

**PROSES PEMBUATAN DAN PENDUGAAN UMUR SIMPAN GULA
CAIR DARI NIRA BATANG SAWIT TUA DALAM KEMASAN BOTOL
KACA MENGGUNAKAN METODE ASLT MODEL ARRHENIUS**

(Skripsi)

Oleh

**NATASYA AURELIA
2014051005**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRACT

PRODUCTION PROCESS AND SHELF LIFE ESTIMATION OF SYRUP FROM OLD OIL PALM SAP IN GLASS BOTTLE PACKAGING USING THE ARRHENIUS MODEL OF ASLT METHOD

By

Natasya Aurelia

The use of old oil palm trunks, waste from the rejuvenation of oil palm trees, was carried out by processing the pressed sap into syrup. The research was proposed to estimate the shelf life of syrup from oil palm sap in glass bottles. This syrup was made using the atmospheric evaporation treatment by heating palm sap at $\pm 90^{\circ}\text{C}$ with a gas stove. Estimation of the shelf life of syrup was carried out using the Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) method with the Arrhenius model. 20 g syrup each was packed in glass bottles, then stored at temperatures of 5°C , 25°C , and 45°C for one month and observed every six days. The initial quality characteristics of this syrup were it had a water content of 39.53%, a pH level of 5.15, total dissolved solids of 66.5°Brix , with sensory characteristics of a dark brown color, a sweet and slightly sour taste, and a distinctive aroma of the palm trunk. Observation parameters include water content, pH, total dissolved solids ($^{\circ}\text{Brix}$), sensory quality (appearance and flavor), and fungal growth. The results show that the shelf life of syrup from oil palm sap based on pH parameters at temperatures of 5°C is 35 years 5 months 17 days and 25°C is 3 years 5 months 13 days, while the shelf life is based on total dissolved solids parameters namely 7 months 2 days (5°C) and 5 months 22 days (25°C).

Keywords: oil palm sap, syrup, shelf life, ASLT Arrhenius

ABSTRAK

PROSES PEMBUATAN DAN PENDUGAAN UMUR SIMPAN GULA CAIR DARI NIRA BATANG SAWIT TUA DALAM KEMASAN BOTOL KACA MENGGUNAKAN METODE ASLT MODEL ARRHENIUS

Oleh

Natasya Aurelia

Pemanfaatan batang kelapa sawit tua yang merupakan limbah dari peremajaan pohon kelapa sawit dilakukan dengan mengolah nira hasil ekstraksi batang sawit menjadi gula cair. Tujuan penelitian ini adalah menduga masa simpan gula cair dari nira batang sawit tua dalam kemasan botol kaca. Gula cair ini dibuat menggunakan metode penguapan atmosferik dengan cara memanaskan nira sawit menggunakan kompor gas dengan suhu pemanasan $\pm 90^{\circ}\text{C}$. Pendugaan umur simpan gula cair dilakukan menggunakan metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) model Arrhenius. Gula cair dikemas sebanyak 20 g pada masing-masing botol kaca lalu disimpan pada suhu 5°C , 25°C , dan 45°C selama satu bulan dan diamati setiap enam hari sekali. Karakteristik mutu awal dari gula cair ini yaitu memiliki kadar air sebesar 39.53%, pH 5.15, total padatan terlarut sebesar 66.5°Brix , dengan sifat sensori berupa berwarna coklat gelap, rasa manis sedikit asam, serta beraroma khas batang sawit. Parameter pengamatan berupa kadar air, pH, total padatan terlarut ($^{\circ}\text{Brix}$), mutu sensori (penampakan, rasa, dan aroma), serta pertumbuhan jamur. Hasil menunjukkan bahwa umur simpan gula cair dari nira batang sawit tua berdasarkan parameter pH pada suhu 5°C ialah 35 tahun 5 bulan 17 hari dan 25°C ialah 3 tahun 5 bulan 13 hari, sedangkan umur simpan berdasarkan parameter total padatan terlarut yaitu 7 bulan 2 hari (5°C) dan 5 bulan 22 hari (25°C).

Kata kunci: nira sawit, gula cair, umur simpan, ASLT Arrhenius

**PROSES PEMBUATAN DAN PENDUGAAN UMUR SIMPAN GULA
CAIR DARI NIRA BATANG SAWIT TUA DALAM KEMASAN BOTOL
KACA MENGGUNAKAN METODE ASLT MODEL ARRHENIUS**

Oleh

NATASYA AURELIA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
Sarjana Teknologi Pertanian**

Pada

**Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

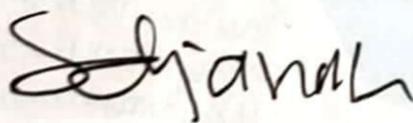
LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : **PROSES PEMBUATAN DAN PENDUGAAN UMUR SIMPAN GULA CAIR DARI NIRA BATANG SAWIT TUA DALAM KEMASAN BOTOL KACA MENGGUNAKAN METODE ASLT MODEL ARRHENIUS**

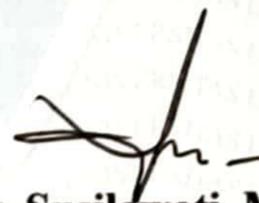
Nama : **Natasya Aurelia**
Nomor Pokok Mahasiswa : 2014051005
Program Studi : Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas : Pertanian

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

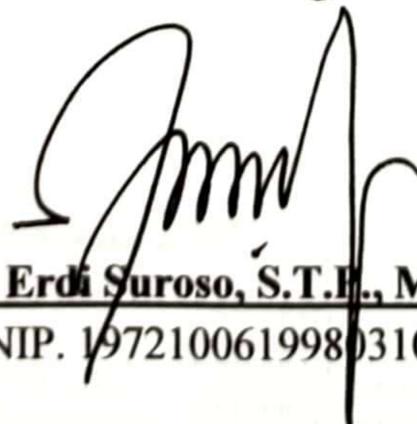


Dr. Ir. Siti Nurdjanah, M.Sc.
NIP. 196207201986032001



Ir. Susilawati, M.Si.
NIP. 196108061987022001

2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian



Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A.
NIP. 197210061998031005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Ir. Siti Nurdjanah, M.Sc.

Seljandh

Sekretaris : Ir. Susilawati, M.Si.

[Signature]

**Penguji
Bukan pembimbing : Ir. Otik Nawansih, M.P.**

[Signature]

Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kusyanta Futas Hidayat, M.P.

NIP. 196411181989021002

[Signature]

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 6 Juni 2024

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Natasya Aurelia

NPM : 2014051005

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya tulis ini adalah hasil karya sendiri berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Hasil karya ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukan hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila terdapat kecurangan dikemudian hari dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 14 Juni 2024

Pembuat Pernyataan



Natasya Aurelia

2014051005

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kota Serang, Banten pada tanggal 20 Desember 2001. Penulis merupakan putri ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Wiharto dan Ibu Herlina Jonsairi. Penulis memiliki dua orang kakak bernama Giovanny Theotista dan Pricilia Florentina.

Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SD Mardi Yuana Serang pada tahun 2014, sekolah menengah pertama di SMPN 1 Kota Serang pada tahun 2017, dan sekolah menengah atas di SMAN 1 Kota Serang jurusan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) pada tahun 2020. Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2020 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Pada Januari-Februari 2023, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Pekon Sinar Luas, Kecamatan Kebun Tebu, Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung. Pada bulan Juni-Agustus 2023, penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di Industri Hilir Teh (IHT) PT. Perkebunan Nusantara VIII Unit Cibiru dan telah menyelesaikan laporan PU mengenai penerapan *Good Manufacturing Practices* (GMP) di pabrik tersebut. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di berbagai kegiatan kampus. Beberapa kegiatan yang pernah diikuti oleh penulis antara lain berperan sebagai mentor mata kuliah Pendidikan Agama Katolik pada tahun 2021, mengikuti penelitian *pra-startup* pada tahun 2022, menjadi asisten dosen mata kuliah Kimia Dasar pada tahun 2022-2023 dan mata kuliah Fisiologi Pasca Panen dan Pengemasan pada tahun 2023, memperoleh pendanaan pada Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) Tahun 2023, serta mengikuti beberapa seminar *online*.

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa sebab atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian serta penulisan skripsi ini sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian di Universitas Lampung. Penulis menyadari bahwa dalam pelaksanaan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, perkenankan penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Ir. Siti Nurdjanah, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Pertama sekaligus Pembimbing Akademik yang telah memfasilitasi penelitian serta memberikan arahan, saran, motivasi, maupun nasehat selama penulis menjalani perkuliahan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
4. Ibu Ir. Susilawati, M.Si., selaku Dosen Pembimbing kedua yang telah memberikan arahan, saran, dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Ibu Ir. Otik Nawansih, M.P., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran dan evaluasi dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Kedua orang tua penulis, Ayah Wiharto dan Ibu Herlina yang selalu memberikan dukungan, kasih sayang, dan doa bagi penulis.
7. Kedua kakak, Giovanni Theotista dan Pricilia Florentina yang senantiasa mendukung serta memberi semangat kepada penulis.

8. Bapak dan ibu dosen pengajar, staf, serta karyawan Jurusan Teknologi Hasil Pertanian yang telah mengajari, membimbing, dan juga membantu administrasi dalam penyusunan skripsi.
9. Teman-teman dekat semasa perkuliahan, Asqiatul Hasanah, Revi Dwi Amanda, Nur Ahmad Fadli, dan Rachma Sasriany atas bantuan, dukungan, maupun kebersamaan selama perkuliahan hingga terselesaikannya skripsi ini.
10. Teman-teman penelitian, Masdiah Ayu Safitri, Meisya Tifani Putri, Adjie Randanta Gunawan, dan Alif Fikri N. H. atas kebersamaan, kerja sama, bantuan, serta dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi.
11. Seluruh pihak yang terlibat dalam kelancaran penyusunan skripsi, termasuk Berlian Cahyani Septyaningrum, Pramesti Budi Chandrawati, dan Tasya Sefania Panjaitan yang senantiasa memberikan semangat kepada penulis.
12. Teman-teman Jurusan Teknologi Hasil Pertanian angkatan 2020 atas bantuan dan dukungan selama pelaksanaan penelitian dan penyelesaian skripsi.

Penulis berharap Tuhan YME membalas segala kebaikan yang telah diberikan dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Bandar Lampung, 14 Juni 2024
Penulis,

Natasya Aurelia

DAFTAR ISI

	Halaman
SANWACANA	i
DAFTAR ISI.....	iii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Kerangka Pemikiran	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tanaman Kelapa Sawit.....	6
2.2 Fisiologi Batang Kelapa Sawit.....	7
2.3 Nira Sawit.....	8
2.4 Gula Cair	10
2.5 Penguapan (Evaporasi).....	12
2.6 Kadar Air.....	13
2.7 Penentuan Umur Simpan Produk.....	14
2.8 Metode <i>Accelerated Shelf-Life Testing</i> (ASLT) Model Arrhenius	14
III. METODE PENELITIAN	18
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.2 Bahan dan Alat Penelitian.....	18
3.3 Metode Penelitian.....	19
3.4 Pelaksanaan Penelitian	19
3.4.1 Penebangan Pohon Kelapa Sawit Tua	19
3.4.2 Ekstraksi Nira dari Batang Sawit Tua	20
3.4.3 Pembuatan Gula Cair dari Nira Batang Sawit Tua	22
3.4.4 Pengemasan dan Penyimpanan Gula Cair.....	22
3.4.5 Penentuan Karakteristik Mutu Awal dan Mutu Akhir Gula Cair dari Nira Sawit	23
3.5 Pengamatan	24
3.5.1 Kadar Air	24
3.5.2 pH (Derajat Keasaman)	25
3.5.3 Total Padatan Terlarut (Derajat Brix).....	25
3.5.4 Mutu Sensori	26
3.5.5 Pertumbuhan Jamur.....	26
3.6 Pendugaan Umur Simpan Gula Cair dari Nira Sawit.....	26

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Gambaran Umum Produk	29
4.2 Kadar Air.....	29
4.3 pH (Derajat Keasaman)	31
4.4 Total Padatan Terlarut (°Brix).....	34
4.5 Mutu Sensori.....	37
4.6 Pertumbuhan Jamur	41
4.7 Persamaan Arrhenius dan Energi Aktivasi	43
4.8 Penentuan Umur Simpan Gula Cair	45
V. KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Standar mutu sirup glukosa diatur berdasarkan SNI 2978-2021	11
2. Contoh penelitian tentang pendugaan umur simpan produk.....	16
3. Karakteristik mutu awal (A_0) gula cair dari nira batang sawit tua.....	29
4. Persamaan regresi linear parameter kadar air	31
5. Persamaan regresi linear parameter pH	34
6. Persamaan regresi linear parameter total padatan terlarut ($^{\circ}$ Brix).....	36
7. Karakteristik sensori gula cair selama satu bulan	37
8. Persamaan Arrhenius dan energi aktivasi (E_a) gula cair	45
9. Hasil perhitungan umur simpan gula cair dari nira batang sawit tua berdasarkan parameter kadar air	45
10. Hasil perhitungan umur simpan gula cair dari nira batang sawit tua berdasarkan parameter pH	46
11. Hasil perhitungan umur simpan gula cair dari nira batang sawit tua berdasarkan parameter TPT	47
12. Hasil pengukuran kadar air gula cair (%)	58
13. Hubungan antara penurunan mutu kadar air terhadap waktu penyimpanan (ordo 0)	59
14. Hubungan antara penurunan mutu kadar air terhadap waktu penyimpanan (ordo 1)	59
15. Persamaan regresi linear parameter kadar air	59
16. Hubungan antara intersep, k , R^2 untuk ordo 0 dan 1 parameter kadar air	60
17. Hubungan antara $\ln k$ dan $1/T$ parameter kadar air.....	60
18. Hasil pengukuran pH gula cair.....	61
19. Hubungan antara penurunan mutu pH terhadap waktu penyimpanan (ordo 0).....	61
20. Hubungan antara penurunan mutu pH terhadap waktu penyimpanan (ordo 1).....	61
21. Persamaan regresi linear parameter pH	62
22. Hubungan antara intersep, k , R^2 untuk ordo 0 dan 1 parameter pH.....	62
23. Hubungan antara $\ln k$ dan $1/T$ parameter pH.....	63
24. Hasil pengukuran total padatan terlarut (TPT) gula cair ($^{\circ}$ Brix)	63
25. Hubungan antara waktu dengan penurunan mutu TPT (Ordo 0).....	64
26. Hubungan antara waktu dengan penurunan mutu TPT (Ordo 1).....	64
27. Persamaan regresi linear parameter TPT	64
28. Hubungan antara intersep, k , R^2 untuk ordo 0 dan 1 (TPT).....	65
29. Hubungan antara $\ln k$ dan $1/T$ (TPT)	65

30. Hasil perhitungan umur simpan berdasarkan kadar air (ordo 1).....	67
31. Hasil perhitungan umur simpan berdasarkan pH (ordo 1).....	67
32. Hasil perhitungan umur simpan berdasarkan total padatan terlarut (ordo 1).....	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram alir pengambilan nira dari batang sawit tua	21
2. Diagram alir pengolahan nira batang sawit tua dan penentuan masa simpan	23
3. Nilai perubahan kadar air gula cair selama penyimpanan	30
4. Nilai perubahan pH gula cair selama penyimpanan.....	32
5. Nilai perubahan TPT ($^{\circ}$ Brix) gula cair selama penyimpanan	35
6. Gula cair pada berbagai suhu penyimpanan	39
7. Jamur pada gula cair (penyimpanan 25°C)	42
8. Plot Arrhenius perubahan kadar air gula cair.....	43
9. Plot Arrhenius perubahan pH gula cair.....	44
10. Plot Arrhenius perubahan TPT gula cair	44
11. Batang sawit tua	68
12. Pemotongan batang sawit tua.....	68
13. Pembelahan batang sawit tua	68
14. Pengecilan ukuran empulur.....	68
15. Ekstraksi nira sawit	68
16. Nira sawit	68
17. Pembuatan gula cair	68
18. Perebusan botol kaca.....	68
19. Pengemasan gula cair	68
20. Penyimpanan 5°C	69
21. Penyimpanan 25°C	69
22. Penyimpanan 45°C	69
23. Pengujian kadar air	69
24. Pengujian pH.....	69
25. Pengujian total padatan terlarut.....	69

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) diketahui berasal dari Afrika Barat. Tanaman ini dikenal sebagai penghasil utama minyak nabati serta memiliki produktivitas yang lebih tinggi daripada tanaman penghasil minyak nabati lainnya, seperti minyak bunga matahari ataupun minyak kedelai. Pemerintahan Belanda pertama kali memperkenalkan kelapa sawit di Indonesia pada tahun 1848. Akan tetapi, pembudidayaan kelapa sawit untuk tujuan komersial baru dilakukan pada tahun 1911 sebab sebelumnya hanya dijadikan sebagai tanaman hias (Nora dan Mual, 2018). Indonesia dikenal sebagai negara produsen minyak sawit mentah (*crude palm oil*) terbesar dunia (Badan Pusat Statistik, 2021). Fungsi kelapa sawit di Indonesia antara lain menjadi sumber devisa negara, memperluas lapangan pekerjaan, serta meningkatkan pendapatan petani (Rumengan, 2019). Menurut data Badan Pusat Statistik (2021), luas areal perkebunan kelapa sawit diperkirakan mencapai 14,62 juta hektar.

Pemanenan kelapa sawit dapat dilakukan ketika tanaman sudah berusia tiga ataupun empat tahun. Produksi minyak sawit akan semakin meningkat seiring penambahan usia dan maksimal pada tanaman yang berusia 9-14 tahun. Akan tetapi, produksi minyak sawit akan mulai menurun setelah kurun waktu tersebut. Oleh karena itu, usia ekonomis tanaman kelapa sawit ialah sekitar 25-26 tahun (Rumengan, 2019). Setelah itu, pohon sawit perlu ditebang dan ditanam kembali (Raviki *et al.*, 2022).

Menurut Bahmani *et al.* (2016), batang kelapa sawit tua hasil penebangan rentan terhadap serangan jamur maupun serangga akibat kadar gula serta kelembapan yang tinggi. Sementara itu, Purwandani *et al.* (2020) menyatakan bahwa batang kelapa sawit tua masih dapat dimanfaatkan sebab batang tersebut mengandung air nira. Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan nira dari batang kelapa sawit telah banyak dilakukan, salah satunya ialah pengolahan nira sawit menjadi gula merah (Wulandika *et al.*, 2019). Namun, pembuatan gula merah dari nira sawit membutuhkan penambahan gula pasir dari tebu untuk memperoleh gula merah yang keras dan kompak (Agustira *et al.*, 2019). Oleh karena itu, penelitian mengenai pengolahan nira sawit menjadi gula cair ini dilakukan sebab pembuatannya tidak memerlukan penambahan gula tebu serta mampu memanfaatkan potensi nira yang diekstrak dari batang kelapa sawit tua.

Gula cair merupakan glukosa yang termasuk golongan monosakarida, sedangkan gula pasir/kristal termasuk disakarida yang terdiri dari ikatan fruktosa serta glukosa (Fitri, 2019). Berdasarkan Ramdhani *et al.* (2023), pembuatan gula cair dapat dilakukan menggunakan metode penguapan tradisional ataupun secara vakum. Akan tetapi, gula cair dari nira batang sawit yang dibuat dengan metode penguapan tradisional menggunakan kompor ini belum diketahui masa simpannya sehingga perlu dilakukan penelitian terkait masa simpan gula cair dari nira batang sawit. Penelitian mengenai umur simpan madu jenis trigona telah dilakukan oleh Ameliya (2022) menggunakan metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) dengan pendekatan Arrhenius pada suhu penyimpanan 40°C, 45°C dan 50°C selama 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa umur simpan madu trigona pada suhu ruang (25°C) ialah 120 hari, sedangkan pada suhu rendah (20°C) adalah 1,87 tahun. Oleh karena wujud gula cair yang serupa dengan madu, pengujian masa simpan gula cair dari nira sawit ini juga dilakukan menggunakan metode ASLT dengan pendekatan Arrhenius pada suhu penyimpanan 5°C, 25°C, dan 45°C selama satu bulan.

Metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) ialah salah satu metode yang dapat digunakan dalam pendugaan umur simpan suatu produk. Metode lain dalam

penentuan umur simpan produk pangan ialah metode konvensional yang umumnya digunakan pada produk yang memiliki masa kadaluarsa kurang dari tiga bulan, sementara gula cair dari nira batang sawit tua diperkirakan mampu bertahan lebih dari tiga bulan. Penentuan umur simpan produk dengan metode ASLT terdiri dari dua jenis pendekatan yakni pendekatan kadar air kritis serta pendekatan semiempiris dengan persamaan Arrhenius (Herawati, 2008). Metode ASLT model Arrhenius sering digunakan pada produk yang mudah rusak akibat reaksi kimia (reaksi Maillard, denaturasi protein, oksidasi lemak, dan lain-lain) (Suwita *et al.*, 2012), sedangkan metode ASLT kadar air kritis lebih cocok digunakan dalam pendugaan umur simpan produk kering dengan kriteria kadaluarsa berupa perubahan kadar air (Indah, 2011). Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) Model Arrhenius dalam pendugaan umur simpan gula cair dari nira batang sawit tua.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menduga masa simpan gula cair dari nira batang sawit tua dalam kemasan botol kaca dengan metode ASLT model Arrhenius.

1.3 Kerangka Pemikiran

Kelapa sawit ialah salah satu komoditas hasil perkebunan yang berperan penting dalam perekonomian di Indonesia sebab minyak nabati yang diperoleh dari kelapa sawit banyak diperlukan oleh berbagai sektor industri (Badan Pusat Statistik, 2021). Di sisi lain, masa produktif kelapa sawit ialah sekitar 20-25 tahun. Oleh karena itu, peremajaan perlu dilakukan apabila pohon sawit telah berusia 25 tahun. Penebangan tanaman sawit tersebut tentunya akan menghasilkan limbah, diantaranya berupa batang sawit (Raviki *et al.*, 2022). Berdasarkan Purwandani *et al.* (2020), air nira

yang diperoleh dari batang kelapa sawit dapat dimanfaatkan karena mengandung gula seperti glukosa, sukrosa, fruktosa, maupun galaktosa.

Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan nira dari batang kelapa sawit telah banyak dilakukan, seperti penelitian Wulandika *et al.* (2019), Raviki *et al.* (2022), dan Agustira *et al.* (2019) mengenai pembuatan gula merah, Elvina (2018) tentang pembuatan gula semut, Fachrial *et al.* (2018) meneliti tentang isolasi dan aktivitas anti mikroba bakteri asam laktat, serta Purwandani *et al.* (2020) yang meneliti pembuatan bioetanol dari nira batang sawit. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Raviki *et al.* (2022), proses pembuatan gula merah hingga tahap pengemasan membutuhkan waktu yang cukup lama yakni 6-7 jam, namun karakteristik dari gula merah yang diperoleh tidak selalu sama. Selain itu, Agustira *et al.* (2019) menyatakan bahwa gula merah dari nira sawit memerlukan penambahan gula pasir tebu dalam pembuatannya. Oleh karena itu, penelitian mengenai pengolahan nira sawit menjadi gula cair dilakukan demi memanfaatkan potensi dari nira batang sawit. Penelitian ini akan menggunakan nira hasil pengepresan batang kelapa sawit yang kemudian diolah menjadi gula cair melalui metode penguapan secara atmosferik menggunakan kompor.

Pengolahan nira sawit menjadi gula cair ini memerlukan penelitian lebih lanjut terhadap masa simpannya. Berdasarkan Assah dan Indriaty (2018), gula cair yang dibuat dari nira aren masih layak untuk dikonsumsi setelah disimpan dalam kemasan botol gelas, polietilena tereftalat (PET), dan *standing pouch* selama tiga bulan. Oleh karena itu, pendugaan umur simpan gula cair ini menggunakan metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) sebab masa simpan produk diperkirakan lebih dari tiga bulan. Penggunaan suhu ekstrem selama penyimpanan pada metode ini menyebabkan produk pangan lebih cepat rusak, kemudian hubungan antara suhu dengan kecepatan penurunan mutu didapatkan melalui persamaan Arrhenius (Kurniawan *et al.*, 2018 dan Haryati *et al.*, 2015). Penelitian mengenai pendugaan umur simpan minuman berperisa apel telah dilakukan oleh Swadana dan Yuwono (2014) dengan cara mengemasnya ke dalam gelas plastik PP sebanyak 240 mL, lalu

disimpan pada suhu 30°C, 35°C, dan 45°C selama empat minggu. Hasil yang diperoleh menunjukkan umur minuman berperisa apel berdasarkan parameter total asam tertitrasi pada suhu 25°C adalah 1 tahun 2 bulan.

Selain itu, penelitian oleh Arif (2016) terhadap produk sari buah nanas, sari buah nanas-pepaya, dan sari buah nanas-cempedak dilakukan mengemas produk dalam botol 100 mL dan disimpan pada suhu 15°C, 30°C, 45°C selama dua bulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa umur simpan sari buah nanas-cempedak pada suhu -5°C adalah 198 hari, sedangkan sari buah nanas-pepaya ialah 172 hari, dan sari buah nanas ialah 157 hari. Oleh karena itu, penulis melakukan penelitian terhadap umur simpan gula cair dari nira batang sawit yang dikemas pada botol kaca sebanyak 20 g dan disimpan pada suhu 5°C (suhu refrigerator), 25°C (suhu ruang), dan 45°C (suhu inkubator). Pengamatan dilakukan secara rutin setiap enam hari sekali selama satu bulan dengan parameter berupa kadar air, total padatan terlarut, pH, sifat sensori (penampakan, rasa, dan aroma), serta pertumbuhan jamur.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan salah satu tanaman monokotil yakni tanaman yang memiliki batang tidak berkambium ataupun bercabang. Batang tanaman ini berbentuk bulat memanjang dengan diameter berkisar antara 25-75 cm. Fungsi batang tersebut ialah menyangga tajuk dan juga menyimpan maupun mengangkut bahan makanan. Tinggi maksimum pohon kelapa sawit adalah 15 hingga 18 m apabila ditanam di lahan perkebunan. Pertumbuhan batang tersebut dipengaruhi oleh jenis tanaman, kesuburan lahan, serta iklim tempat hidupnya (Rumengan, 2019).

Selain itu, daun kelapa sawit ialah daun majemuk yang menyerupai daun kelapa. Pelepah daun ini memiliki panjang berkisar antara 6,5 hingga 9 m tergantung dari varietasnya. Semakin pendek pelepah sawit, maka semakin tinggi populasi tanaman sawit yang dapat ditanam pada lahan perkebunan sawit tersebut. Setiap pelepah memiliki anak daun dengan jumlah 250-400 helai. Produksi pelepah daun diperkirakan mampu mencapai 20-30 pelepah setiap tahunnya (Rumengan, 2019).

Umur tanaman sawit berpengaruh terhadap jumlah pelepah, panjang pelepah, maupun jumlah anak daun. Tanaman yang sudah tua memiliki pelepah dan anak daun dengan jumlah yang lebih banyak serta pelepahnya lebih panjang dibandingkan tanaman sawit yang masih muda. Tanaman sawit dewasa mampu menghasilkan pelepah sebanyak 40-50 buah. Selain itu, luas permukaan daun tanaman berusia sekitar 10-13

tahun mampu mencapai 10-15 m². Luas permukaan daun tersebut akan berpengaruh terhadap produktivitas tanaman sawit (Rumengan, 2019).

Klasifikasi dari tanaman kelapa sawit menurut Suwanto *et al.* (2014) adalah sebagai berikut.

Kerajaan : Plantae
Divisi : Spermatophyta
Subdivisi : Angiospermae
Kelas : Liliopsida
Ordo : Arecales
Famili : Arecaceae
Genus : *Elaeis*
Spesies : *Elaeis guineensis*

2.2 Fisiologi Batang Kelapa Sawit

Batang kelapa sawit terdiri dari parenkim lunak dengan banyak berkas pembuluh. Jumlah jaringan pembuluh pada tanaman ini lebih kecil pada bagian dalam dibandingkan bagian luar, tetapi kelembaban bagian dalam batang lebih tinggi dari bagian luar. Jumlah jaringan tersebut juga meningkat dari bagian bawah batang ke bagian atas. Sebagian besar kandungan jaringan pembuluh ialah selulosa, sedangkan parenkim mengandung gula serta pati yang disimpan dalam bentuk granula di dalam sel (Dirkes *et al.*, 2021).

Tanaman palma memerlukan energi yang diambil dari pati dan diangkut sebagai gula pada batang untuk membentuk bunga maupun buah. Oleh karena itu, kandungan pati pada batang akan menurun setelah memproduksi buah sawit. Gula yang terkandung pada batang sawit terdiri dari sukrosa, glukosa, maupun fruktosa (Dirkes *et al.*, 2021). Berdasarkan Anwar (2019), sukrosa pada tanaman aren, yang merupakan salah satu tanaman palma, didistribusikan dari daun ke bagian empulur batang. Akan tetapi,

cadangan makanan pada tanaman palma disimpan dalam bentuk pati. Kandungan gula pada batang tanaman palma menyebabkan nira dari batang tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan produk gula.

2.3 Nira Sawit

Nira sawit merupakan cairan berupa getah yang diperoleh dari pohon kelapa sawit (Rahmaini *et al.*, 2023). Nira hasil pengepresan batang kelapa sawit mengandung gula total sekitar 2-14% dengan glukosa sebesar 1-10%, disertai dengan fruktosa serta sukrosa (Dirkes *et al.*, 2021). Berdasarkan Ulum *et al.* (2020), kandungan total gula pada nira batang kelapa sawit ialah sekitar 96,7-111 g/L, sedangkan hasil penelitian Dirkes *et al.* (2021) menunjukkan total gulanya berkisar antara 16,77-140 g/L. Sebagian besar penelitian menyebutkan bahwa kandungan gula utama pada nira sawit adalah glukosa dengan kadar bervariasi antara 16,01 g/L hingga 98 g/L. Selain itu, kandungan lain dari nira ini berupa asam amino, mineral, maupun vitamin (Dirkes *et al.*, 2021).

Berdasarkan Agustira *et al.* (2019), nira sawit memiliki kandungan karbohidrat serta unsur-unsur lain, seperti air, kadar abu, lemak, protein, dan juga bahan tidak larut air. Karbohidrat yang terkandung di dalamnya membuat nira sawit dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan gula merah, gula kristal, maupun gula cair. Menurut Rahmaini *et al.* (2023), nira sawit dapat menjadi bahan alternatif pengganti nira tebu maupun nira aren dalam pembuatan gula merah. Wulandika *et al.* (2019) pada penelitiannya menyatakan bahwa pembuatan gula merah sawit menggunakan metode vakum menghasilkan 120.55 gram gula merah dari 1 L nira batang sawit. Kualitas gula merah berupa tekstur, warna, aroma, maupun rasa dipengaruhi oleh variasi tekanan yang digunakan dan tekanan 700 mmHg merupakan variasi tekanan yang paling baik. Namun, Agustira *et al.* (2019) menyatakan bahwa penambahan gula pasir diperlukan dalam pembuatan gula merah dengan perbandingan 1:2 hingga 1:4

yang berarti setiap 2 sampai 4 L nira sawit memerlukan 1 kg gula pasir. Hal ini bertujuan menghasilkan gula merah yang padat dan tidak rapuh.

Sementara itu, gula kristal atau gula semut merupakan gula merah dalam bentuk serbuk berwarna kuning kecoklatan dengan aroma khas yang umumnya dibuat dari nira aren. Gula semut memiliki keunggulan dibandingkan gula merah cetak yakni lebih tahan lama, mudah larut, bentuk yang menarik, serta harga jual yang lebih tinggi. Gula semut alami diperkirakan mampu bertahan hingga satu tahun tanpa penambahan bahan pengawet. Pembuatan gula semut melewati proses granulasi yaitu pengadukan nira kental secara kontinu hingga terbentuk butiran gula semut (Musita, 2019).

Berdasarkan Wulandika *et al.* (2019), nira yang baik memiliki pH antara 5,0-7,0. Harahap (2019) pada penelitiannya menyebutkan bahwa nira sawit yang disadap dari batang kelapa sawit yang tidak produktif dengan waktu 8, 16, dan 24 jam memiliki kadar air sebesar 82-85%, kadar abu sekitar 0,3%, pH 4-5, total asam tertitrasi sekitar 13-33%, serta total padatan terlarut sekitar 16-18°Brix. Nira segar pada umumnya memiliki umur simpan yang pendek. Sinaga (2020) menyatakan bahwa nira aren yang disimpan di lingkungan terbuka setelah 4 jam mudah mengalami fermentasi dan penurunan mutunya ditandai dengan perubahan warna, rasa, maupun aroma. Berdasarkan Ansar *et al.* (2019), umur simpan nira aren hanya sekitar 1 hingga 2 hari. Oleh karena itu, proses pengolahan nira perlu segera dilakukan untuk mencegah terjadinya proses fermentasi.

Mikroba yang umumnya tumbuh pada air nira yaitu *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus lactis*, *Lactobacillus casei*, *Leuconostoc mesenteroides*, dan bakteri asam asetat (Litana *et al.*, 2018). Menurut Ngoc *et al.* (2014), kerusakan pada air nira ditandai dengan rasanya yang menjadi asam dan pahit sebab nira tersebut mengandung alkohol yang dihasilkan selama proses fermentasi pada air nira. Selain itu, nira akan berbuih putih serta berlendir. Peningkatan umur simpan air nira dapat dilakukan dengan cara menambahkan pengawet alami,

contohnya kulit manggis, ataupun pengawet buatan, contohnya natrium metabisulfid, asam askorbat, serta air kapur (Litana *et al.*, 2018).

Pengambilan nira sawit dapat dilakukan dengan dua metode penyadapan. Teknik pertama yaitu penyadapan melalui tangkai bunga yang belum mekar pada pohon sawit yang masih hidup. Teknik lainnya adalah penyadapan pada titik tumbuh (meristem batang) pohon sawit yang sudah tumbang. Akan tetapi, produktivitas penyadapan nira dari pohon sawit yang masih hidup lebih rendah daripada pohon sawit yang tumbang. Rata-rata jumlah nira sawit hasil penyadapan tangkai bunga ialah 46 mL/tangkai dalam sehari selama 32,5 hari. Sementara itu, sistem tumbang menghasilkan 1,7 L nira dari satu batang setiap harinya dengan rata-rata rendemen gula yakni 13% (Agustira *et al.*, 2019). Selain melalui penyadapan, nira sawit juga dapat diperoleh dengan metode pengepresan batang kelapa sawit, seperti yang dilakukan pada penelitian ini. Dirkes *et al.* (2021) menyatakan bahwa nira hasil pengepresan daerah inti batang mengandung lebih banyak gula dibandingkan daerah bagian luar batang.

2.4 Gula Cair

Sirup glukosa diartikan sebagai cairan yang mengandung glukosa, maltosa, maupun sakarida lainnya yang umumnya diperoleh dari hidrolisis pati (Simpson *et al.*, 2022). Sirup glukosa atau gula cair ialah jenis gula yang digunakan secara luas dalam industri pangan, seperti pada pembuatan minuman maupun selai. Keunggulan penggunaan gula cair dibandingkan gula pasir dalam industri pangan ialah lebih praktis sebab bentuknya cair sehingga tidak memerlukan biaya pengenceran gula. Gula cair yang diproduksi secara komersial berasal dari tapioka, namun juga dapat berasal dari tanaman jagung, bengkuang, talas, sagu, ataupun sumber pati lainnya. Proses pembuatan gula cair terdiri dari dua metode hidrolisis pati yakni secara enzimatis maupun non-enzimatis. Akan tetapi, hidrolisis secara enzimatis lebih

banyak dilakukan. Proses ini terdiri dari pencairan, sakarifikasi, pemutihan, filtrasi, serta penguapan (Harni *et al.*, 2020).

Selain gula cair yang berasal dari hasil hidrolisis pati, terdapat *maple syrup* yang diperoleh dari pemekatan nira pohon maple (*Acer saccharum*). Total padatan terlarut pada *maple syrup* ini berkisar antara 61,6 hingga 70,2°Brix. Sekitar 40 L nira pohon maple dengan kadar gula 2-3% dibutuhkan untuk membuat 1 L *maple syrup* (66% kadar gula) (Nimalaratne *et al.*, 2020). Sementara itu, nira/getah dari batang kelapa sawit tua, yang merupakan salah satu jenis tanaman palma, berpotensi menjadi bahan baku pembuatan gula cair. Adapun standar mutu gula cair dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar mutu sirup glukosa diatur berdasarkan SNI 2978-2021

No.	Kriteria Uji	Satuan	Persyaratan
1	Keadaan:		
1.1	Warna	-	normal
1.2	Bau	-	normal
1.3	Rasa	-	normal
1.4	Bentuk		cairan kental
2	Padatan total	fraksi massa, %	min. 70
3	<i>Dextroseequivalent</i> (DE), adbk	fraksi massa, %	min. 20
4	Abu sulfat, adbk	fraksi massa, %	maks. 1.0
5	Cemaran logam berat		
5.1	Timbal (Pb)	mg/kg	maks. 0.25
5.2	Kadmium (Cd)	mg/kg	maks. 0.20
5.3	Timah (Sn)	mg/kg	maks. 40
5.4	Merkuri (Hg)	mg/kg	maks. 0.03
5.5	Arsen (As)	mg/kg	maks. 1.0

Sumber: Badan Standardisasi Nasional (2021)

Nira sawit berpotensi untuk diolah menjadi gula cair sebab memiliki kandungan gula total sekitar 2-14% dengan 1-10% glukosa. Pemanfaatan nira sawit menjadi bahan baku pembuatan gula cair ini memiliki manfaat ekonomis sebab batang kelapa sawit tua merupakan limbah dari peremajaan pohon kelapa sawit (Dirkes *et al.*, 2021).

Pembuatan gula cair dengan total padatan terlarut sebesar 65°Brix dapat dilakukan dengan penyaringan dan penguapan nira. Penguapan diperlukan karena nira memiliki kadar air yang cukup tinggi. Harahap (2019) melaporkan bahwa nira sawit memiliki

kadar air sekitar 82-85%. Perlakuan panas akan menurunkan kadar air nira sehingga total padatan terlarutnya meningkat (Sakinah, 2016).

2.5 Penguapan (Evaporasi)

Penguapan maupun evaporasi diartikan sebagai suatu proses perubahan fluida dari bentuk cair menjadi uap. Metode ini dapat digunakan untuk memisahkan pelarut dari larutan yang lebih pekat. Proses dasar yang terjadi selama penguapan berlangsung ialah perpindahan panas serta perpindahan massa. Larutan yang akan diuapkan perlu diberikan panas sebagai penyedia tenaga yang dibutuhkan selama penguapan. Energi panas juga dapat diaplikasikan secara tidak langsung dengan cara menghantarkan panas melalui suatu media (Ismiyati dan Sari, 2020).

Penguapan yang optimal dipengaruhi oleh kecukupan pindah panas, efisiensi pemisahan uap dan cairan, efisiensi penggunaan energi, serta ketepatan perlakuan pada produk. Apabila suhu suatu bahan telah sama bahkan lebih tinggi dari titik didih cairan tersebut, maka proses evaporasi akan terjadi. Evaporasi pada tekanan atmosfer merupakan proses evaporasi paling sederhana. Cairan pada proses ini ditempatkan pada wadah terbuka dan dipanaskan, lalu uap air yang dihasilkan dibiarkan menguap ke udara (Ismiyati dan Sari, 2020) sehingga kadar air bahan akan menurun. Metode inilah yang akan digunakan dalam pembuatan gula cair dari nira sawit pada penelitian ini.

Sementara itu, terdapat metode lain yang dapat digunakan dalam pembuatan gula cair, seperti metode vakum. Berdasarkan Diniyah *et al.* (2012), metode ini dinilai mampu mempersingkat proses pembuatan gula cair dari nira siwalan yang umumnya menggunakan metode tradisional (evaporasi atmosferik). Titik didih pelarut pada metode ini dapat diturunkan sebab evaporator vakum menggunakan tekanan di bawah tekanan atmosfer (vakum). Faktor yang mempengaruhi proses evaporasi ini ialah

tekanan vakum yang diukur menggunakan alat *pressure-gauge* serta laju evaporasi yang dapat diketahui dari penurunan kadar air bahan (Syakdani *et al.*, 2019).

2.6 Kadar Air

Kadar air yang terkandung pada bahan pangan berhubungan dengan kualitas dan masa simpan bahan tersebut. Penentuan kadar air diperlukan agar bahan pangan memperoleh penanganan yang tepat selama proses pengolahan maupun pendistribusian. Apabila penanganan ini tidak tepat, maka berpotensi terjadinya kerusakan pada produk pangan yang dihasilkan. Komponen air pada suatu bahan dapat dijadikan sebagai alat ukur kestabilan selama proses penyimpanan (Prasetyo *et al.*, 2019). Selain itu, kandungan air ini juga berpengaruh pada total padatan terlarut. Semakin tinggi kadar air suatu bahan, maka padatan terlarutnya semakin rendah (Sakinah, 2016). Oleh karena itu, pengukuran kadar air maupun total padatan terlarut pada gula cair ini diperlukan untuk mengetahui kestabilannya selama penyimpanan.

Pengukuran kadar air dapat dilakukan dengan bantuan alat ukur maupun melalui metode oven. Pengukuran kadar air dengan metode oven yang disebut juga sebagai pengeringan memiliki prinsip bahwa akan terjadi penguapan air dari suatu bahan jika bahan tersebut dipanaskan selama waktu tertentu pada suhu 105°C. Selanjutnya, perbedaan antara berat awal dan berat akhir bahan tersebut dinilai sebagai kadar airnya. Nilai kadar air dapat dinyatakan secara volumetrik maupun gravimetrik (massa) dalam basis basah ataupun basis kering (Prasetyo *et al.*, 2019).

2.7 Penentuan Umur Simpan Produk

Umur simpan didefinisikan sebagai jangka waktu dari proses produksi hingga tahap konsumsi dengan kualitas produk berupa penampakan, aroma, tekstur, rasa, maupun kandungan gizi yang masih terjaga. Umur simpan produk dapat ditentukan melalui

metode konvensional maupun metode akselerasi (ASLT). Penentuan umur simpan dengan metode konvensional dilakukan dengan penyimpanan produk dalam kondisi normal dan diamati hingga mengalami kadaluarsa. Metode ini biasanya digunakan pada produk dengan masa kadaluarsa kurang dari tiga bulan (Herawati, 2008).

Sementara itu, metode ASLT dilakukan dengan mengondisikan lingkungan penyimpanan sehingga penurunan mutu produk lebih cepat terjadi. Metode akselerasi terbagi menjadi dua yakni metode kadar air kritis serta metode Arrhenius. Kriteria kadaluarsa pada metode kadar air kritis ialah peningkatan kadar air maupun aktivitas air. Sedangkan, model Arrhenius menggunakan titik kritis berdasarkan reaksi kimia yaitu berupa parameter yang sangat sensitif terhadap penurunan mutu produk. Beberapa contoh reaksi kimia tersebut yaitu reaksi Maillard, denaturasi protein, maupun oksidasi lemak. Produk pangan yang dapat ditentukan dengan model Arrhenius adalah produk dengan kandungan lemak tinggi ataupun mengandung gula reduksi serta protein (Herawati, 2008). Oleh karena produk gula cair diperkirakan mampu bertahan hingga lebih dari tiga bulan, maka pendugaan umur simpan dilakukan menggunakan metode akselerasi. Produk ini berpotensi mengalami reaksi pencoklatan akibat gula reduksi serta asam amino yang terkandung pada nira sawit sehingga metode ASLT yang digunakan ialah model Arrhenius.

2.8 Metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) Model Arrhenius

Pendugaan umur simpan suatu produk dapat dilakukan melalui penerapan metode Arrhenius yakni dengan cara mengukur laju penurunan mutu. Umumnya, metode Arrhenius diterapkan pada produk pangan yang sensitif terhadap perubahan suhu. Prinsip dari metode ini ialah penggunaan suhu ekstrem selama penyimpanan produk sehingga produk pangan tersebut akan lebih cepat rusak (Kurniawan *et al.*, 2018). Hal ini sejalan dengan pernyataan Hasany *et al.* (2017) bahwa metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) model Arrhenius ini menggunakan suhu ekstrem sehingga mampu mempercepat reaksi yang berdampak pada kerusakan produk.

Selanjutnya, penentuan umur simpan produk dilakukan dengan cara ekstrapolasi atau perluasan data. Oleh sebab itu, umur simpan yang didapatkan ialah nilai perkiraan yang ditentukan dengan model matematika (Kurniawan *et al.*, 2018). Berdasarkan Haryati *et al.* (2015), pendugaan umur simpan gula cair dari nira batang sawit tua dapat dihitung berdasarkan orde reaksinya menggunakan persamaan kinetika reaksi. Penentuan orde reaksi ialah dengan membandingkan nilai koefisien determinasi (R^2) yang lebih tinggi antara orde 0 dan ordo 1. Persamaan kinetika reaksi berdasarkan orde 0 dan orde 1 disajikan sebagai berikut.

Persamaan orde 0:

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

Persamaan orde 1:

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

Keterangan:

t = umur simpan produk (hari)

A₀ = nilai atribut mutu awal (hari ke-0)

A_t = nilai atribut mutu akhir (hari ke-t)

k = konstanta penurunan mutu yang diperoleh dari persamaan $k = k_0 \cdot e^{-E/RT}$, dengan $\ln k_0$ ialah intersep, E/R ialah slope, E = energi aktivasi, serta R = konstanta gas ideal (1,986 kal/mol °K).

Beberapa penelitian yang menggunakan metode ASLT model Arrhenius dalam pendugaan umur simpan produk cair dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Contoh penelitian tentang pendugaan umur simpan produk

Sampel	Metode	Hasil	Penulis
Minuman berperisa apel	Penyimpanan minuman dilakukan pada suhu 30°C, 35°C, dan 45°C. Pengujian organoleptik dilakukan terhadap warna, penampakan, aroma apel, aroma asam, dan rasa, sedangkan analisis kimia berupa pH, warna, total asam tertitrasi, kadar vitamin C, serta total padatan terlarut yang dilakukan setiap 7 hari sekali.	Umur simpan minuman berperisa apel pada suhu 25°C adalah 1 tahun 2 bulan, sedangkan pada 27°C yaitu 1 tahun 1 bulan, dan 30°C yaitu 1 tahun 18 hari.	Swadana dan Yuwono (2014)
Madu trigona	Madu trigona disimpan pada suhu penyimpanan 40°C, 45°C dan 50°C selama 28 hari. Parameter sifat fisik serta kimia (warna, kadar air, keasaman, pH, dan gula pereduksi) diuji pada hari ke-0, ke-7, ke-14, ke-21, dan juga ke-28.	Umur simpan madu trigona pada suhu ruang (25°C) ialah 120 hari, sedangkan pada suhu rendah (20°C) adalah 1,87 tahun.	Ameliya (2016)
Sari buah nanas, sari buah nanas-pepaya, dan sari buah nanas-cempedak	Sari buah disimpan dalam botol 100 mL pada suhu 15°C, 30°C, 45°C dan diamati setiap 2 hari sekali selama 2 bulan. Faktor yang diamati berupa kandungan mikroba, vitamin C, dan sensori.	Umur simpan sari buah nanas-cempedak pada suhu penyimpanan 30°C hingga -5°C lebih lama daripada dua jenis sari buah lainnya. Umur simpan sari buah tersebut pada suhu -5°C adalah 198 hari, sedangkan sari buah nanas-pepaya yaitu 172 hari, dan sari buah nanas yaitu 157 hari.	Arif (2016)

Lanjutan Tabel 2.

Sampel	Metode	Hasil	Penulis
Sirup buah semu jambu mete	Sirup dikemas dalam botol bervolume 150 mL dan disimpan pada suhu 5°C, 27°C, dan 50°C. Analisis terhadap warna, pH, dan total koloni dilakukan setiap 7 hari sekali.	Umur simpan sirup berdasarkan parameter perubahan jumlah koloni mikroba ialah 48 hari pada suhu 30°C.	Afriyanti dan Asmoro (2017)
Cuka kakao	Cuka kakao dikemas dalam botol kaca sebanyak 100 mL dan disimpan pada suhu 30°C, 40°C, dan 50°C selama 16 minggu. Variabel pengamatan terdiri dari kadar asam asetat, pH, total padatan terlarut, dan kekeruhan.	Umur simpan cuka kakao berdasarkan karakteristik kadar asam asetat pada suhu 10°C, 20°C, 30°C, 40°C, dan 50°C berturut-turut adalah 431 hari, 246 hari, 146 hari, 89 hari, dan 56 hari.	Sukmayanti <i>et al.</i> (2018)

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari – April 2024 di Laboratorium Pengolahan Hasil Pertanian, Laboratorium Analisis Kimia dan Biokimia Hasil Pertanian, dan Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah batang pohon kelapa sawit tua berusia 27 tahun yang diperoleh dari perkebunan rakyat di daerah Karang Anyar, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung, aquades, dan tisu.

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah gergaji mesin (*chain saw*), mesin *planer thicknesser*, mesin press, kain saring, wadah, timbangan analitik, jeriken, kompor, panci, termometer, spatula, gelas ukur, gelas beaker, pipet tetes, botol semprot, pH meter, refraktometer, botol kaca ukuran 50 mL, refrigerator/kulkas, inkubator, loyang, cawan porselen, penjepit, oven, dan desikator.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Accelerated Shelf-Life Test* (ASLT) model Arrhenius untuk menduga umur simpan gula cair dari nira batang sawit tua. Pengujian dilakukan dengan cara menyimpan produk pada tiga jenis suhu penyimpanan yaitu 5°C (refrigerator), 25°C (suhu ruang), dan 45°C (inkubator) selama satu bulan (30 hari). Pengamatan dilakukan setiap enam hari sekali dengan pengulangan sebanyak tiga kali sehingga jumlah sampel adalah 45 botol. Beberapa parameter yang diamati berupa kadar air (AOAC, 2016), pH, total padatan terlarut, mutu sensori (penampakan, rasa, aroma), serta pertumbuhan jamur. Data yang diperoleh kemudian dianalisis dengan metode regresi linear sederhana dalam program *Microsoft Excel*.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

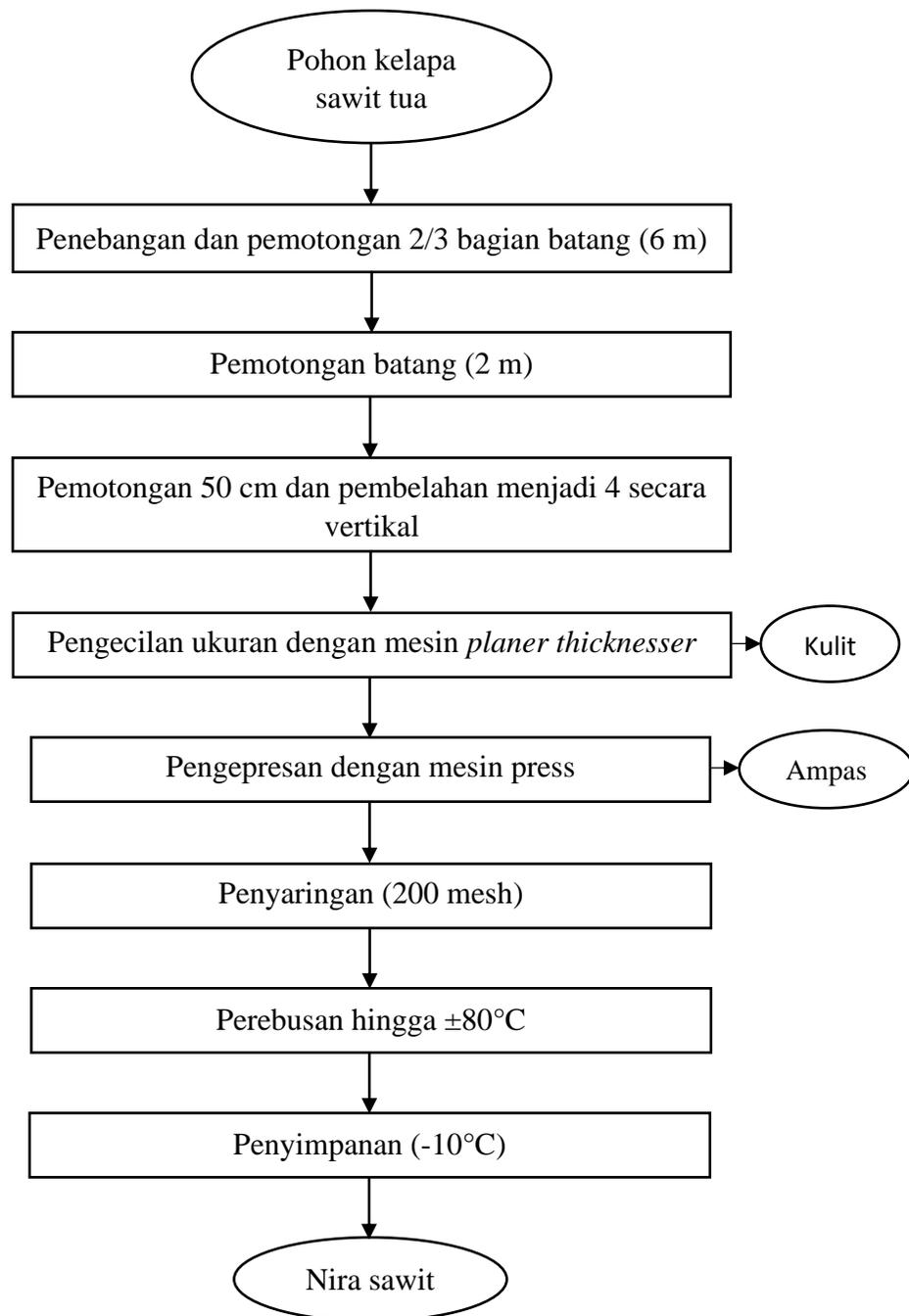
Penelitian diawali dengan penebangan pohon kelapa sawit, lalu dilanjutkan dengan proses ekstraksi nira, pembuatan gula cair, pengemasan, penyimpanan, dan pendugaan umur simpan gula cair.

3.4.1 Penebangan Pohon Kelapa Sawit Tua

Penebangan dilakukan pada pohon kelapa sawit berumur 27 tahun yang sudah tidak produktif. Batang pohon dengan panjang sekitar 9 meter dipotong 2/3 bagian sehingga diperoleh batang sawit sepanjang 6 meter. Selanjutnya, batang tersebut dipotong menjadi 2 meter, lalu diangkat dan disimpan selama satu minggu.

3.4.2 Ekstraksi Nira dari Batang Sawit Tua

Batang kelapa sawit berukuran 2 meter dipotong menjadi 50 cm dan dibelah menjadi empat secara vertikal. Selanjutnya, bagian empulur batang tersebut diperkecil ukurannya menggunakan mesin *planer thicknesser*. Proses ini akan menghasilkan empulur dalam bentuk serabut serta memisahkannya dengan bagian kulit. Setelah itu, pengepresan empulur dilakukan dengan mesin press sehingga diperoleh nira yang terpisah dengan ampasnya. Nira batang sawit yang keluar dari mesin langsung disaring menggunakan kain saring 200 mesh dan ditampung pada wadah. Setelah dilakukan penyaringan, nira direbus hingga suhu $\pm 80^{\circ}\text{C}$ agar mikroba yang mencemari nira tersebut mati. Selanjutnya, nira didinginkan di suhu ruang, lalu disimpan di kulkas (-10°C). Tahapan pengambilan nira dari batang sawit tua dapat dilihat pada Gambar 1.



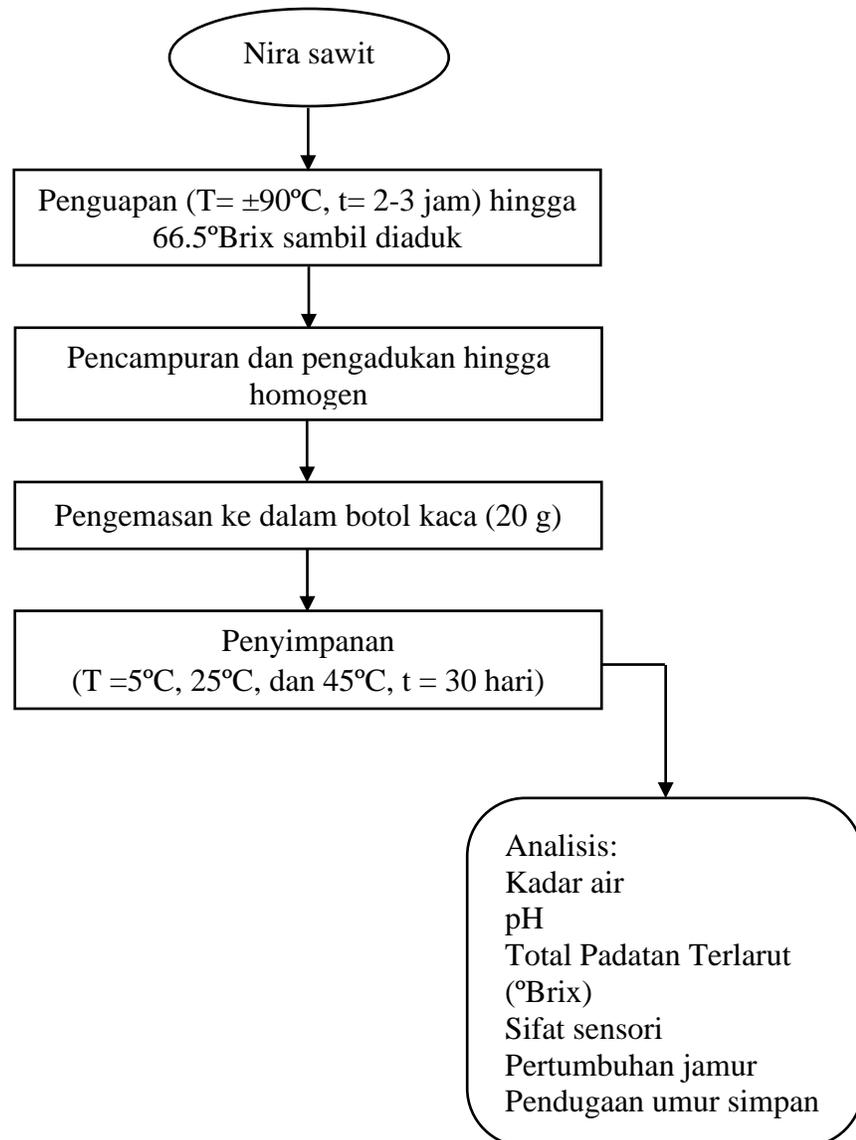
Gambar 1. Diagram alir pengambilan nira dari batang sawit tua

3.4.3 Pembuatan Gula Cair dari Nira Batang Sawit Tua

Proses pengolahan nira sawit menjadi gula cair dilakukan dengan cara memanaskan 1.4-2 L nira hasil pengepresan batang kelapa sawit tua selama 2-3 jam. Proses pemasakan ini dilakukan sebanyak 4 kali dengan total nira yang dimasak yaitu 6.75 L. Pemanasan nira dilakukan dengan metode penguapan (evaporasi) menggunakan panci secara terbuka di atas kompor. Suhu pemanasan pada nira ialah $\pm 90^{\circ}\text{C}$ dan diukur menggunakan termometer. Selama proses ini, pegadukan konstan dilakukan sehingga nira memperoleh panas yang merata. Proses pemanasan dihentikan ketika gula cair telah mencapai tingkat kepekatan $65\text{-}70^{\circ}\text{Brix}$. Setelah itu, gula cair dari pemasakan 1-4 dicampurkan dan diaduk hingga homogen, kemudian dikemas ke dalam botol kaca sebanyak 20 g/botol.

3.4.4 Pengemasan dan Penyimpanan Gula Cair

Pengemasan gula cair dilakukan dengan mensterilisasikan botol kaca terlebih dahulu dengan merebusnya selama 30 menit. Gula cair sebanyak 20 g dituang ke dalam botol kaca berukuran 50 mL, lalu ditutup rapat. Selanjutnya, botol-botol berisi gula cair tersebut disimpan pada suhu 5°C (suhu refrigerator), 25°C (suhu ruang), dan 45°C (suhu inkubator). Gula cair disimpan selama 30 hari dan dilakukan pengamatan setiap enam hari sekali terhadap kadar air, pH, total padatan terlarut, penampakan, rasa, aroma, serta pertumbuhan jamur. Tahapan pengolahan nira batang sawit tua menjadi gula cair dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir pengolahan nira batang sawit tua dan penentuan masa simpan

3.4.5 Penentuan Karakteristik Mutu Awal dan Mutu Akhir Gula Cair dari Nira Sawit

Gula cair dari nira sawit diuji sebelum dilakukan penelitian agar karakteristik awalnya diketahui. Karakteristik yang diamati adalah kadar air, pH, total padatan terlarut, mutu sensori (penampakan, rasa, aroma), serta pertumbuhan jamur. Analisis

ini dilakukan demi mengetahui mutu awal (A_0) dan mutu akhir (A_t) gula cair sehingga pendugaan umur simpan dapat dilakukan melalui identifikasi terhadap kerusakan-kerusakan yang terjadi selama penyimpanan (Sukmayanti *et al.*, 2018).

3.5 Pengamatan

Pengamatan yang dilakukan terhadap gula cair nira sawit meliputi kadar air, pH (derajat keasaman), total padatan terlarut (derajat Brix), mutu sensori (penampakan, rasa, aroma), serta pertumbuhan jamur.

3.5.1 Kadar Air

Analisis kadar air dalam penelitian ini dilakukan setiap enam hari sekali selama satu bulan menggunakan metode gravimetri (AOAC, 2016). Tahapan analisis diawali dengan pengeringan cawan porselen menggunakan oven bersuhu 105-110°C selama 30 menit. Setelah itu, cawan didinginkan di dalam desikator selama 15 menit, lalu ditimbang bobotnya. Pengeringan diulangi hingga diperoleh bobot cawan porselen yang konstan (A). Selanjutnya, 2 gr sampel dimasukkan ke dalam cawan tersebut dan ditimbang kembali (B). Cawan yang berisi sampel dimasukkan ke oven dan dikeringkan selama 24 jam pada suhu sekitar 105-110°C. Selanjutnya, cawan berisi sampel kering didinginkan dalam desikator dan ditimbang agar diketahui berat cawan dan sampel akhir. Pengeringan diulangi hingga diperoleh berat yang konstan (C). Kadar air gula cair dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{(B - C)}{(B - A)} \times 100\%$$

Keterangan:

A : berat cawan kosong (g)

B : berat cawan + sampel awal (g)

C : berat cawan + sampel akhir (g)

3.5.2 pH (Derajat Keasaman)

Pengukuran pH dilakukan setiap enam hari sekali selama satu bulan dengan menggunakan pH meter berdasarkan prosedur AOAC (2016). Sebelum dilakukan pengukuran, pH meter distandarisasi menggunakan larutan buffer standar pH 4 serta pH 7. Proses pengukuran dilakukan dengan cara membilas elektroda dengan akuades terlebih dahulu, lalu dikeringkan menggunakan tisu. Selanjutnya, elektroda dicelupkan ke dalam botol sampel hingga tenggelam pada larutan sampel. Proses ini dibiarkan selama sekitar satu menit hingga diperoleh angka yang stabil, lalu dicatat hasil pengukuran yang terbaca oleh pH meter tersebut. Data yang digunakan dalam perhitungan pengaruh suhu penyimpanan terhadap pH diolah dengan nilai rata-rata pH. Hal ini bertujuan mengetahui perubahan tingkat keasaman gula cair selama penyimpanan (Suwita *et al.*, 2012).

3.5.3 Total Padatan Terlarut (Derajat Brix)

Pengukuran total padatan terlarut pada gula cair dilakukan setiap enam hari sekali selama satu bulan dengan menggunakan refraktometer. Sebelum pengukuran ini dilakukan, bagian prisma refraktometer dibersihkan terlebih dahulu menggunakan tisu. Selanjutnya, sampel diteteskan pada bagian prisma sebanyak 2 (dua) tetes, lalu knop prisma ditutup. Kemudian, knop pada bagian kanan refraktometer diputar sampai kroma mengikat garis batas X sambil dilihat melalui lensa refraktometer. Terakhir, layar berwarna hijau pada refraktometer diamati untuk membaca hasil pengukuran (Muenmanee *et al.*, 2016). Data yang digunakan dalam perhitungan pengaruh suhu penyimpanan terhadap total padatan terlarut diolah dengan nilai rata-

rata total padatan terlarut. Hal ini bertujuan mengetahui perubahan nilai total padatan terlarut dalam gula cair selama penyimpanan (Suwita *et al.*, 2012).

3.5.4 Mutu Sensori

Analisis mutu sensori gula cair dilakukan secara rutin setiap enam hari sekali selama satu bulan. Sifat organoleptik berupa penampakan, rasa, dan aroma disajikan secara deskriptif untuk mengetahui perubahan mutu sensori pada gula cair (Suwita *et al.*, 2012). Data hasil pengamatan selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel yang menggambarkan penurunan mutu gula cair pada berbagai suhu penyimpanan selama satu bulan.

3.5.5 Pertumbuhan Jamur

Pengamatan terhadap pertumbuhan jamur dilakukan setiap enam hari sekali selama satu bulan secara makroskopis. Berdasarkan Fadhillah *et al.* (2020), keberadaan jamur ditandai dengan adanya hifa di atas permukaan sampel. Aspek pengamatan berupa bentuk dan warna koloni jamur yang tumbuh pada permukaan gula cair.

3.6 Pendugaan Umur Simpan Gula Cair dari Nira Sawit

Pendugaan umur simpan gula cair dari nira sawit dilakukan dengan metode *Accelerated Shelf-Life Testing* (ASLT) melalui pendekatan semi empiris menggunakan persamaan Arrhenius. Menurut Asiah *et al.* (2018), tahapan pendugaan umur simpan ini adalah sebagai berikut.

1. Penyusunan data perubahan mutu produk terhadap waktu penyimpanan.
2. Pembuatan grafik perubahan mutu terhadap waktu.

3. Pembuatan persamaan regresi linear berupa $y = a + bx$, dengan y ialah perubahan mutu produk, x ialah lama waktu penyimpanan, a ialah nilai mutu awal produk, sementara b diperoleh dari slope atau k yakni laju perubahan mutu produk.
4. Penentuan ordo reaksi dengan pembuatan grafik.

- a. Grafik ordo nol dibuat dengan plot nilai k terhadap waktu penyimpanan.

Grafik penurunan mutu pada ordo nol ialah konstan sehingga digambarkan dengan persamaan:

$$A_t - A_0 = -kt \quad \text{atau} \quad k = \frac{A_t - A_0}{-t}$$

Keterangan:

A_t = nilai mutu pada waktu t

A_0 = nilai mutu awal A

k = laju perubahan mutu

t = waktu penyimpanan

- b. Grafik ordo satu dibuat dengan plot nilai $\ln k$ terhadap waktu penyimpanan.

Hubungan penurunan mutu pada ordo satu digambarkan dengan persamaan:

$$\ln A_t - \ln A_0 = -kt \quad \text{atau} \quad k = \frac{\ln A_t - \ln A_0}{-t}$$

5. Pemilihan ordo reaksi yang paling berpengaruh dengan melihat nilai R^2 yang lebih besar.
6. Pembuatan grafik hubungan laju penurunan mutu produk terhadap suhu penyimpanan dengan pendekatan Arrhenius, diawali dengan pembuatan grafik yang menghubungkan nilai $\ln k$ dan $1/T$.
7. Pembuatan persamaan regresi linear dengan pendekatan persamaan $\ln k = \ln k_0 - (E/R)(1/T)$, dengan $\ln k_0$ ialah intersep, E/R ialah slope, E = energi aktivasi, serta R = konstanta gas ideal (1,986 kal/mol °K).
8. Nilai konstanta k_0 dan $E = E_a$ diperoleh dari grafik pada tahap 7.
9. Perhitungan konstanta Arrhenius menggunakan persamaan $k = k_0 \cdot e^{-E/RT}$
10. Perhitungan parameter yang paling berpengaruh terhadap penurunan mutu produk (kunci).
11. Perhitungan pendugaan masa simpan produk dengan persamaan:

$$t_s = \ln(A_o - A_t)/k \quad (\text{untuk laju reaksi ordo satu})$$

$$t_s = (A_o - A_t)/k \quad (\text{untuk laju reaksi ordo nol})$$

Keterangan:

t_s = waktu penyimpanan

A_t = nilai parameter mutu setelah waktu penyimpanan t (batas kritis)

k = nilai k pada suhu penyimpanan T

12. Pendugaan nilai masa simpan pada suhu penyimpanan tertentu menggunakan persamaan laju reaksi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah umur simpan gula cair dari nira batang sawit tua yang dikemas dalam botol kaca berdasarkan parameter pH pada suhu dingin (5°C) yaitu 35 tahun 5 bulan 17 hari, sedangkan pada suhu ruang (25°C) selama 3 tahun 5 bulan 13 hari. Berdasarkan hal tersebut, maka produk ini lebih baik disimpan pada suhu dingin. Sementara itu, gula cair berdasarkan parameter TPT hanya mampu bertahan hingga 7 bulan 2 hari pada suhu dingin dan 5 bulan 22 hari pada suhu ruang. Penemuan koloni jamur pada permukaan gula cair dengan penyimpanan suhu ruang mulai hari ke-18 menyebabkan umur simpannya mengalami penurunan sehingga umur simpan paling singkat yang diperoleh dari parameter TPT dianggap lebih aman bagi produk ini untuk dikonsumsi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, saran yang dapat diberikan adalah:

1. Perlu dilakukan identifikasi secara mikroskopis terhadap mikroorganisme (bakteri, kapang, dan khamir) yang mampu menurunkan umur simpan gula cair dari nira batang sawit tua.
2. Perlu dilakukan uji komposisi pada nira batang sawit tua sehingga kerusakan sistem emulsi pada gula cair dapat dicegah.
3. Perlu dilakukan proses pengemasan yang lebih aseptis dengan *headspace* kemasan yang lebih sedikit.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriyanti dan Asmoro, N. W. 2017. Pendugaan umur simpan sirup buah semu jambu mete (*Anacardium occidentale* L) dengan metode *accelerated shelf life testing* (ASLT). *Agrisaintifika: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*. 1(2): 75-81.
- Agustira, M.A., Siahaan, D., dan Hasibuan, H.A. 2019. Nilai ekonomi nira sawit sebagai potensi pembiayaan peremajaan kebun kelapa sawit rakyat. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*. 27(2): 115-126.
- Ameliya, R. 2022. Analisis Fisikokimia Madu Trigona dan Cerana serta Pendugaan Umur Simpan Madu Trigona dengan Metode *Accelerated Shelf Life Test* (ASLT) Pendekatan Arrhenius. (Thesis). Universitas Brawijaya. Malang. 98 hlm.
- Anagari, H., Mustaniroh, S. A., dan Wignyanto. 2011. Penentuan umur simpan minuman fungsional sari akar alang-alang dengan metode *accelerated shelf life testing* (ASLT) (studi kasus di UKM “R.Rovit” Batu – Malang). *AGROINTEK*. 5(2): 118-125.
- Ansar, Sukmawaty, Muttalib, A. A., dan Wartono, N. 2019. Pengaruh sinar UV terhadap pH dan total padatan terlarut nira aren (*Arenga pinnata* Merr) selama penyimpanan. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. 8(4): 265-272.
- Anwar, D. 2019. Perbandingan hidrolisis gula aren dan gula pasir dengan katalis matriks polistirena terikat silang (crosslink). *Jurnal Ilmiah Kohesi*. 3(3): 15-20.
- AOAC. 2016. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. AOAC International. Washington DC. 26 hlm.
- Arif, A. B. 2016. Metode *accelerated shelf life testing* (ASLT) dengan pendekatan Arrhenius dalam pendugaan umur simpan sari buah nanas, pepaya, dan cempedak. *Informatika Pertanian*. 25(2): 189-198.

- Asiah, N., Cempaka, L., dan David, W. 2018. Panduan Praktis Pendugaan Umur Simpan Produk Pangan. Penerbitan Universitas Bakrie. Jakarta. 123 hlm.
- Asiah, N., Cempaka, L., Ramadhan, K., dan Matatula, S. 2020. *Prinsip Dasar Penyimpanan Pangan pada Suhu Rendah*. Nas Media Pustaka. Jakarta. 100 hlm.
- Assah, Y. F. dan Indriaty, F. 2018. Pengaruh lama penyimpanan terhadap mutu gula cair dari nira aren. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*. 10(1): 1-9.
- Badan Pusat Statistik. 2021. *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2021*. Badan Pusat Statistik (BPS). Jakarta. 157 hlm.
- Badan Standardisasi Nasional. 2021. *SNI 2978-2021. Sirup Glukosa*. Badan Standardisasi Nasional (BSN). Jakarta. 21 hlm.
- Bahmani, M., Schmidt, O., Fathi, L., and Frühwald, A. 2016. Environment-friendly short-term protection of palm wood against mould and rot fungi. *Wood Mater Sci Eng*. 4: 239–247.
- Dhamayanti, R., Suranto, dan Setyaningsih, R. 2002. Keragaman Jenis Kapang pada Manisan Buah Salak (*Salacca edulis* Reinw.). *BIODIVERSITAS*. 3(2): 220-224.
- Diniyah, N., Wijanarko, S. B., dan Purnomo, H. 2012. Teknologi pengolahan gula coklat cair nira siwalan (*Borassus flabellifer* L.). *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. 23(1): 53-57.
- Dirkes, R., Neubauer, P. R., and Rabenhorst, J. 2021. Pressed sap from oil palm (*Elaeis guineensis*) trunks: a revolutionary growth medium for the biotechnological industry? *Biofpr: Biofuels, Bioproducts, & Biorefining*. 15: 931-944.
- Elvina, T. S. 2018. Pengaruh Persentase Penambahan Bahan Pengawet Alami dari Kayu Nangka pada Nira Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) selama Penyimpanan terhadap Mutu Gula Semut Kelapa Sawit. (Skripsi). Universitas Sumatera Utara. Medan. 119 hlm.
- Fachrial, E., Adrian, dan Harmileni. 2018. Isolasi aktivitas anti mikroba bakteri asam laktat dari fermentasi nira kelapa sawit. *BioLink*. 5(1): 51-58.
- Fadhilah, F. R., Kodariah, L., dan Indriani, C. 2020. Identifikasi pertumbuhan jamur *Aspergillus* sp pada roti tawar terhadap suhu penyimpanan. *Jurnal Abdimas Rajawali*. 10(2): 92-103.

- Fitri, A. 2019. Studi Pembuatan Gula Cair dari Tepung Ubi Jalar Cilembu (*Ipomea batatas* (L) Lam) dengan Hidrolisis Asam. (Skripsi). Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Medan. 106 hlm.
- Hamad, A. The physical stability of coconut milk emulsion. *Techno*. 12(1): 19-24.
- Harahap, N. M. 2019. Karakterisasi dan Pemurnian Nira Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) menggunakan zeolite. (Skripsi). Universitas Sumatera Utara. Medan. 83 hlm.
- Harni, M., Putri, S. K., Gusmalini, and Handayani, T. D. 2020. Characteristics of glucose syrup from various sources of starch. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 757: 1-5.
- Haryati, Estiasih, T., Heppy, F., dan Ahmadi, Kgs. 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.
- Hasany, M. R., Afrianto, E., dan Pratama, R. I. 2017. Pendugaan umur simpan menggunakan metode accelerated shelf life test (ASLT) model Arrhenius pada fruit nori. *Jurnal Perikanan dan Ilmu Kelautan*. 8(1):48-55.
- Herawati, H. 2008. Penentuan umur simpan pada produk pangan. *Jurnal Litbang Pertanian*. 27(4): 124-130.
- Ho, C. W., Aida, W. M., Maskat, M. Y., and Osman, H. 2008. Effect of thermal processing of palm sap on the physico-chemical composition of traditional palm sugar. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 11(2008): 989–995.
- Indah, H. D. 2011. Pendugaan Umur Simpan Produk Cone Es Krim dengan Metode Akselerasi Model Kadar Air Kritis. (Skripsi). Institut Pertanian Bogor. Bogor. 90 hlm.
- Ismiyati dan Sari, F. 2020. Identifikasi kenaikan titik didih pada proses evaporasi terhadap konsentrasi larutan sari jahe. *Jurnal Konversi*. 9(2): 33-39.
- Junk, W. R. and Pancoast, H. M. 1980. *Handbook of Sugars*. Avi Publishing Company. 598 hlm.
- Kosugi, A., Tanaka, R., and Magara, K. 2010. Ethanol and lactic acid production using sap squeezed from old oil palm trunks felled for replanting. *J Biosci Bioeng*. 3:322–325.

- Kurniawan, H., Bintoro, N, dan Nugroho, J. 2018. Pendugaan umur simpan gula semut dalam kemasan dengan pendekatan Arrhenius. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*. 6(1): 93-99.
- Kustyawati, M. E. 2020. *Mikrobiologi Hasil Pertanian*. Pusaka Media. Bandar Lampung. 248 hlm.
- Kusuma, H. A. W., Lestari, N. A., dan Christie, C. D. Y. 2022. Sifat fisikokimia dan komposisi nutrisi gula cair yang diproses dengan metode vakum. *TEKNOTAN*. 16(2): 115-119.
- Lastriyanto, A. dan Aulia, A. I. 2019. Analisa kualitas madu singkong (gula pereduksi, kadar air, dan total padatan terlarut) pasca proses pengolahan dengan vacuum cooling. *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan*. 9(2):110-114.
- Lertittikul, W., Benjakul, S., and Tanaka, M. 2007. Characteristics and antioxidative activity of Maillard reaction products from a porcine plasma protein-glucose model system as influenced by pH. *Food Chemistry*. 100(2): 669–677.
- Litana, J., Karo, T., dan Yusraini, E. 2018. Karakteristik kimia parsial nira pada beberapa interval waktu pengambilan dengan variasi lama pelayuan dari batang pohon kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) yang ditumbangkan. *JFLS*. 2(2): 77-87.
- Mita, S., Asyik, N., dan Sadimantara, M. S. 2022. Karakteristik kimia dan organoleptik gula aren yang diproduksi oleh masyarakat Desa Tanjung Batu dan Kabangka. *Berkala Ilmu-Ilmu Pertanian - Journal of Agricultural Sciences*. 02(02): 118-125.
- Muenmanee, N., Joomwong, A., Natwichai, J., and Boonyakiat, D. 2016. Changes in Physico-Chemical Properties During Fruit Development of Japanese Pumpkin (*Cucurbita maxima*). *International Food Research Journal*. 23(5): 2063-2070.
- Musita, N. 2019. Pengembangan produk gula semut dari aren dengan penambahan bubuk rempah. *Warta IHP/Journal of Agro-based Industry*. 36(2): 106-113.
- Naknean, P. and Meenune, M. 2011. Characteristics and antioxidant activity of palm sugar syrup produced in Songkhla Province, Southern Thailand. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*. 4(4): 204-212.
- Natalie, A., Mulyani, S., dan Admadi, B. 2017. Hubungan lama simpan dengan karakteristik mutu pada beberapa formulasi krim ekstrak kunyit (*Curcuma domestica* Val.). *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 5(4): 21-30.

- Ngoc, N. T. M., Minh, N. P., and Dao, D. T. A. 2014. Different processing conditions affect palm (thot not) wine fermentation. *American Journal of Research Communication*. 2(1): 142-157.
- Nimalaratne, C., Blackburn, J., Lada, R. R. 2020. A comparative physicochemical analysis of maple syrup (*Acer saccharum* Marsh.) syrup produced in North America with special emphasis on seasonal changes in Nova Scotia maple syrup composition. *Journal of Food Composition and Analysis*. 92:1744-1752.
- Nora, S. dan Mual, C. D. 2018. *Budidaya Tanaman Kelapa Sawit*. Kementerian Pertanian. Jakarta. 96 hlm.
- Oboh, F.O., Iyare, L., Idemudia, M, and Enabulele, S. 2016. Enabulele, Physico-chemical and nutritional characteristics, and antimicrobial activity of oil palm syrup, raffia palm syrup and honey. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences (IOSR-JPBS)*. 11(1): 73–78.
- Odrina, Ririn. 2023. Isolasi dan Identifikasi Jamur Mikroskopis pada Gula Aren Hasil Produksi Masyarakat Maro Sebo Sebagai Bahan Ajar Mikologi dalam Bentuk Buku Saku. (Skripsi). Universitas Jambi. Jambi. 59 hlm.
- Prabandari, A. S. dan Darwati, M. S. 2022. Identifikasi cemaran kapang patogen pada jamu serbuk pegal linu yang beredar di Kota Surakarta. *Avicenna: Journal of Health Research*. 5(1): 10-18.
- Prasetyo, T. F., Isdiana, A. F., dan Sujadi, H. 2019. Implementasi alat pendeteksi kadar air pada bahan pangan berbasis internet of things. *SMARTICS Journal*. 5(2): 81-96.
- Pratiwi. 2009. Formulasi, Uji Kecukupan Panas dan Pendugaan Umur Simpan Minuman Sari Wornas (Wortel-Nanas). (Skripsi). Institut Pertanian Bogor. Bogor. 204 halaman.
- Purwandani, L., Indrastuti, E., Imelda, F., Hermawan, A., Saidah, D. R., dan Halim, H. 2020. Pembuatan bioetanol dari nira kelapa sawit menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*. *Buletin LOUPE*. 16(1): 1-7.
- Rahayu, R., Haryani, S., dan Yuliani, S. 2023. Perbandingan pati modifikasi heat moisture treatment, asetilasi dan kombinasi ganda. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*. 8(3): 394-401.
- Rahmaini., Lubis, Y. W., Arlinda, L., Ramadhani, M. R., Ramadhan, R., Aisah, S., dan Lestari, A. 2023. Usaha gula merah dari nira kelapa sawit sebagai upaya

- meningkatkan nilai ekonomi masyarakat di Desa Pegajahan. *Reswara: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*. 4(1): 117-123.
- Ramdhani, M., Sunardi, dan Setya, E. A. 2023. Karakterisasi gula cair dari nira kelapa dengan penambahan bubuk kulit secang dan kulit manggis pada berbagai konsentrasi. *Agroforetech*. 1(1): 629-638.
- Raviki, M., Maemunaty, T, dan Ayub, D. 2022. Life skill: home industry gula merah dari kelapa sawit di Kampung Maredan Marat Kecamatan Tualang Kabupaten Siak. *Jurnal Kewarganegaraan*. 6(1): 1006-1014.
- Rifkowaty, E. E. dan Muttaqin, K. 2016. Penentuan umur simpan sirup kranji (*Dialium indum* L.) metode accelerated shelf-life testing (ASLT) suhu. *Jurnal Teknologi Pangan*. 7(1): 17-28.
- Rumengan, M. 2019. Produksi Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) pada Umur yang Berbeda di PT. Bhadra Sukses / PT. Surya Raya Lestari II Kabupaten Mamuju Tengah Provinsi Sulawesi Barat. (Skripsi). Politeknik Pertanian Negeri Pangkep. Pangkep. 26 hlm.
- Rusli, M. S., Nuryanti, A, Fitria, R., Budiani, A. R., dan Fiprina, N. F. Pendugaan umur simpan produk minuman ginger latte menggunakan model Arrhenius. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 32(2): 188-196.
- Sakinah, A. N. 2016. Kajian Produksi Sirup Gula dari Daun Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertonii) terhadap Karakteristik Sirup Gula. (Skripsi). Universitas Pasundan. Bandung. 74 hlm.
- Sandana, F. B., Rawung, D., Ludong, M., dan Mamujaja, C. 2014. Penentuan umur simpan sirup pala menggunakan metode ASLT (accelerated shelf life testing) dengan pendekatan Arrhenius. *COCOS*. 5(4): 1-7.
- Savitri, N. P. T., Hastuti, E. D., dan Suedy, S. W. A. 2017. Kualitas madu lokal dari beberapa wilayah di Kabupaten Temanggung. *Buletin Anatomi dan Fisiologi*. 2(1): 58-66.
- Simpson, I. K., Owusu, F. W. A., Boakye-Gyasi, M. E., Entsie, P., Bayor, M. T., and Ofori-Kwakye, K. 2022. Pharmaceutical applications of glucose syrup from high quality cassava flour in oral liquid formulations. *Hindawi: International Journal of Food Science*. 1796: 1-7.
- Sinaga, O. T. 2020. Pengaruh Suhu terhadap Daya Simpan Nira Aren (*Arenga pinnata* Merr.) dengan Menghambat Fermentasi. *Journal of Biological Education*. 2(1):21-27.

- Sitoresmi, I., Sujiman, dan Maksu, A. 2019. Aplikasi keamanan pangan dan teknologi pengemasan produk jamu alona guna meningkatkan kinerja produk. *Jurnal Ilmiah Pangabdhi*. 5(1): 18-22.
- Sukmayanti, N. W., Putra, G. P. G., dan Suhendra, L. 2018. Penentuan umur simpan cuka kakao menggunakan metode accelerated shelf-life testing (ASLT) dengan pendekatan Arrhenius. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 6(2): 135-146.
- Suwarto, Octavianty, Y., dan Hermawati, S. 2014. *Top 15 Tanaman Perkebunan Unggul*. Penebar Swadaya. Jakarta. 316 hlm.
- Suwita, I. K., Kristianto, Y., dan Purwaningsih, F. Y. 2012. Pendugaan umur simpan sirup temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb), madu, dan ekstrak ikan gabus (*Ophiocephalus striatus*) dengan model Arrhenius dan model Q10. *AGROMIX*. 3(2): 18-35.
- Swadana, A. W. dan Yuwono, S. S. 2014. Pendugaan umur simpan minuman berperisa apel menggunakan metode accelerated shelf life testing (ASLT) dengan pendekatan Arrhenius. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. 2(3): 203-213.
- Sykdani, A., Purnamasari, I., dan Necessary, E. 2019. Prototipe alat evaporator vakum (efektivitas temperatur dan waktu evaporasi terhadap tekanan vakum dan laju evaporasi pada pembuatan sirup buah mengkudu (*Morinda citrifolia* L.)). *Jurnal Kinetika*. 10(2): 29-35.
- Ulum, K., Purwantiningrum, I., Yustina, R. D., Murdiyatmo, U., dan Wardani, A. K. 2020. Studi komparasi: produksi bioetanol nira kelapa sawit oleh flokulan dan non-flokulan *Saccharomyces cerevisiae*. *AgriTECH*. 40(4): 322-331.
- Widiantara, T., Arief, D.Z., Yuniar, E. 2018. Kajian perbandingan tepung kacang koro pedang (*Canavalia ensiformis*) dengan tepung tapioka dan konsentrasi kuning telur terhadap karakteristik cookies koro. *Pasundan Food Technology Journal*. 5: 146–153.
- Wulandika, V., Novianti, N., Siahaan, O.S.H., dan Zulfansyah. 2019. Pembuatan gula merah dari nira batang sawit dengan teknologi vakum. *Prosiding Teknologi dan Pengelolaan Lingkungan Tropis*. Pekanbaru. 292-294.
- Yuwana, A. M. P., Putri, D. N., dan Harini, N. 2022. Hubungan antara atribut sensori dan kualitas gula merah tebu: pengaruh pH dan kondisi karamelisasi. *Teknologi Pangan: Media Informasi dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian*. 13(1): 54-66.

Zuliana, C., Widyastuti, E., dan Susanto, H. 2016. Pembuatan gula semut kelapa (kajian pH gula kelapa dan konsentrasi natrium bikarbonat). *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. 4(1): 109-119.