | 0,59498 | 0,011809444 | 50,381 | 1,67 |

Penggunaan kemasan aluminium foil juga dapat menjadi salah satu faktor untuk memperpanjang masa simpan produk sale lilit. Hal ini diduga karena tingkat permeabilitas kemasan terhadap uap air dan tingkat kerapatan kemasan berpengaruh terhadap ketersediaan oksigen dalam produk. Dalam menentukan umur simpan produk, faktor mutu merupakan faktor yang sangat mempengaruhi konsumen dalam membeli suatu produk (Saloko et al., 2024). Umur simpan produk sale lilit pada suhu 30°C yakni selama 56,119 hari (1,87 bulan), suhu 40°C menghasilkan masa simpan sale lilit selama 53,082 hari (1,76 bulan) dan umur simpan terendah pada suhu 50°C selama 50,381 hari (1,67 bulan). Suhu penyimpanan produk sale lilit yang direkomendasikan dalam penelitian ini adalah suhu penyimpanan 30°C. Hal ini dikarenakan suhu penyimpanan 30°C mendekati suhu penyimpanan pada suhu ruang.

4. KESIMPULAN

Umur simpan untuk sale lilit kemasan aluminium foil lilit yang dihitung menggunakan metode ASLT model Arrhenius yang menghasilkan masa simpan produk sale lilit pada suhu 30°C yakni selama 56,119 hari (1,87 bulan), suhu 40°C menghasilkan masa simpan sale lilit selama 53,082 hari (1,76 bulan) dan umur simpan terendah pada suhu 50°C selama 50,381 hari (1,67 bulan). Selain itu, suhu penyimpanan terbaik untuk menyimpan sale lilit yaitu suhu 30°C yang mendekati suhu ruang dengan masa simpan selama 56,119 hari atau hampir mendekati 2 bulan.

5. DEKLARASI

Taksonomi Peran Kontributor

Semua penulis berkontribusi sama sebagai kontributor dari artikel ini. Semua penulis membaca dan menyetujui artikel ini.

Pernyataan Pendanaan

Penelitian ini tidak menerima hibah khusus dari lembaga pendanaan di sektor publik, komersial, atau nirlaba.

Pernyataan Pendanaan

Para penulis menyatakan bahwa mereka tidak memiliki kepentingan keuangan yang bersaing atau hubungan pribadi yang dapat mempengaruhi pekerjaan yang dilaporkan dalam makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfiyani, N., Adawiyah, D. R., & Wulandari, N. (2018). *Penetapan Parameter Kurva ISA dalam Penentuan Umur Simpan Produk Pangan Kering Metode Kadar Air Kritis*. PhD thesis, IPB University. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/94005>.
- Anggo, A. D. (2018). Energi Aktivasi Perubahan Nilai Free Fatty Acid pada Abon Ikan Lele Dumbo (*Clarias sp*) Selama Penyimpanan. *Jurnal Ilmu Pangan dan Hasil Pertanian*, 1(2). <https://doi.org/10.26877/jiphp.v1i2.1834>.
- Ardiyansyah & Apriliyanti, M. (2016). Karakteristik Kimia Teh Kulit Melinjo. *Jurnal Ilmiah Inovasi*, 16(2). <https://doi.org/10.25047/jii.v16i2.289>.
- Arif, A. B. (2016). Metode accelerated shelf life test (aslt) dengan pendekatan arrhenius dalam pendugaan umur simpan sari buah nenas, pepaya dan cempedak. *Informatika Pertanian*, 25(2), 189–198. <https://doi.org/10.21082/ip.v25n2.2016.p189-198>.
- Asiah, N., Cempaka, L., & David, W. (2018). Panduan praktis pendugaan umur simpan produk pangan.
- Astuti, N. B., Raya, M. K., & Rahayu, E. S. (2023). Pengaruh suhu dan tempat penyimpanan terhadap kadar air dan mutu organoleptik biskuit substitusi tepung belut (*Monopterus albus zuieuw*). *AcTion: Aceh Nutrition Journal*, 8(1), 81–89. <https://doi.org/10.30867/action.v8i1.811>.

- Aziza, I. F. (2022). Strategi Peningkatan Value Produk Olahan Keripik Pisang di Dusun Mulyosari Desa Sumberejo Kecamatan Gedangan. *at-Tamkin: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 33–41.
- Badan Pengawasan Obat dan Makanan (2019). Produksi Pangan untuk Industri Rumah Tangga: Pisang Sale. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. https://istanaumkm.pom.go.id/IstanaUMKM/storage/app/media/ModulTTG/39PISANGSALE_FIX.pdf.
- Cicilia, S., Basuki, E., Alamsyah, A., Yasa, I. W. S., Dwikasari, L. G., & Suari, R. (2021). Sifat fisik dan daya terima cookies dari tepung biji nangka dimodifikasi. *Prosiding Saintek*, 3, 612–621.
- Dya, R. A. & Budyanra, B. (2020). Determinan Total Factor Productivity Growth Sektor Pertanian di Kawasan Barat Indonesia Periode 2013-2017 Menggunakan Analisis Regresi Data Panel. *Seminar Nasional Official Statistics*, 2019(1). <https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2019i1.57>.
- Fauziyyah, A., Utama, Q. D., Hasanah, S. H., Radiansyah, M. R., & Hakiki, D. N. (2024). The effect of different sweetener on physical and sensory characteristic of Wedang Uwuh, an Indonesian traditional drink. In *AIP Conference Proceedings*, volume 3048: AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0202003>.
- Gardjito, M., Harmayani, E., & Umar, S. (2018). Makanan Tradisional Indonesia Seri 3.
- Garrote, R. L., Silva, E. R., Roa, R. D., & Bertone, R. A. (2008). Kinetic parameters of surface color degradation of canned fresh green peas sterilized in a rotary retort. *LWT*, 41(3). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.03.014>.
- Gusnadi, D., Taufiq, R., & Baharta, E. (2021). Uji organoleptik dan daya terima pada produk Mousse berbasis tapai singkong sebagai komoditi UMKM di kabupaten Bandung. *Jurnal Inovasi Penelitian*, 1(12), 2883–2888. <https://doi.org/10.47492/jip.v1i12.606>.
- Habibi, N. A., Fathia, S., & Utami, C. T. (2019). Perubahan Karakteristik Bahan Pangan pada Keripik Buah dengan Metode Freeze Drying (Review). *JST (Jurnal Sains Terapan)*, 5(2). <https://doi.org/10.32487/jst.v5i2.634>.
- Hartisyah, N., Nazaruddin, N., & Utama, Q. D. (2024). Pengaruh Suhu Pengeringan terhadap Karakteristik Teh Buah Mahkota Dewa (*Phaleria macrocarpa*) sebagai Minuman Fungsional. *Jurnal Teknologi dan Mutu Pangan*, 3(1), 57–65. <https://doi.org/10.30812/jtmp.v3i1.4320>.
- Haryati, H., Estiasih, T., Heppy, F., & Ahmadi, K. (2015). Pendugaan Umur Simpan Menggunakan Metode Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT) dengan Pendekatan Arrhenius pada Produk Tape Ketan Hitam Khas Mojokerto Hasil Sterilisasi. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 3(1), 156–165.
- Hutasoit, N. (2009). Penentuan Umur Simpan Fish Snack (produk ekstrusi) Menggunakan Metode Akselerasi Dengan Pendekatan Kadar Air Kritis dan Metode Konvensional.
- Indah, H. D. (2011). Pendugaan umur simpan produk cone es krim dengan metode akselerasi model kadar air kritis.
- Khamidah, A. (2010). Aplikasi Metode ASLT dalam Produk Pangan. *Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Timur. Malang*.
- Kumalasari, R., Desnilasari, D., & Wadhessoeriba, S. P. (2018). Evaluasi Mutu Kimia dan Organoleptik Mi Kering Bebas Gluten dari Tepung Komposit Jagung-Singkong selama Penyimpanan). *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, Desember, 23(3).
- Kusnandar, F. (2004). Aplikasi Program Komputer sebagai Alat Bantu Penentuan Umur Simpan Produk Pangan Metode Arrhenius. *Dalam: Modul Pendugaan Waktu Kadaluarasa (Self Life) Bahan dan Produk Pangan*. IPB, Bogor, (pp. 1–2).
- Martiyanti, M. A. & Vita, V. V. (2019). Sifat Organoleptik Mi Instan Tepung Ubi Jalar Putih Penambahan Tepung Daun Kelor. *FoodTech: Jurnal Teknologi Pangan*, 1(1). <https://doi.org/10.26418/jft.v1i1.30347>.
- Nofrida, R., Zainuri, Z., Utama, Q. D., Afriansyah, D., Rahayu, N., Anggraini, I. M. D., & Pertiwi, M. G. P. (2024). Pendugaan Umur Simpan Kopi Bubuk Robusta Desa Pakuan Menggunakan Model Arrhenius. *Pro Food*, 10(2), 188–195. <https://doi.org/10.29303/profood.v10i2.485>.
- Nurhasnawati, H. (2017). Penetapan Kadar Asam Lemak Bebas dan Bilangan Peroksida pada Minyak Goreng Yang Digunakan Pedagang Gorengan Di Jl. A.W Sjahrane Samarinda. *Jurnal Ilmiah Manuntung*, 1(1). <https://doi.org/10.51352/jim.v1i1.7>.

- Palupi, N. S., Kusnandar, F., Adawiyah, D. R., & Syah, D. (2011). Penentuan Umur Simpan Dan Pengembangan Model Diseminasi Dalam Rangka Percepatan Adopsi Teknologi Mi Jagung Bagi Ukm. *MANAJEMEN IKM: Jurnal Manajemen Pengembangan Industri Kecil Menengah*, 5(1). <https://doi.org/10.29244/mikm.5.1.42-52>.
- Pertiwi, M. G. P., Nofrida, R., Anggraini, I. M. D., Afriansyah, D., Rahayu, O., Zainuri, Z., Rahayu, N., & Utama, Q. D. (2024). Estimation of Shelf Life of Robusta Coffee Bean Using Critical Moisture Content Approach. *Pro Food*, 10(1), 20–29. <https://doi.org/10.29303/profood.v10i1.362>.
- Puspitasari, E., Sutan, S. M., & Latriyanto, A. (2020). Pendugaan umur simpan keripik kelapa (cocos nucifera l.) menggunakan metode accelerated shelf-life testing (aslt) model pendekatan persamaan arrhenius. *Journal of Tropical Agricultural Engineering and Biosystems-Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 8(1), 36–45. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2020.008.01.04>.
- Rahman, A. N. F., Mahendradatta, M., & Effendi, J. (2018). Pengaruh Kemasan Terhadap Mutu Sale Pisang Raja (Musa X paradisiaca AAB) Selama Penyimpanan. *Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, and Culinary Journal*. <https://doi.org/10.20956/canrea.v1i2.97>.
- Rosiani, N., Basito, B., & Widowati, E. (2015). Kajian Karakteristik Sensoris Fisik dan Kimia Kerupuk Fortifikasi Daging Lidah Buaya (Aloe vera) dengan Metode Pemanggangan Menggunakan Microwave. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 8(2). <https://doi.org/10.11598/BTB.2023.30.3.1940>.
- Saloko, S., Siska, C., Dwi, M. I., Erwin, I., Zainuri, Lina, N., Muh., J., Dinanta, U. Q., & Lalu, U. (2024). The Effect of Addition Carrageenan and Citric Acid on the Shelf Life of Moringa Leaf (Moringa oleifera) Jelly Drink. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 14(3), 1135–1143. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.14.3.19363>.
- Setyaningsih, D., Apriyantono, A., & Sari, M. P. (2010). Analisis Sensori Untuk Industri Pangan dan Agro. In *Analisis Sensori*.
- Soliawati, S. & Utama, Q. D. (2024). Perbandingan Parameter Mutu Crude Palm Oil Produksi PT XYZ Terhadap Ketetapan Mutu Standar Nasional Indonesia. *Jurnal Teknologi dan Mutu Pangan*, 2(2), 148–160. <https://doi.org/10.30812/jtmp.v2i2.3753>.
- Solihin, Muhtarudin, & Sutrisna, R. (2015). Pengaruh Lama Penyimpanan Terhadap Kadar Air Kualitas Fisik dan Sebaran Jamur Wafer Limbah Sayuran dan Umbi-Umbian. *Jurnal Ilmiah Peternakan Terpadu*, 3(2), 48–54.
- Sumarna, D. (2008). Pengaruh Proporsi Beras Pecah Kulit, Kacang Tunggak dan Jagung Terhadap Mutu Sereal Mengembang (Puffed) yang Dihasilkan. *J. Teknologi Pertanian*, 4(1), 41–47.
- Suyanti, S. & Supriyadi, A. (2008). *Pisang: Budi daya, pengolahan, dan prospek pasar*. Depok: Penebar Swadaya.
- Syahrul, Syarief, R., Hermanianto, J., & Nurtama, B. (2017). Optimasi proses penggorengan tumpi-tumpi dari ikan bandeng menggunakan response surface methodology. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(3), 432. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v20i3.19762>.
- Telaumbanua, M. C. & Utama, Q. D. (2024). Pengaruh Lama Pemanasan pada Penurunan Kualitas Mutu Minyak Goreng Sawit Komersial. *Jurnal Teknologi dan Mutu Pangan*, 2(2). <https://doi.org/10.30812/jtmp.v2i2.3751>.
- Utama, Q. D., Zainuri, Z., Paramartha, D. N. A., Widyasari, R., & Aini, N. (2022). Dekafeinasi kopi robusta (coffea canephora) lombok menggunakan sari labu siam (sechium edule): Decaffeination of lombok robusta coffee (coffea canephora) using chayote (sechium edule) juice. *Pro Food*, 8(1), 77–87. <https://doi.org/10.29303/profood.v8i1.253>.
- Winarno (2002). *Kimia pangan dan Gizi*, volume 13. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Zainuri, Paramartha, D. N. A., Fatinah, A., Nofrida, R., Rahayu, N., Anggraini, I. M. D., & Utama, Q. D. (2023). The Chemical Characteristics of Arabica and Robusta Green Coffee Beans From Geopark Rinjani, Indonesia. *Biotropia*, 30(3). <https://doi.org/10.11598/BTB.2023.30.3.1940>.
- Zuhra, C. F. (2006). Flavor (Cita Rasa).
- Zuhrina (2011). *Pengaruh Penambahan Tepung Kulit Pisang Raja (Musa paradisiaca) Terhadap Daya Terima Kue Donat*. PhD thesis, Universitas Sumatera Utara.