ANALISIS SORPSI ISOTERMIS UNTUK MENENTUKAN MASA SIMPAN GULA SEMUT YANG DIKEMAS DENGAN *BIODEGRADABLE ECOPACK*

(Skripsi)

Oleh

Ceindy Megeita
1614051012

JURUSAN TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2021

ABSTRAK

ANALISIS SORPSI ISOTERMIS UNTUK MENENTUKAN MASA SIMPAN GULA SEMUT YANG DIKEMAS DENGAN *BIODEGRADABLE ECOPACK*

Oleh

CEINDY MEGEITA

Gula semut merupakan gula kelapa berbentuk serbuk atau butiran. Proses kerusakan gula semut dapat dikurangi dengan penggunaan jenis kemasan yang tepat. Bahan pengemas *biodegradable* plastik dipilih sebagai pengganti kemasan yang tepat karena dapat terurai dengan alami dalam waktu relatif cepat, sehingga tidak mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui umur simpan produk gula semut yang dikemas dalam *biodegradable ecopack* pada kondisi penyimpanan dengan RH yang berbeda menggunakan metode akselerasi model sorpsi isotermis. Pelaksanaan penelitian ini terdiri dari tahap karakterisasi mutu produk awal, penentuan kadar air kritis, pembuatan larutan garam jenuh, pengukuran kadar air kesetimbangan, pembuatan kurva sorpsi isotermis, penentuan permeabilitas kemasan, dan perhitungan umur simpan gula semut. Data yang diperoleh disajikan dalam grafik dan tabel lalu dibahas secara deskriptif. Parameter kritis yang diamati adalah perubahan tekstur berupa penggumpalan. RH yang digunakan ialah 62%, 75%, 83% dan 95%. Hasil perhitungan umur simpan dalam kemasan *biodegradable ecopack* pada kondisi RH 62%, 75%, 83% dan 95% berturut-turut sebesar 487, 286, 182 dan 151 hari.

Kata kunci : gula semut, *biodegradable ecopack*, pengemasan, sorpsi isotermis, umur simpan.

ABSTRACT

ISOTHERMIC SORPTION ANALYSIS TO DETERMINE SHELF LIFE OF CRYSTALLIZED BROWN SUGAR PACKED WITH BIODEGRADABLE ECOPACK

By

CEINDY MEGEITA

Crystallized brown sugar is a sugar made from coconut sap in powder or granular form. The process of spoilage of brown sugar can be reduced by using the right type of packaging. Biodegradable plastic packaging material was chosen because it could decompose naturally in a relatively short time, so it would not pollute the environment. This study aimed to determine the shelf life of crystallized brown sugar in biodegradable ecopack under various RH storage conditions using the isothermic sorption model with acceleration method. The implementation of this research consisted of characterizing the initial product quality, determining the critical water content, making a saturated salt solution, measuring the equilibrium moisture content, making an isothermic sorption curve, determining the permeability of the packaging, and calculating the shelf life of brown sugar. The data obtained are presented in graphs and tables and then analyzed descriptively. The critical parameter observed was the change in texture in the form of clumping. The RH at treatments were 62%, 75%, 83% and 95%. The results of the calculation of shelf life of the crystallized brown sugar packed in biodegradable ecopack stored in the chamber at RH conditions of 62%, 75%, 83%, and 95%, were 487, 286, 182 and 151 days, respectivelly.

Keywords: crystallized brown sugar, biodegradable ecopack, packaging, isothermic sorption, shelf life

ANALISIS SORPSI ISOTERMIS UNTUK MENENTUKAN MASA SIMPAN GULA SEMUT YANG DIKEMAS DENGAN *BIODEGRADABLE ECOPACK*

Oleh

Ceindy Megeita

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
2021

Judul Skripsi	:	**ANALISIS SORPSI ISOTERMIS UNTUK MENENTUKAN MASA SIMPAN GULA SEMUT YANG DIKEMAS DENGAN *BIODEGRADABLE ECOPACK***
Nama	:	**CEINDY MEGEITA**
Nomor Pokok Mahasiswa	:	1614051012
Program Studi	:	Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas	:	Pertanian

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc	**Dr. Dra. Maria Erna Kustyawati, M.Sc.**
NIP. 19660314199003 1 009	NIP. 19611129 198703 2 002

2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian

Dr. Erdi Suroso, S.T.P.,M.T.A.
NIP. 197210061997031005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc.**

Seketaris : **Dr. Dra. Maria Erna Kustyawati, M.Sc.**

Penguji
Bukan Pembimbing : **Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.**

2. Dekan Fakultas Pertanian

Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP. 19611020 198603 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **16 September 2021**

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ceindy Megeita

NPM : 1614051012

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

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

Bandar Lampung, September 2021

Yang membuat pernyataan

METERAI TEMPEL 10000 0AB23AJX446681303

Ceindy Megeita

NPM. 1614051012

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Sedayu pada tanggal 25 April 1998, sebagai anak pertama dari pasangan Bapak Sumarno dan Ibu Munjiah. Pendidikan penulis diawali di Sekolah Dasar Negeri 1 Sedayu, diselesaikan pada tahun 2010, kemudian dilanjutkan di Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Semaka, diselesaikan pada tahun 2013, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Pringsewu yang diselesaikan pada tahun 2016. Pada Tahun 2016, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Mekar Asri, Kecamatan Gedung Aji Baru, Kabupaten Tulang Bawang pada bulan Januari – Februari 2020. Penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di KWT Cemara Sedayu dengan judul "Mempelajari Proses Produksi Dan Pengemasan Wedang Jahe Instan Dan Kopi Bubuk Di Kelompok Wanita Tani (KWT) Cemara Tanggamus" pada bulan Juli-Agustus 2020. Selama menjadi mahasiswa penulis cukup aktif dalam organisasi kemahasiswaan. Diantaranya penulis pernah menjadi Anggota FOSI Fakultas Pertanian dan Birohmah Universitas Lampung periode 2016-2017. Selain itu, penulis juga pernah menjadi asisten dosen untuk mata kuliah Mikrobiologi Umum (Angkatan 2019).

SANWACANA

Alhamdulillahirabbil'aalamiin, Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini yang berjudul "Analisis Sorpsi Isotermis Untuk Menentukan Masa Simpan Gula Semut Yang Dikemas Dengan *Biodegradable Ecopack*". Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung yang memfasilitasi penulis dalam menyelesaikan skripsi.
2. Bapak Dr. Erdi Suroso, S.T.P.,M.T.A., selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung yang memfasilitasi penulis dalam menyelesaikan skripsi.
3. Bapak Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Dosen Pembimbing Pertama, atas arahan, saran, bantuan, motivasi, dan bimbingan yang telah diberikan selama Perkuliahan dan selama proses penelitian hingga penyelesaian skripsi Penulis.
4. Ibu Dr. Dra. Maria Erna Kustyawati, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Kedua, yang telah memberikan banyak bimbingan, arahan, masukan serta dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran serta masukan terhadap skripsi penulis.
6. Seluruh Bapak dan Ibu dosen pengajar, staf dan karyawan di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung, yang telah mengajari, membimbing, dan juga membantu penulis dalam menyelesaikan administrasi akademik.

7. Kedua orang tua penulis Bapak Sumarno dan Ibu Munjiah, Kakek penulis yaitu Bapak Rusemin, dan Nenek penulis Ibu Sumiati, serta keluarga besar penulis yang telah memberikan dukungan material dan semangat, serta do'a yang selalu menyertai penulis selama ini.
8. Sahabat penulis di kampus Rini, Mbakyu, Mare, Beta, Mba Nisa, Puti, Szasza, yang telah mewarnai, menemani, membantu, mendukung, menegur, mengingatkan serta menjadi tempat penulis untuk berkeluh kesah.
9. Keluarga besar THP angkatan 2016 terima kasih atas perjalanan, kebersamaan serta seluruh cerita suka maupun dukanya selama ini. Adik-adik dan kakak-kakak yang telah membantu selama perkuliahan, penelitian, sampai penyelesaian skripsi penulis.

Penulis berharap semoga Allah membalas seluruh kebaikan yang telah diberikan kepada penulis dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Bandar Lampung, September 2021

Ceindy Megeita

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR ix

I. PENDAHULUAN 1

1.1. Latar Belakang dan Masalah 1
1.2. Tujuan Penelitian 3
1.3. Kerangka Pemikiran 4
1.4. Hipotesis 6

II. TINJAUAN PUSTAKA 7

2.1. Gula Semut 7
2.2. Syarat Mutu Gula Semut 8
2.3. Kerusakan Gula Semut 9
2.4. Pengemasan 11
2.5. Kemasan *Biodegradable* 13
2.6. Penyimpanan dan Penggudangan 14
2.7. Umur Simpan 15
2.8. Penentuan Umur Simpan 16

III. BAHAN DAN METODE 22

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian 22
3.2. Bahan dan Alat 22
3.3. Metode Penelitian 22
3.4. Pelaksanaan Penelitian 23
3.4.1 Karakterisasi Mutu Produk Awal 23
3.4.2 Penentuan Kadar Air Kritis 23
3.4.3. Pembuatan Larutan Garam Jenuh dan Penentuan RH 24

3.4.4. Tahap Penentuan Kurva Sorpsi Isotermis 25
3.4.5. Analisis Kadar Air 26
3.4.6. Penentuan Permeabilitas Kemasan 26
3.4.7. Perhitungan Masa Simpan Gula Semut 27

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN 29

4.1. Kadar Air Awal dan Kadar Air Kritis 29
4.2. Kadar Air Kesetimbangan 32
4.3. Kurva Sorpsi Isotermis 33
4.4. Permeabilitas kemasan 36
4.5. Umur Simpan 38

V. KESIMPULAN DAN SARAN 41

5.1. Kesimpulan 41
5.2. Saran 41

DAFTAR PUSTAKA 42

LAMPIRAN 46

Lampiran 1. Perhitungan Kadar Air Kritis 47
Lampiran 2. Perhitungan Bobot Padatan Per Kemasan 47
Lampiran 3. Perhitungan Luas Kemasan 48
Lampiran 4. Permeabilitas Kemasan 49
Lampiran 5. Perhitungan Kadar Air Kesetimbangan 50
Lampiran 6. Perhitungan Masa Simpan Gula Semut 50
Lampiran 7. Gambar Penelitian Pendugaan Masa Simpan Gula Semut 51

DAFTAR TABEL

Tabel **Halaman**

1. Persyaratan Mutu Gula semut SNI 01-3743-1995. 9
2. Preparasi larutan jenuh untuk penetapan kurva sorpsi isotermis 24
3. Perhitungan kadar air awal 29
4. Rerata skor penerimaan panelis dan kadar air gula semut 32
5. Kadar Air Kesetimbangan 33
6. Parameter perhitungan umur simpan 38
7. Perhitungan kadar air kritis 47
8. Skor Kesukaan Panelis 47
9. Bobot padatan per kemasan 48
10. Perhitungan luas kemasan 48
11. Penambahan bobot desikan selama penyimpanan 48
12. Perhitungan permeabilitas kemasan 49
13. Kadar Air Kesetimbangan 50

DAFTAR GAMBAR

Gambar **Halaman**

1. Gula semut 7
2. Gula semut dalam kemasan.....12
3. *Warehaouse* penyimpanan gula semut.....15
4. Kuesioner uji hedonik gula semut.....24
5. Diagram air penentuan kurva sorpsi isotermis gula semut 25
6. Kenampakan gula semut selama penyimpanan.....30
7. Kurva sorpsi isotermis gula semut.....34
8. Penentuan Slope kurva sorpsi isotermis gula semut 35
9. Grafik penambahan bobot desikan selama penyimpanan 49
10 Pengamatan kadar air kritis dalam 0 jam 51
11. Pengamatan kadar air kritis dalam 12 jam 51
12. Pengamatan kadar air kritis dalam 24 jam 51
13. Pengamatan kadar air kritis dalam 36 jam 51
15. Pembuatan larutan garam jenuh 51
16. Penimbangan sampel gula semut 51
17. Penempatan sampel pada *humidity chamber* 51
18. Penyimpanan *humidity chamber* pada suhu ruang.....52
19. Penimbangan silika gel 52
20. Penempatan silika gel yang telah dikemas dengan *biodegradable ecopack* pada *humidity chamber* RH 75% 52
21. Pengujian kadar air pada sampel gula semut 52
22. Pengujian kadar air dengan metode oven 52
23. Pengujian sensori dengan panelis 52

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Masalah

Gula semut merupakan gula kelapa berbentuk serbuk atau butiran yang memiliki nilai ekonomis yang tinggi dan memiliki prospek yang sangat bagus untuk dikembangkan. Mashud (2017) menyatakan bahwa pengolahan gula semut bernilai ekonomis tinggi dan mempunyai peluang ekspor cukup besar. Permintaan akan gula semut terus meningkat dari waktu ke waktu, hal ini tidak lepas dari usaha para produsen gula semut yang terus melakukan pengembangan pasar. Terutama terhadap target pasar industri yang sangat mempertimbangkan efisiensi, dan mengutamakan sisi kepraktisan dibandingkan dengan menggunakan gula merah biasa. Saat ini gula semut telah banyak dipasarkan pada beberapa supermarket, bahkan sudah diekspor ke Australia maupun Eropa, karena digunakan sebagai pemanis makanan dan minuman rumah tangga maupun industri. Selain itu, gula semut dapat tahan lama tanpa penambahan bahan pengawet (Ningtyas, 2019).

Gula semut adalah gula merah versi bubuk dan sering pula disebut orang sebagai gula kristal. Dinamakan gula semut karena bentuknya mirip dengan rumah semut yang bersarang di tanah. Gula semut memiliki beberapa keunggulan dibandingkan gula cetak, antara lain lebih awet karena kadar airnya rendah, penggunaannya lebih praktis karena berbentuk kristal, mudah dalam pengemasan, pengangkutan, dan harganya pun lebih tinggi (Fahrizal *et al*. 2017). Produk gula semut juga memiliki kelemahan, menurut Pontoh (2014) bahwa kandungan gula pereduksi pada gula semut menyebabkan gula semut bersifat higroskopis sehingga mudah menyerap uap air dari udara sekitar, akibatnya gula semut tidak tahan lama. Penelitian Wuntu (2014) menyatakan gula semut sangat mudah menyerap

air dari lingkungan dengan laju sekitar 1,99% b/b artinya terdapat 1,99 gram air dalam 100 gram gula semut per menit pada kelembaban 100%.

Produk gula semut yang menyerap air akan menyebabkan terjadinya penggumpalan sehingga akan mengalami penurunan mutu produk dan menyebabkan kerugian bagi produsen. Penyimpangan produk gula semut dari mutu awalnya seperti peningkatan kadar air disebut dengan reaksi deteriorasi. Produk pangan akan segera mengalami deteriorasi setelah diproduksi. Reaksi deteriorasi dimulai dengan persentuhan produk dengan udara, oksigen, uap air, cahaya, mikroorganisme, atau akibat perubahan suhu. Tingkat deteriorasi produk dipengaruhi oleh lamanya penyimpanan, sedangkan laju deteriorasi dipengaruhi oleh kondisi lingkungan penyimpanan. Waktu hingga produk mengalami suatu tingkat deteriorasi tertentu disebut umur simpan.

Menurut *The Institute of Food Technologists* (IFT, 1974), umur simpan produk pangan diartikan sebagai selang waktu antara saat produk tersebut diproduksi hingga saat dikonsumsi dimana produk tersebut masih dalam kondisi yang baik pada penampakan, rasa, tekstur dan nilai gizinya. Namun apabila produk tersebut diterima dalam kondisi tidak memuaskan pada sifat – sifat yang telah disebut di atas, maka dapat dinyatakan sebagai akhir dari masa simpannya atau masa kadaluarsa. Informasi umur simpan produk pangan yang dicantumkan pada kemasan sangat penting karena terkait dengan keamanan produk pangan serta untuk memberikan jaminan mutu pada saat produk sampai ke tangan konsumen (Hutasoit, 2009). Oleh karena itu, salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menduga umur simpan produk gula semut yang cepat namun cukup akurat adalah melalui metode akselerasi dengan pendekatan sorpsi isotermis.

Metode akselerasi menggunakan suatu kondisi lingkungan yang dapat mempercepat (*accelerated*) reaksi deteriorasi (penurunan *usable quality*) produk pangan. Kerusakan yang berlangsung dapat diamati dengan cermat dan diukur. Hal ini dapat dilakukan dengan mengontrol semua lingkungan produk dan mengamati parameter perubahan yang berlangsung. Keuntungan dari metode

akselerasi ini membutuhkan waktu pengujian yang relatif singkat, namun tetap memiliki ketepatan dan akurasi yang tinggi. Metode ini sangat cocok untuk diterapkan pada produk pangan yang relatif mudah rusak akibat penyerapan uap air dari lingkungan. Pengaruh kelembapan terhadap laju kerusakan produk gula semut dapat digambarkan dengan tepat melalui model atau pendekatan sorpsi isotermis. Metode ini memiliki prinsip yaitu pengaplikasian kinetika kimia untuk menghitung pengaruh lingkungan luar berupa kelembapan terhadap laju kerusakan produk gula semut.

Proses kerusakan produk pangan dapat dikurangi dengan penggunaan jenis kemasan yang tepat. Salah satu fungsi pengemasan adalah memperlambat proses deteriorasi, yaitu dengan mempertahankan stabilitas, kesegaran dan penerimaan konsumen dari produk atau memperpanjang umur simpan. Produk mengalami reaksi deteriorasi dimulai dengan persentuhan produk dengan udara, oksigen, uap air, cahaya atau akibat perubahan suhu (Arpah, 2001). Umumnya produk gula semut dikemas dengan menggunakan plastik polietilen maupun polipropilen. Kedua jenis bahan pengemas tersebut tidak dapat di daur ulang sehingga dapat menyebabkan pencemaran dan polusi jika tidak dilakukan penanganan limbah yang tepat. Bahan pengemas biodegradable plastik dipilih sebagai pengganti kemasan yang tepat karena dapat tururai dengan alami dalam waktu relatif cepat, sehingga tidak mencemari lingkungan. Dengan demikian perlu dilakukan penelitian untuk mendapatkan umur simpan gula semut dalam kemasan *biodegradable ecopack* pada kondisi penyimpanan dengan RH yang berbeda menggunakan metode akselerasi model Sorpsi Isotermis.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui umur simpan produk gula semut yang dikemas dalam *biodegradable ecopack* pada kondisi penyimpanan dengan RH yang berbeda menggunakan metode akselerasi model Sorpsi Isotermis.

1.3. Kerangka Pemikiran

Pada saat baru diproduksi, mutu produk salah satu contohnya gula semut dianggap dalam keadaan 100% dan akan menurun sejalan dengan lamanya proses penyimpanan, distribusi, dan pemasaran. Selama penyimpanan dan distribusi, produk pangan akan mengalami kehilangan bobot, nilai pangan, mutu, nilai uang, daya tumbuh, dan kepercayaan (Rahayu *et al*. 2010). Selama penyimpanan dan distribusi, bahan pangan terbuka terhadap kondisi lingkungan di sekelilingnya. Faktor-faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, oksigen dan cahaya dapat menyebabkan perubahan-perubahan yang akan menimbulkan kerusakan pada gula semut.

Faktor lingkungan fisik yang terpenting yaitu suhu ruangan dan kelembaban, karena keduanya menentukan masa simpan suatu produk di dalam tempat penyimpanan. Menurut Syarief dan Halid (1991), semakin tinggi suhu penyimpanan, maka laju reaksi berbagai senyawa kimia akan semakin cepat. Perbandingan antara tekanan uap air kesetimbangan dengan tekanan uap air jenuhnya disebut kelembaban relatif kesetimbangan atau *equilibrium relative humidity* (ERH) atau disebut juga dengan aktivitas air (*water activity*) yang dinyatakan dengan a_w (Sokhansanj *et al*. 1995). Semakin besar perbedaan antara ERH produk dengan RH lingkungan, maka semakin besar juga kecenderungan produk tersebut mengalami perpindahan uap air. Jika tekanan parsial uap air di udara lebih besar daripada tekanan parsial uap air di produk, maka produk akan menyerap uap air/kelembaban selama masa simpan.

Gula semut merupakan produk yang diduga mempunyai umur simpan yang pendek yang akan menyerap uap air lingkungan selama penyimpanan (Herawaty, 2008). Kadar air yang tinggi akan menyebabkan gula semut lengket dan susah dipisahkan. Kadar air gula semut yang tinggi akan memicu terjadinya penggumpalan gula (*caking*), hal ini juga akan mengurangi kualitas fisik produk. Menurut Effendi (2004), penggumpalan *(caking)* selama proses penyimpanan merupakan suatu kondisi spontan dimana terjadi adsorpsi air oleh kristal gula

akibat RH lingkungan lebih tinggi dari RH kristal gula. Adsorpsi tersebut akan melarutkan padatan di permukaan kristal sehingga membentuk “jembatan” antar kristal gula yang mengakibatkan terjadinya penggumpalan. Menurut Chung *et al*. (2000), adanya penggumpalan pada poduk berbentuk serbuk adalah tanda kualitas dan keamanan produk rendah.

Penelitian tentang masa simpan gula semut dalam kemasan dengan pendekatan Arrhenius yang dilakukan oleh Kurniawan (2018) menunjukkan bahwa gula semut yang disimpan pada suhu 15°C dengan RH 77% dengan kemasan polietilen memiliki umur simpan yaitu 160 hari. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Dewi (2017) mengenai masa simpan gula semut dalam kemasan dengan pendekatan Arrhenius. Hasil penelitian menunjukkan bahwa umur simpan gula semut yang dikemas dengan *aluminium foil* dan disimpan pada suhu 30°C dengan RH 70%, adalah 1878 hari.

Penelitian yang dilakukan oleh Rohaman *et al.* (2002) mengenai masa simpan gula semut dalam kemasan dengan pendekatan Sorpsi Isotermis. Hasil penelitian menunjukan bahwa gula semut yang disimpan pada suhu ruang (27°C) dengan RH 8% yang dikemas dengan kemasan polipropilen memiliki umur simpan terbaik yakni 770 hari. Penelitian yang dilakukan oleh mukhlis (2018) mengenai pendugaan umur simpan gula kelapa kristal dalam kemasan dengan pendekatan kadar air kritis menunjukan bahwa gula kelapa kristal yang disimpan pada suhu ruang (30°C) dengan RH 60% yang dikemas dengan kemasan polietilen memiliki umur simpan terbaik yakni 537 hari.

Pada penelitian ini menggunakan kemasan *biodegradable ecopack.* Suhu yang digunakan yaitu suhu ruang (30°C) dengan RH yang digunakan yaitu 62%, 75%, 83% dan 95%. Melalui penelitian ini diharapkan dapat diketahui umur simpan terbaik produk gula semut dengan pendekatan Sorpsi Isotermis pada kondisi penyimpanan di gudang penyimpanan.

1.4. Hipotesis

Gula semut yang disimpan pada suhu ruang (30°C) dengan RH penyimpanan sebesar 60% memiliki masa simpan terbaik yang sesuai dengan SNI 01-3743-1995.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gula Semut

Gula semut merupakan salah satu bentuk diversifikasi gula merah yang berbentuk serbuk atau butiran kecil-kecil (Gambar 1) yang berwarna kuning hingga kecoklatan. Gula semut dihasilkan dari pengolahan nira palma, baik nira yang berasal dari pohon kelapa (*Cocos nucifera*), pohon aren dan pohon lontar (*Borassus flabelifer*) (Joseph, 1994). Gula semut memiliki keunggulan tersendiri yaitu berbentuk kristal kecil– kecil yang mudah larut dalam air panas ataupun air dingin. Keunggulan dari gula semut yang memiliki kadar air 3 % yaitu dapat disimpan selama 1 tahun tanpa bahan pengawet dan gula semut ini memiliki berbagai *grade*, yaitu 10-13 mesh, 16 mesh, dan 24 mesh (Kristianingrum, 2009). Bentuk gula semut yang serbuk menyebabkan gula mudah larut sehingga praktis dalam penyajian, mudah dikemas dan dibawa, serta daya simpan yang lama karena memiliki kadar air yang rendah. Selain memiliki kelebihan, gula semut memiliki kelemahan yaitu proses pembuatan yang tidak mudah sehingga harga gula semut relatif lebih mahal dibanding gula kelapa (Zuliana *et al*. 2016).

Gambar 1. Gula semut (Rima, 2017)

Mutu nira yang akan diolah menjadi gula semut umumnya harus lebih baik dari yang biasa diolah menjadi gula merah. Nira yang telah terfermentasi dengan pH

kurang dari 6 tidak dapat diolah menjadi gula semut karena proses kristalisasinya menjadi sulit, tetapi masih dapat diolah menjadi gula cetak (Santoso, 2016). pH atau derajat keasaman yang terdapat pada bahan baku sangat mempengaruhi proses kristalisasi pembuatan gula semut karena adanya jumlah gula reduksi yang terbentuk. Adanya gula pereduksi yang tinggi akan mengikat air lebih banyak karena komponen OH- mengikat H+ dari udara (proses hidrolisis) (Ningtyas, 2019).

Gula semut dapat dibuat dengan dua cara, yaitu dengan mengeringkan dan menepung gula merah cetak dan dengan cara pemanasan nira dan pengadukan intensif (Herman, 1984). Cara yang umum digunakan adalah dengan prinsip yang sama dengan pembuatan gula merah, hanya ditambah dengan proses pembentukan serbuk setelah pemanasan untuk memperoleh kepekatan gula yang tinggi, dimana dianggap nantinya akan dihasilkan tingkat kekeringan yang cukup untuk pembentukan serbuk. Pengadukan intensif dilakukan setelah pemanasan selesai, sampai terbentuk kristal-kristal yang selanjutnya disebut gula semut (Herman, 1984). Pembentukan serbuk gula merah dapat dilakukan dengan pengadukan memakai alat seperti garpu yang terbuat dari kayu, atau dengan pengaduk berbentuk seperti kocokan telur (gagang kayu dengan spiral logam). Menurut Suliantari (1988), penggunaan gula semut adalah sebagai pemanis untuk makanan (roti, kue dan makanan kecil lainnya), ataupun untuk minuman (teh, kopi,susu), dan dapat pula digunakan sebagai bahan penolong untuk industri makanan atau minuman seperti kecap, bandrek, es krim dan lain-lain. Kebutuhan gula semut dalam negeri berasal dari industri makanan dan obat sedangkan permintaan ekspor berasal dari Jerman, Swiss dan Jepang (Evalia, 2015).

2.2. Syarat Mutu Gula Semut

Gula semut memiliki standar mutu yang diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 0268-85 yang dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Persyaratan mutu gula semut sesuai dengan SNI 01-3743-1995.

Komponen	**Kadar**
Gula (jumlah sukrosa dan gula reduksi) (%)	Minimal 80,0
Sukrosa (%)	Maksimal 75,0
Gula reduksi (%)	Maksimal 5,0
Air (%)	Maksimal 3,0
Abu (%)	Maksimal 2,0
Bagian-bagian tidak larut air (%)	Maksimal 1,0
Zat warna	Yang diizinkan
Logam-logam berbahaya (Cu, Hg, Pb, As)	Negatif
Pati	Negatif
Bentuk	Kristal atau serbuk

Sumber: Standar Nasional Indonesia (1995)

2.3. Kerusakan Gula Semut

Gula semut selama penyimpanan akan mengalami penurunan mutu. Menurut Wijaya (2007), salah satu parameter kritis yang dapat diamati dalam penurunan produk gula semut adalah kadar air. Kadar air merupakan parameter penting yang menentukan kualitas produk. Adanya perubahan kadar air pada suatu produk pangan akan menimbulkan berbagai kerusakan seperti munculnya jamur dan bakteri, pengerasan, pelunakan maupun penggumpalan terutama pada produk kering. Oleh karena itu kadar air menjadi titik kritis dan memegang peranan penting dalam menentukan karakteristik fisiko-kimia, mikrobiologi, dan organoleptik selama produksi dan penyimpanan (Hutasoit, 2009). Penurunan mutu gula semut selama penyimpanan berupa perubahan pada kadar air, a_w, tingkat penggumpalan dan warna. Peningkatan kadar air selama penyimpanan akan menyebabkan terjadinya penggumpalan pada gula semut tersebut.

Kadar gula pereduksi gula semut berkaitan dengan mutu gula semut. Kadar gula pereduksi gula semut lebih rendah menunjukkan kualitas yang lebih baik karena lebih awet bila disimpan. Menurut Sardjono *et al.* (1985) kenaikan kadar gula pereduksi terjadi sejalan dengan kenaikan kadar air selama penyimpanan. Kadar gula reduksi yang tinggi menyebabkan gula menjadi lebih higroskopis (mudah menyerap air) sehingga mudah meleleh dalam penyimpanan. Kriteria mutu fisik

yang digunakan pada uji organoleptik yaitu tekstur (tingkat penggumpalan) pada produk gula semut. Menurut Herawaty (2008), tekstur merupakan salah satu kriteria penting dari suatu produk pangan, selain warna, flavor, umur simpan, keamanan, kesehatan, kemudahan, kehalalan, dan harga. Tekstur berupa tingkat penggumpalan pada produk pangan bubuk berkaitan erat dengan kadar air produk tersebut. Fitria (2007) menyatakan bahwa kerusakan tekstur selama penyimpanan merupakan reaksi deteriosasi yang umumnya pertama kali terjadi pada produk pangan kering, karena produk ini sangat sensitif dengan perubahan kadar air selama penyimpanan. Peningkatan kadar air selama penyimpanan dapat disebabkan oleh tingginya kelembaban udara di sekitar. Menurut Ghorab *et al.* (2014) penyimpanan bahan pangan yang bersifat higroskopis dalam bentuk bubuk sangat dipengaruhi oleh faktor suhu dan kelembaban. Mutu produk dan penilaian panelis akan terpengaruh oleh adanya rekasi deteriorasi berupa kenaikan RH yang akan diikuti oleh peningkatan kadar air.

Naiknya kadar air dapat disebabkan adanya permeabilitas bahan kemasan produk terhadap uap air, sifat bahan-bahan yang terdapat pada produk yang higroskopis sehingga cenderung mengadsorbsi uap air dari udara, dan tingkat kelembaban udara lingkungan terhadap produk. Tingginya kadar air pada produk mempercepat terjadinya penggumpalan. Kenaikan kadar air dapat menurunkan *flowability*, dan meningkatkan kohesivitas butiran sehingga akan diikuti dengan terjadinya penggumpalan produk. Penggumpalan *(caking)* selama proses penyimpanan merupakan suatu kondisi spontan dimana terjadi perbedaan kelembaban antara kristal gula dengan lingkungannya (Effendi, 2004). Adanya penggumpalan pada poduk berbentuk serbuk adalah tanda kualitas dan keamanan produk rendah (Chung *et al*. 2000).

Selama penyimpanan terjadi penyerapan air dari udara. Kelembaban relatif (RH) ruang penyimpanan mempengaruhi kadar air produk selama disimpan (Jensen dan Risbo, 2007). Kondisi penyimpanan turut pula mempengaruhi mutu produk, terutama berkaitan dengan pengaliran udara dan kelembaban udara ruang penyimpanan. Menurut Sudarmadji *et al.* (1996), penurunan kualitas gula selama

proses penyimpanan di gudang dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya: 1) Kandungan gula reduksi yang tinggi berperan dalam sifat higroskopis gula. Semakin banyak kandungan gula reduksi akan membuat gula semakin higroskopis karena di dalam gula reduksi terdapat gugus polihidroksil yang bebas dan reaktif sehingga bisa berikatan hidrogen dengan uap air yang terdapat di lingkungan. 2) Kadar air gula yang tinggi pada saat *packing*. 3) Kelembaban udara (RH) yang tinggi. Menurut Hadi (2013) Suhu di dalam gudang berkisar antara 20,8-33,4^{o}C, dan rata-rata RH gudang yang diperoleh dari pengukuran berkisar antara 72,8-92,8%.

2.4. Pengemasan

Pengemasan merupakan salah satu cara pengawetan karena dapat memperpanjang umur simpan produk. Kemasan dapat membantu mencegah atau mengurangi kerusakan, melindungi bahan yang ada di dalamnya dari pencemaran serta gangguan fisik seperti gesekan, benturan dan getaran (Triyanto *et al*. 2013). Pengemasan merupakan salah satu proses dalam industri yang memegang peranan penting dalam upaya mencegah terjadinya penurunan mutu produk. Pengemasan harus dilakukan dengan benar, karena pengemasan yang salah dapat mengakibatkan produk menjadi tidak memenuhi syarat mutunya (Buckle *et al*. 1987). Kemasan yang ideal adalah apabila secara kimia inert total, dan memungkinkan bahan makanan mempertahankan karakteristik aslinya namun pada kenyataannya jarang sekali bahan pengemas yang benar-benar inert. Beberapa reaksi tidak dapat dihindari atau dicegah tergantung pada sifat bahan pengemas dan tipe makanan yang diawetkan (Agus, 2004).

Menurut Syarief dan Irawati (1988), kemasan berfungsi sebagai wadah untuk menempatkan produk dan memberi bentuk sehingga memudahkan dalam penyimpanan pengangkutan, dan distribusi; memberi perlindungan terhadap mutu produk dari kontaminasi luar dan kerusakan; dan menambah daya tarik produk. Pengemasan dapat mempengaruhi mutu dari produk seperti perubahan fisik dan kimia dikarenakan adanya migrasi zat-zat kimia dari bahan kemasan serta

perubahan aroma, warna dan tekstur yang dipengaruhi oleh uap air dan oksigen. Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam pengemasan bahan pangan adalah sifat bahan kemasan, sifat bahan pangan, dan keadaan lingkungan. Gangguan paling umum terjadi pada bahan pangan adalah kehilangan atau perubahan kadar air, pengaruh gas dan cahaya. Sebagai akibat adanya peningkatan kadar air pada produk, maka akan tumbuh jamur dan bakeri, pengerasan pada produk bubuk dan pelunakan pada produk kering (Syarief dan Irawati, 1988).

Bahan pangan memiliki sifat kepekaan yang berbeda-beda terhadap penyerapan dan pengeluaran gas (udara) dan uap air. Bahan kering harus dilindungi dari penyerapan uap air dan oksigen dengan cara menggunakan bahan pengemas yang mempunyai daya tembus rendah terhadap gas tersebut (Buckle *et al*. 1987). Produk kering terutama yang bersifat hidrofilik harus dilindungi terhadap masuknya uap air. Produk harus dikemas dalam kemasan yang mempunyai permeabilitas air yang rendah untuk mencegah produk yang berkadar gula tinggi merekat atau produk-produk tepung menjadi basah (Syarief *et al*. 1989). Persyaratan kemasan untuk bahan pangan antara lain adalah permeabilitas terhadap udara kecil, tidak menyebabkan penyimpangan warna produk, tidak bereaksi dengan produk sehingga merusak citarasa, tidak mudah teroksidasi atau bocor, tahan panas, mudah diperoleh dan harganya yang murah (Winarno dan Jennie, 1983). Kemasan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kemasan *biodegredable ecopack*. Pemilihan kemasan ini didasarkan pada sifat bahan yang ramah lingkungan karena mudah terurai. Hal ini juga berperan untuk mengurangi limbah plastik yang berbahaya. Gula semut dalam kemasan dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2. Gula semut dalam kemasan (Praditya, 2018)

2.5. Kemasan *Biodegradable*

Secara umum kemasan plastik *biodegradable* diartikan sebagai film kemasan yang dapat dihancurkan secara alami. Menurut Griffin (1994), plastik *biodegradable* adalah suatu bahan dalam kondisi tertentu, waktu tertentu mengalami perubahan dalam struktur kimianya, yang mempengaruhi sifat-sifat yang dimilikinya oleh pengaruh mikroorganisme (bakteri, jamur, algae). Sedangkan Seal (1994) menyatakan kemasan plastik *biodegradable* adalah suatu material polimer yang berubah kedalam senyawa berat molekul rendah dimana paling sedikit satu tahap pada proses degradasinya melalui metabolisme organisme secara alami. Menurut Pranamuda (2001), plastik *biodegradable* adalah plastik yang dapat digunakan layaknya seperti plastik konvensional, namun akan hancur terurai oleh aktivitas mikroorganisme menjadi hasil akhir air dan gas karbondioksida setelah habis terpakai dan dibuang ke lingkungan. Plastik *biodegradable* merupakan bahan plastik yang ramah terhadap lingkungan karena sifatnya yang dapat kembali ke alam.

Pada dasarnya film kemasan mensyaratkan sifat-sifat fleksibel, dapat dicetak, tidak berbau, mampu menghambat keluar masuknya gas dan uap air, serta transparan. Di samping bersifat dapat dihancurkan secara alami maupun mikrobiologis, bahan bioplastik sebaiknya mudah diperoleh dengan siklus waktu penyediaan yang singkat (Paramawati, 2007). Bahan pertanian yang mempunyai potensi untuk pembuatan film kemasan ramah lingkungan antara lain adalah polisakarida. Dengan mempertimbangkan segi kebutuhan komparatif, polisakarida dari hasil pertanian bernilai lebih murah karena tersedia melimpah. Oleh karena itu, Indonesia dapat menjajaki kelayakan teknisnya sebagai bahan bioplastik. Beberapa penelitian terhadap polisakarida jenis pati sebagai bahan bioplastik telah dilakukan dengan menggunakan gandum (Bhatnagar dan Hanna 1995), biji kapas (Marquie *et al*. 1995), beras dan kacang polong (Mehyar dan Han, 2004), dan beberapa pati tropis (Pranamuda, 2001).

Berdasarkan sumber atau cara memperolehnya, Tharanathan (2003) mengklasifikasikan biopolimer sebagai bahan baku bio-kemasan menjadi tiga kelompok. Kelompok pertama yaitu biopolimer yang berasal dari sumber hewan yaitu collagen gelatin, kelompok kedua adalah biopolimer yang berasal dari limbah industri pengolahan ikan yaitu chitin/chitosan, kelompok ketiga berasal dari pertanian yaitu diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu lemak dan hydrocelloid. Berdasarkan bahan baku yang digunakan plastik *biodegradable* dikelompokkan menjadi dua, yaitu kelompok dengan bahan baku petrokimia (*nonrenewable resources*) dengan bahan aditif dari senyawa bio-aktif yang bersifat biodegradable dan kelompok kedua dari semua bahan bakunya berasal dari sumber daya alam terbarukan (*renewable resources*), seperti dari bahan tanaman pati dan selulosa serta hewan seperti cangkang atau mikroorganisme yang dimanfaatkan untuk mengakumulasi plastik yang berasal dari sumber tertentu misalnya lumpur aktif dan limbah cair yang kaya akan bahan-bahan organik sebagai sumber makanan bagi mikroorganisme tersebut (Adam *et al*. 2009).

2.6. Penyimpanan dan Penggudangan

Warehouse (gudang) dapat digambarkan sebagai bagian dari suatu sistem logistik sebuah perusahaan yang berfungsi untuk menyimpan produk dan menyediakan informasi mengenai status serta kondisi material/persediaan yang disimpan di gudang, sehingga informasi tersebut selalu *up-to-date* dan mudah diakses oleh siapa pun yang berkepentingan (Zaroni, 2015). *Warehaouse* penyimpanan gula semut dapat dilihat pada Gambar 3. Menurut Hadiguna dan Setiawan (2008), gudang merupakan salah satu area yang memfasilitasi proses dan aktivitas pengelolaan barang, dengan fungsi utama yaitu :

1. Penerimaan (*receiving*) yaitu menerima material pesanan perusahaan, menjamin kualitas material yang dikirim pemasok, serta mendistribusikan material ke lantai produksi.
2. Persediaan, yaitu menjamin agar permintaan dapat dipenuhi karena tujuan perusahaan adalah memenuhi kebutuhan pelanggan.

3. Penyisihan (*put away*) yaitu menempatkan barang-barang dalam lokasi penyimpanan.
4. Penyimpanan (*storage*) yaitu bentuk fisik barang-barang yang disimpan sebelum ada permintaan.
5. Pengambilan pesanan (*order picking*) yaitu pengambilan barang dari gudang sesuai pesanan dan kebutuhan.
6. Pengepakan (*packaging*), yaitu langkah pengemasan atau langkah pilihan setelah proses pengambilan (*picking*).
7. Penyortiran, yaitu pengambilan batch menjadi pesanan individu dan akumulasi pengambilan yang terdistribusi disebabkan variasi barang yang besar.
8. Pengepakan dan pengiriman, yaitu pemeriksaan dalam kontainer atau moda distribusi hingga pengiriman.

Gambar 3. *Warehaouse* penyimpanan gula semut (Salmiah, 2017)

2.7. Umur Simpan

Masa simpan atau umur masa simpan merupakan kurun waktu ketika suatu produk makanan akan tetap aman, mempertahankan sifat sensori, kimia, fisik, dan mikrobiologi tertentu, serta sesuai dengan keterangan pelabelan data nutrisi, ketika disimpan pada kondisi tertentu. Umur simpan merupakan waktu yang diperlukan oleh produk pangan, dalam suatu kondisi penyimpanan, untuk sampai pada suatu level atau tingkatan degradasi mutu tertentu (Floros dan Gnanasekharan, 1993). Umur simpan produk pangan adalah selang waktu produksi dan waktu konsumsi dimana produk berada dalam kondisi yang memuaskan pada sifat-sifat penampakan, rasa, aroma, tekstur dan nilai gizi

(Arpah dan Syarif, 2000). Dewi (2017) menyatakan bahwa faktor-faktor penyebab kadaluarsa yaitu berupa kerusakan mikrobiologis, kerusakan mekanis, kerusakan fisik, kerusakan biologis dan kerusakan kimia.

Petersen *et al*. (1999), menyatakan bahwa umur simpan suatu produk dipengaruhi oleh karakteristik produk, sifat produk, kondisi penyimpanan, dan distribusi produk yang dikemas. Menurut Syalfina (2007), faktor yang mempengaruhi umur simpan permen jahe adalah jenis kemasan, kondisi kelembaban ruang penyimpanan, kadar air awal dan kadar air kritis produk pangan, bobot padatan per kemasan, dan luas kemasan. Parsetiorini (2011) menyebutkan bahwa perhitungan umur simpan dipengaruhi oleh karakteristik awal produk (kadar air awal, kadar air kesetimbangan dan aktifitas air), kondisi penyimpanan (suhu dan kelembaban relatif), dan kemasan (permeabilitas kemasan dan luas permukaan kemasan). Semakin rendah kelembaban relatif (RH) dan semakin kecil permeabilitas kemasan, kenaikan kadar air lada putih akibat transfer uap air dari lingkungan ke bahan juga semakin lama sehingga umur simpannya lebih lama (Fembrianto, 2004). Penentuan air kritis dilakukan dengan pengamatan secara organoleptic, air kritis dicapai ketika produk mulai menggumpal. Sementara Kusnandar *et al.* (2010) bahwa kadar air kritis dicapai pada kondisi ketika produk pangan mulai tidak diterima oleh konsumen secara organoleptik.

2.8. Penentuan Umur Simpan

Pendugaan umur simpan suatu produk sangat penting diketahui sebelum produk dipasarkan atau digunakan, tujuannya agar konsumen merasa yakin dan aman kapan produk layak dikonsumsi atau digunakan. Salah satu jaminan keamanan pangan bagi konsumen adalah informasi mengenai umur simpan atau masa kadaluwarsa produk. Umur simpan merupakan waktu yang diperlukan oleh produk pangan dalam kondisi penyimpanan tertentu untuk dapat mencapai tingkataan degradasi mutu tertentu. Menutut Herawati (2008), penentuan umur simpan dapat dilakukan dengan cara konvensional yaitu *Extended Storage Studie*s

(ESS) atau dengan menggunakan percepatan dengan metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT).

Metode ESS atau metoda konvensional, adalah penentuan tanggal kadaluwarsa dengan jalan menyimpan suatu seri produk pada kondisi normal sehari-hari sambil dilakukan pengamatan terhadap penurunan mutunya sampai mencapai tingkat mutu kadaluwarsa. Metode ini akurat dan tepat, namun metoda ini dianggap memerlukan waktu panjang dan analisa parameter mutu yang relatif banyak (Floros, 1993). Sedangkan penentuan umur simpan produk dengan metode ASLT dilakukan dengan menggunakan parameter kondisi lingkungan yang dapat mempercepat proses penurunan mutu (*usable quality*) produk pangan. Metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) atau metoda akselerasi yaitu kondisi penyimpanan diatur di luar kondisi normal sehingga produk dapat lebih cepat rusak dan penentuan umur simpan dapat ditentukan (Herawati, 2005). Kelebihan metode ASLT dibandingkan ESS adalah waktu pengujian yang relatif singkat, namun tetap memiliki ketepatan dan akurasi tinggi.

Menurut Syarief dan Santausa (1989), penentuan umur simpan produk dengan metode akselerasi dapat dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu 1) pendekatan kadar air kritis dengan teori difusi dengan menggunakan perubahan kadar air dan aktivitas air sebagai kriteria kadar air sebagai kriteria kadaluwarsa, dan 2) pendekatan semiempiris dengan bantuan persamaan Arrhenius. Persamaan Arhenius yaitu dengan teori kinetika yang pada umumnya menggunakan ordo nol atau ordo satu untuk produk pangan. Model persamaan matematika pada pendekatan kadar air diturunkan dari Hukum Difusi Fick Undireksional. Terdapat empat model matematika yang sering digunakan, yaitu model Hess dan Eichner (1971), model Rudolf (1986), model Labuza (1982) dan model paruh waktu (Herawati, 2005).

Model Arrhenius umumnya digunakan untuk melakukan pendugaan umur simpan produk pangan yang sensitif oleh perubahan suhu, diantaranya produk pangan yang mudah mengalami ketengikan (oksidasi lemak), perubahan warna oleh

reaksi pencoklatan, atau kerusakan vitamin C. Di antara produk pangan yang dapat ditentukan umur simpannya dengan model ini adalah makanan kaleng komersial, susu UHT, susu bubuk formula, produk *chip/snack*, jus buah, mie instan, *frozen meat/shrimp/fish*, saus sambal/tomat, bumbu dan kondimen, selai, pasta, tepung-tepungan, kacang goreng, dan produk pangan lain yang mengandung lemak tinggi (berpotensi terjadi oksidasi lemak) atau gula pereduksi dan protein (berpotensi terjadi reaksi pencoklatan) (Santoso, 2016). Pada prinsipnya metode Arhenius dilakukan dengan menyimpan produk pangan pada suhu ektrim, dimana kerusakan produk pangan terjadi lebih cepat, kemudian umur simpan ditentukan berdasarkan ekstrapolasi ke suhu penyimpanan. Oleh karena itu, umur simpan yang diperoleh bersifat 'pendugaan' yang validitasnya sangat ditentukan oleh model matematika yang diperoleh dari hasil percobaan.

Untuk produk pangan yang relatif mudah rusak akibat penyerapan kadar air dari lingkungan, penentuan umur simpan berdasarkan pada metode kadar air kritis. Dalam metode kadar air kritis tersebut, kerusakan didasarkan semata-mata pada kerusakan produk akibat menyerap air dari luar hingga mencapai batas yang tidak dapat diterima secara organoleptik (Effendi, 2004). Kadar air pada kondisi dimana produk pangan sudah tidak dapat diterima secara organoleptik disebut kadar air kritis. Batas penerimaan tersebut didasarkan pada standar mutu organoleptik yang akan spesifik untuk setiap jenis produk. Waktu yang diperlukan oleh produk untuk mencapai kadar air kritis menyatakan umur simpan produk. Produk pangan yang dapat ditentukan umur simpannya dengan metode ini antaralain biskuit, wafer, produk konfeksionari, makanan ringan (*snack*, *chips*), dan produk instan (*powder*) (Kusnandar, 2008). Oleh karena itu pada penelitian ini menggunakan metode ASLT model kadar air kritis.

Model kadar air kritis atau persamaan Labuza (1982) merupakan permodelan berdasarkan perubahan fisik, yaitu untuk produk pangan yang sensitif terhadap perubahan kadar air. Model persamaan Labuza mengkorelasikan total jumlah penetrasi uap air (q) dengan berat produk, yaitu:

$$\frac{dWH_2O}{dt} = \frac{k}{x}(Pout - Pin)A$$

dimana:

dWH_2O = jumlah air yang bertambah atau berkurang per hari (gram)

k/x = permeabilitas kemasan (g H_2O/ hari.m^2.mmHg)

A = luas permukaan kemasan (m^3)

P_{out} = tekanan uap air di luar kemasan (mmHg) = Po*RH

P_{in} = tekanan uap air di dalam kemasan (mmHg) = Po*Aw

Dalam model ini, terdapat dua pendekatan yang digunakan. Pendekatan yang pertama adalah pendekatan kurva sorpsi Isotermis. Penentuan umur simpan dengan pendekatan ini memperhitungkan pengaruh: 1) perbedaan kadar air awal dan kadar air kritis, semakin besar perbedan antara kadar air awal, maka umur simpan akan semakin lama, 2) perbedaan tekanan udara di luar dan dalam kemasan, semakin besar perbedaannya, maka perpindahan uap air semakin lambat dan umur simpan lebih panjang, 3) permeabilitas kemasan, semakin besar permeabilitas kemasan, maka uap air akan semakin mudah bermigrasi, sehingga umur simpan menjadi lebih pendek, dan 4) luasan kemasan yang digunakan, semakin besar luasan kemasan, maka uap air yang masuk akan tersebar dan memperlambat tercapainya kadar air kritis, sehingga umur simpan menjadi semakin panjang. Dengan demikian umur simpan berdasarkan laju perubahan kadar air dapat ditentukan dengan persamaan Labuza (1982), yaitu:

$$t = \frac{\ln\left(\frac{Me-Mi}{Me-Mc}\right)}{\left(\frac{k}{x}\right)\left(\frac{A}{Ws}\right)\left(\frac{Po}{b}\right)}$$

Dimana:

t = waktu untuk mencapai kadar air kritis atau umur simpan (hari)

Me = kadar air kesetimbangan pada suhu dan RH tertentu (%bk)

Mi = kadar air awal produk di awal penyimpanan (%bk)

Mc = kadar air kritis pada suhu tertentu (%bk)

k/x = WVTR/Po = permeabilitas kemasan (g/m^2/hari/mmHg)

WVTR adalah water vapor transmission rate (g/m^2/hari) pada suhu dan RH tertentu (%)

A = luas kemasan yang dihitung berdasaarkan dimensi kemasan yang digunakan (m^2)

Ws = berat padatan produk awal (gram)

Po = tekanan uap air jenuh (mmHg)

b = *slope* kurva isotermis

Parameter-parameter persamaan Labuza (1986) di atas dapat dikelompokkan ke dalam tiga unsur, yaitu: unsur sifat fisik produk (Me, Mi, Mc, Ws, dan b), unsur pengemas (k/x, A) dan lingkungan luar atau dalam pengemas (RH penyimpanan dan b). Untuk produk pangan yang memiliki kelarutan yang tinggi, seperti produk yang mengandung sukrosa yang tinggi, maka sulit dicapai kadar air kesetimbangan dan kurva sorpsi isotermis tidak dapat diasumsikan linear, karena pada RH tertentu kadar airnya akan semakin meningkat (tidak tercapai kondisi kesetimbangan). Dengan demikian, persamaan Labuza di atas tidak dapat diterapkan karena tidak dapat diperoleh nilai kadar air kesetimbangan (Mc) dan *slope* kurva linear sorpsi isotermis (b). untuk produk yang memiliki kelarutan tinggi seperti ini, Labuza telah memodifikasi persamaan di atas sebagai berikut:

$$t = \frac{(Mc - Mo)Ws}{\left(\frac{k}{x}\right)(A)(\Delta P)}$$

Dimana:

t = waktu untuk mencapai kadar air kritis atau umur simpan (hari)

Mc = kadar air kritis pada suhu dan RH tertentu (%bk)

Mo = kadar air awal produk di awal penyimpanan (%bk)

Mc-Mo= selisih antara kadar air kritis dengan kadar air awal (%bk)

k/x = WVTR/Po= permeabilitas kemasan (g/m^2/hari/mmHg)

A = luas kemasan yang dihitung berdasarkan dimensi kemasan yang digunakan (m^2)

Ws = berat padatan produk awal (gram)

ΔP = selisih tekanan uap air jenuh (mmHg)

Dalam persamaan tersebut, tekanan udara luar bergantung pada suhu dan kelembaban relatif penyimpanan. Adanya perbedaan tekanan udara luar (P*out*) dan tekanan udara dalam kemasan (P*in*) akan menyebabkan mobilisasi uap air. Jika P*out* > P*in*, maka terjadi migrasi uap air ke dalam kemasan, dan sebaliknya jika P*out* < P*in*, maka terjadi perpindahan uap air dari dalam kemasan. Bila migrasi tersebut telah mencapai batas kritisnya, maka produk dinyatakan telah mencapai batas umur simpannya (Kusnandar, 2008).

III. BAHAN DAN METODE

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Analisis Hasil Pertanian di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada bulan Januari sampai dengan Februari 2021.

3.2. Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian adalah gula semut yang diperoleh dari salah satu pengusaha gula semut di Desa Baradatu, Way Kanan, kemasan *biodegradable ecopack*, aquades, silika gel dan garam jenuh yaitu $NaNO_2$, NaCl, KCl, dan K_2SO_4. Sedangkan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengukur masa simpan gula semut yaitu toples kaca dengan volume 500 ml untuk *Humidity Chamber*, timbangan digital, dan *hygrometer*. Peralatan yang digunakan untuk analisis kimia adalah cawan porselen, oven, cawan alumunium, desikator, dan spatula.

3.3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan Metode *Accelerated Shelf Life Test*, Model Pendekatan Sorpsi Isotermis dengan kemasan *biodegradable ecopack* pada suhu penyimpanan suhu ruang (30^oC) dan RH penyimpanan 62%, 75%, 83% dan 95%. Data hasil penelitian dianalisis menggunakan Microsoft Excell 2010 untuk menganalisis perhitungan kadar air, penentuan *slope* kurva sorpsi isotermis, dan pendugaan umur simpannya.

3.4. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini terdiri dari tahap karakterisasi mutu produk awal, penentuan kadar air kritis, pembuatan larutan garam jenuh, pengukuran kadar air kesetimbangan, pembuatan kurva sorpsi isotermis, penentuan permeabilitas kemasan, dan perhitungan umur simpan gula semut.

3.4.1. Karakterisasi Mutu Produk Awal

Karakterisasi mutu terhadap produk gula semut ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui keadaan awal produk gula semut sebelum dilakukan penyimpanan serta untuk mengetahui perbedaan mutu produk gula semut dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Karakterisasi yang dilakukan yaitu pengukuran kadar air menurut AOAC (2005).

3.4.2. Penentuan Kadar Air Kritis

Kadar air kritis adalah kadar air dimana secara organoleptik sudah tidak dapat diterima oleh konsumen (Syarief dan Halid, 1993). Penentuan kadar air kritis diawali dengan menyimpan gula semut di suhu ruang selama 48 jam. Setiap 12 jam dilakukan pengambilan sampel untuk dianalisis kadar air dan diamati tekstur dan penampakan keseluruhan dari produk. Kadar air kritis ditetapkan pada saat produk tidak lagi disukai sebagai batas penerimaan terhadap kenampakan produk. Kemudian sampel tersebut dianalisis kadar air dengan metode AOAC (2005). Kuisioner uji hedonik gula semut dapat dilihat dalam Gambar 4 berikut .

Kuisioner Hedonik

Nama : …….. Tanggal pengujian : …....… Produk : gula semut

Dihadapan Anda disajikan sampel gula semut aren. Anda diminta untuk mengevaluasi sampel tersebut berdasarkan kesukaan Anda. Berikan penilaian Anda dengan cara menuliskan skor di bawah kode sampel pada tabel penilaian berikut:

Parameter	Kode Sampel		
	121	250	371
Tekstur	…..	…..	…..
Penampakan keseluruhan	…..	…..	…..

Keterangan skor uji hedonik untuk tekstur dan penerimaan keseluruhan gula semut adalah sebagai berikut :

Sangat Suka	: 5	Suka	: 4
Agak Suka	: 3	Tidak Suka	: 2
Sangat Tidak Suka	: 1		

Gambar 4. Kuesioner uji hedonik gula semut

3.4.3. Pembuatan Larutan Garam Jenuh dan Penentuan RH Ruangan

Perlakuan kelembaban relatif diatur sesuai dengan jenis garam jenuh yang digunakan. Masing-masing garam memiliki tingkat kelarutan yang berbeda terhadap air. Garam jenuh dilarutkan ke dalam air sesuai dengan perlakuan, kemudian larutan jenuh ditempatkan dalam toples kaca dan didiamkan selama 24 jam. RH pada tiap toples diukur menggunakan *hygrometer* untuk memastikan tetap sesuai perlakuan. Larutan garam jenuh dalam toples kaca yang tertutup rapat dapat mempertahankan kelembaban relatif tertentu dalam keadaan konstan (Fennema, 1985).

Tabel 2. Preparasi larutan jenuh untuk penetapan kurva sorpsi isothermis

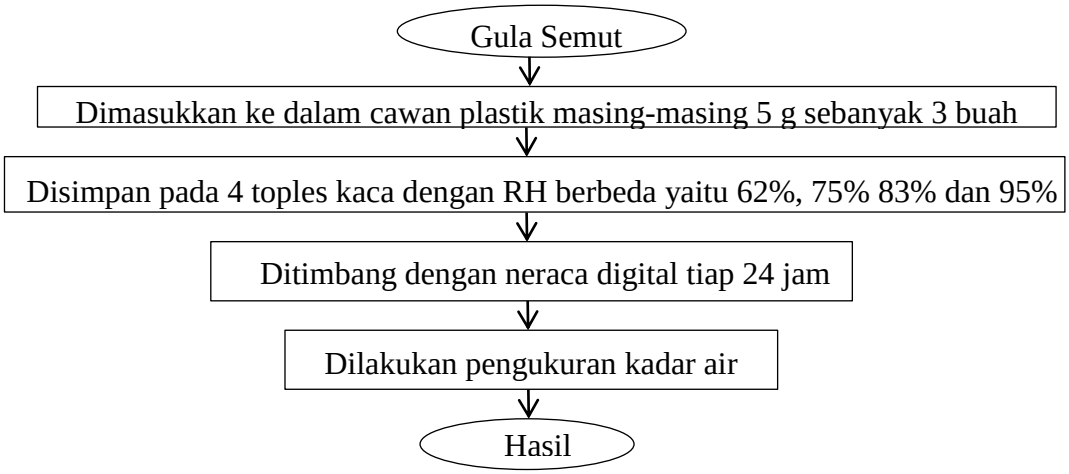
No	Jenis garam	RH (%)	Kuantitas	
			Garam (gram)	Air (ml)
1	$NaNO_2$	62	200	80
2	NaCl	75	200	60
3	KCl	83	200	80
4	K_2SO_4	95	250	70

Sumber: Widowati *et al*. (2010)

3.4.4. Tahap Penentuan Kurva Sorpsi Isotermis

Penentuan kurva sorpsi pada penelitian ini menggunakan larutan garam lewat jenuh untuk membuat RH tertentu. Empat jenis larutan garam lewat jenuh yang digunakan pada penelitian ini yaitu $NaNO_2$, NaCl, KCl, dan K_2SO_4 yang telah mencapai kelembaban relatif setimbang (ERH) masing-masing sebesar 62%, 75%, 83%, dan 95%. Empat buah toples kaca (*glass jar*) digunakan sebagai wadah untuk masing-masing larutan garam lewat jenuh. Masing-masing toples tersebut dilengkapi dengan plat berlubang dan berkaki yang digunakan sebagai alas pemisah antara larutan garam lewat jenuh dan sampel penelitian.

Penentuan kadar air kessetimbangan diawali dengan dimasukkannya 5 gram gula semut ke dalam wadah yang telah diketahui beratnya kemudian dimasukkan ke dalam masing-masing toples yang telah berisi garam lewat jenuh dan disimpan dalam suhu ruang (30° C). Pengukuran berat dilakukan setiap 24 jam dengan menggunakan neraca analitik. Pengukuran berat dihentikan apabila perubahan berat sampel kurang dari 0,001 gram. Hal ini berarti sampel sudah mencapai kadar air kesetimbangan (EMC= *equilibrium moisture content*). Kadar air ditentukan dengan metode oven (AOAC, 2005). Kurva sorpsi isotermis dibuat dengan cara memplotkan kadar air kesetimbangan dengan nilai aktivitas air (a_w). Diagram Alir penentuan kurva sorpsi isotermis Gula semut dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Diagram Air Penentuan Kurva Sorpsi Isotermis Gula Semut

3.4.5. Analisis Kadar Air

Analisis kadar air menggunakan metode Gravimetri AOAC No. 945.38 (AOAC, 2005). Prinsipnya adalah menguapkan molekul air (H_2O) yang ada dalam sampel, kemudian sampel ditimbang sampai didapat bobot konstan yang diasumsikan semua air yang terkandung dalam sampel sudah diuapkan. Selisih bobot sebelum dan sesudah pengeringan merupakan banyaknya air yang diuapkan. Prosedur analisis kadar air adalah cawan yang akan digunakan dioven terlebih dahulu selama 30 menit pada suhu 100-105ºC, kemudian dimasukkan ke dalam desikator untuk mempertahankan kelembaban dan ditimbang (A), sampel ditimbang sebanyak 2 g dalam cawan yang sudah dikeringkan (B), kemudian dioven pada suhu 100-105ºC selama 6 jam lalu didinginkan dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang (C). Tahap ini diulangi hingga dicapai bobot yang konstan. Perhitungan kadar air dilakukan dengan menggunakan rumus:

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

$$\text{Kadar Air db (Y)} = \frac{X}{1-X}$$

Keterangan:

A = berat cawan kosong (g)
B = berat cawan + sampel sebelum dioven (g)
C = berat cawan +sampel setelah dioven (g)
Y = KA dry basis (g air/g bahan)
X = KA wet basis (g air/g bahan)

3.4.6. Penentuan Permeabilitas Kemasan

Pengujian dilakukan dengan cara memotong kemasan plastik sesuai mulut wadah yang digunakan. Kemudian dihitung luas permukaan mulut wadah. Desikan (silika gel) dimasukkan secukupnya ke dalam tiap wadah. Kemasan plastic diletakkan di mulut wadah dan direkatkan dengan lem silikon dan seal dengan rapat. Kemudian wadah diletakkan ke dalam chamber tertutup yang telah berisi

larutan garam jenuh (75%). Wadah ditimbang setiap 24 jam selama satu minggu dan ditentukan pertambahan berat dari tiap cawan. Selanjutnya dibuat grafik hubungan antara pertambahan berat (g) dan waktu (hari). Laju permeabillitas uap air dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$\mathrm{WVTR} = \frac{\mathrm{Mv}}{\mathrm{t} \times \mathrm{A}}$$

Keterangan :

WVTR= Laju transmisi uap air (gram/m^2.hari)

Mv = Penambahan/pengurangan massa silica gel (gram)

t = Periode penimbangan (hari)

A = Luas film edibel yang diuji (m^2)

Permeabiitas kemasan dapat ditentukan dengan membagi laju transmisi dengan tekanan uap jenuh yang dikalikan dengan selisih RH luar dan RH dalam kemasan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\mathrm{k/x} = \frac{\mathrm{WVTR}}{\mathrm{P0(RH1 - RH2)}}$$

Keterangan :

WVTR= Laju transmisi uap air (gram/m^2.hari)

k/x = Permeabilitas kemasan (gram/m^2.hari.mmHg.)

P0 = Tekanan Jenuh uap air pada suhu yang bersangkutan (mmHg)

RH1 = Kelembaban relative bagian dalam cawan (%)

RH2 = Kelembaban relatif bagian luar cawan (%)

3.4.7. Perhitungan Masa Simpan Gula Semut

Pendugaan umur simpan produk gula semut dilakukan berdasarkan pendekatan kadar air kritis dengan dua metode pendekatan, yaitu pendekatan kurva sorpsi isotermis dan pendekatan kadar air kritis termodifikasi. Umur simpan

berdasarkan pendekatan kurva sorpsi isotermis dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Labuza:

$$\theta = \frac{\ln(Me - Mo)/(Me - Mc)}{\frac{k}{x}(\frac{A}{Ws})(\frac{Po}{b})}$$

Keterangan :

θ = Waktu perkiraan umur simpan (hari = 24 jam)

Me = Kadar air keseimbangan produk (g H_2O/g padatan)

Mo = Kadar air awal produk (g H_2O/g padatan)

k/x = Konstanta permeabilitas uap air kemasan (g/m^2 .hari.mmHg)

A = Luas permukaan kemasan (m^2)

Ws = Berat kering produk dalam kemasan (g padatan)

Po = Tekanan uap jenuh (mmHg)

B = Slope kurva sorpsi isotermis

Mc = Kadar air kritis (g H_2O/g padatan)

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa umur simpan produk gula semut yang menggunakan kemasan *biodegradable* plastik *ecopack* pada RH 62% umur simpan gula semut yaitu 487 hari (16,2 bulan), pada RH 75% umur simpan gula semut yaitu 286 hari (9,5 bulan), pada kondisi RH 83% gula semut memiliki umur simpan yaitu 182 hari (6 bulan), dan pada RH 95% gula semut memiliki umur simpan yaitu 151 hari (5 bulan).

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disarankan bahwa perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perbandingan penggunaan kemasan *biodegradable* lainnya sehingga didapatkan kemasan yang tepat untuk digunakan pada produk gula semut.

DAFTAR PUSTAKA

Agus, H. 2004. *Aplikasi Metode Arrhenius dalam Pendugaan Umur Simpan Lada Hijau Kering (Dehydrated Green Pepper*). (Skripsi). Institut Pertanian Bogor. Bogor. Hlm 112.

AOAC. No. 945.38. 2005. *Official Methods of Analysis of The Association of Official Analytical Chemist*. Arlington (US): AOAC Inc.

Arpah. 2001. *Penentuan Kadaluwarsa Produk Pangan. Program Studi Ilmu Pangan.* Institut Pertanian Bogor, Bogor. Hlm: 86-88.

Buckle, K.A., R.A. Edwards, G.H. Fleet, and M. Wotton. 1987. *Ilmu Pangan*. Diterjemahkan oleh Hari Purnomo dan Adiono. UI-Press. Jakarta. Hlm:114.

Chung, W., Debnath S, Hemavanthy J, Bhat KK 2000. *Moisture sorption studies on onion powder.* Journal Food Chemistry. 78: 479-482.

Dewi, L. D. 2017. *Faktor-Faktor Penyebab dan Karakteristik Makanan Kadaluarsa Yang Berdampak Buruk Pada Kesehatan Masyarakat*. Apikes Citra Medika Surakarta. Surakarta, Hlm. 19-24.

Effendi, H. 2004. *Analisis Sensori untuk Industri Pangan dan Agro*. Bharata Karya Aksara. Jakarta. .

Evalia P. 2015. *Pengemasan Pangan*. IPB Press. Bogor.

Fahrizal, Nggandung, Y., & Kartiwan. 2017. *Optimasi Produksi Gula Cetak dan Gula semut Lontar Terintegrasi Dengan Metode Linear Programming*. Seminar Nasional Hasil Penelitian (SNHP)-Vii Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas PGRI Semarang: 505 – 510.

Fennema O.R.1985. *Food Chemistry*. Marcell Dekker Inc. New York.

Fitria, A. 2007. *Penuntun Praktikum Kimia dan Biokimia Pangan*. Bogor: Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan Institut Pertanian Bogor.

Floros, J.D., V. Gnanasekharan, V. 1993. *Shelf Life Prediction of Packaged Foods.* Chemical, Biological, Physical and Nutrisional Aspects, (G.Charalambous, ed).lsevier Publ. London.

Ghorab,. Jackson,. Seal. 2014. *Perubahan Mutu (Fisik, Kimia dan Mikrobiologi) Produk Pangan selama Pengolahan dan Penyimpanan*. Dalam: Modul Pelatihan Pendugaan dan Pengendalian Masa Kadaluarsa (*Shelf Life*) Bahan dan Produk Pangan. Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Seafast Center. IPB. Bogor.

Griffin, A. 1994. *The Methodology of Shelf Life Determination*. *In* : *Shelf Life Evaluation of Foods*. Blackie Academic and Professional Inc. London

Hadi, P.2013. *keterkaitan suhu dan kelembaban udara ruang Penyimpanan terhadap kadar air jagung pada Bangunan penyimpanan (studi kasus pada gudang K.u.d. Di desa pringgasela kecamatan Pringgasela).* Fakultas teknologi pangan dan agroindustry Universitas mataram

Herawaty, H. 2008. *Penentuan Umur Simpan pada Produk Pangan*. Jurnal Litbang Pertanian. 27(4):124-130. (Hutasoit, 2009).

Hutasoit, N. 2009. *Penentuan Umur Simpan Fish Snack (Produk Ekstrusi) Menggunakan Metode Akselerasi Dengan Pendekatan Kadar Air Kritis Dan Metode Konvensional*. Skripsi. Teknologi Hasil Perairan. IPB. Bogor.

Institute of Food Science and Technology. 1974. *Shelf life of food*. J. Food Sci. 39: 861-865.

Jensen dan Risbo. 2007. *Umur Simpan Minuman Serbuk Berserat dari Tepung Porang (Amorpophallus oncophillus) dan Karagenan melalui Pendekatan Kadar Air Kritis*. Jurnal Pangan dan Agroindustri. 3(2):650-660.

Joseph, H. 1996. *Eliminating caking problems: test methods provide guidance on storage methods*. Chemical Processing. Dalam: Chemical Processing: 71-75.

JTEP (Jurnal Keteknikan Pertanian). 2018. Departemen Teknik Mesin dan Biosistem. FATETA. Institut Pertanian Bogor.

Kristianingrum. 2009. *Analisis Nutrisi Dalam Gula Semut*. Jurusan Pendidikan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negri Yogyakarta.

Kurniawan H. 2018. *Model Matematik Perubahan Kadar Air untuk Memprediksi Umur Simpan Gula semut dalam Kemasan* [Tesis]. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada

Kusnandar, F. 2004. *Aplikasi Program Komputer sebagai Alat Bantu Penentuan Umur Simpan Produk Pangan Metode Arrhenius*. Dalam: Modul VI Pendugaan Waktu Kadaluarsa (Shelf Life) Bahan dan Produk Pangan. IPB. Bogor. 14 hlm.

Labuza, T.P. 1982. *Open Shelf Life Dating of Foods*. Food and Nutrition Press. Inc. Westport. Connecticut.Lembaga Manajemen Pergudangan (2008)

Mashud, A. 2017. *Produksi industri Indonesia gula semut*. Departemen Perindustrian, Jakarta.

Meyers, F.E. and Stephens, M.P. (2000). *Manufacturing Facilities Design and. Material Handling*, 2nd Ed, Prentice Hall, Inc., New Jersey.

Mukhlis, Abdul (2018). *Pendugaan Umur Simpan Gula Kelapa Kristal Dengan Metode Akselerasi Berdasarkan Pendekatan Kadar Air Kritis*. Prosiding Seminar Nasional dan Call for Papers. Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto.

Mustaufik dan P. Haryanti. 2006. *Evaluasi Mutu Gula Kelapa Kristal yang Dibuat dari Bahan Baku Nira dan Gula Kelapa Cetak*. Laporan Penelitian. Peneliti Muda Dikti Jakarta. Jurusan Teknologi Pertanian Unsoed. Purwokerto.

Ningtyas. 2019. *Analisis Komporatif Usaha Pembuatan Gula Merah dan Gula Semut Di Kabupaten Kulon Progo*. Jurnal Penelitian Program Studi Agribisnis Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Paramawati, B. 2007. *Pengaruh Waktu Simpan Film Plastik Biodegradasi dari Pati Kulit Singkong terhadap Sifat Mekanikalnya*. Jurnal Teknik Kimia, 2(2) : 11-15.

Pontoh, J. 2014. Perbai*kan Proses Pembuatan Gula Merah Aren di Pabrik Gula Aren Masarang Tomohon*. Jurnal MIPA Unsrat. 3(2):68-73.

Pranamuda, A. 2001. *Pengantar Statistika, Edisi ketiga*, Terjemahan Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Rahayu D, Apriyantono A, Puspitasari M. 2010. *Analisis Sensori untuk Industri Pangan dan Agro*. Jakarta: Bharata Karya Aksara.

Robertson Gl 2010. *Food Packaging and shelf life*: A Pratical Guide. Boca Raton, Florida: CRC Press.

Rohaman M, Fasya F, dan Suharto. 2002. *Pengaruh Suhu, Kelembaban Relatif dan Jenis Pengemas terhadap Mutu dan Umur Simpan Gula semut*. Journal Agro-Based Industry. 19(1-2): 12-18

Santoso, W. 2016. *Ilmu Pengetahuan Bahan Pangan*. Alfabetha: Bandung.Observasi lapangan.

Sardjono, E.A. Basrah, dan O. Sukardi. 1985. *Penelitian dan Pengembangan Diversifikasi Produk dan Pengepakan Gula Merah Cetak*. Bogor.

Seal, A. 1994. *Water Activity and Sorption Properties of Foods*. In S Sahin and G Sumnu (Eds), Physical Properties offoods. 193- 226. Springer Science Business Media, New York.

Sokhansanj, A., Spiess WEL, Wolf W. 1995. *Critical Evaluationof Methods to DetermineMoisture Sorption Isotherm*. Dalam:Water Activity: Theory andApplication to Food.New York: Marcell Dekker, Inc.

Subramaniam, P.J., Tyler, R., 2016. *The Stability and Shelf Life Of Confectionery Products*. Leatherhead Food Research Association Research Report No. 929.

Sudarmadji S., B. Haryono, dan Suhardi. 1996. *Prosedur Analisis untuk Bahan Makanan dan Pertanian.* Liberty, Yogyakarta.

Suliantari, R. 1988. *Nira aren dan teknik pengendalian produk olahan*. Buletin Palma; (31):116-125.

Syarif, Rizal, dan H. Halid. 1993. *Teknologi Penyimpanan Pangan*. Bogor (ID): Pusat Studi Antar Universitas. Institut Pertanian Bogor Press. Bogor.

Syarief dan irawati 1988. *Teknologi Pengemasan Pangan*. Pusat Antar Universitas, Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Syarief S., B. Haryono, dan Suhardi. 1997. *Prosedur Analisis untuk Bahan Makanan dan Pertanian*. Liberty, Yogyakarta.

Triyanto, E., B.W.H.E. Prasetiyono, dan S. Mukodiningsih. 2013. *Pengaruh Bahan Pengemas dan Lama Simpan terhadap Kualitas Fisik dan Kimia Wafer Pakan komplit Berbasis limbah Agroindustri.* Animal Agriculture Journal. 2(1):400-409.

Widowati S, Herawati H, Santosa BAS, Prasetia HA. 2010. *Pengaruh Isoterm Sorpsi Air Terhadap Stabilitas Beras Ubi.* Intitut Pertanian Bogor. Bogor.

Wijaya, S. 2007. *Pendugaan Umur Simpan Produk Kopi Instan Formula Merk-Z dengan Metode Arrhenius*. (Skripsi). Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Winarno, F.G. 2004. *Kimia Pangan dan Gizi*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

Wuntu A. 2014. *Perbaikan Proses Pembuatan Gula Merah Aren di Pabrik Gula Aren Masarang Tomohon*. Jurnal MIPA Unsrat. 3(2):68-73.

Zuliana M, Fasya F, dan Suharto. 2016. *Pengaruh Suhu, Kelembaban Relatif dan Jenis Pengemas terhadap Mutu dan Umur Simpan Gula Semut*. Journal Agro-Based Industry. 19(1-2): 12-18.