

PEMODELAN SORPSI ISOTERMIS DAN PENDUGAAN UMUR SIMPAN GULA KELAPA KRISTAL DALAM KEMASAN PLASTIK

Modeling of Isothermic Adsorption and Shelf Life Estimation of Crystalline Coconut Sugar in Plastic Packaging

Ropiudin^{1,*}, Kavadya Syska²

¹ Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman

² Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nahdlatul Ulama Purwokerto

* Email: ropiudin@unsoed.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.20884/1.jaber.2023.4.1.8462>

Naskah ini diterima pada 17 Maret 2023; revisi pada 3 April 2023; disetujui untuk dipublikasikan pada 8 April 2023

ABSTRAK

Gula kelapa kristal merupakan produk yang diduga mempunyai umur simpan yang pendek. Kadar air gula kelapa kristal yang tinggi akan memicu terjadinya penggumpalan gula (clumping), hal ini juga akan mengurangi kualitas fisik produk. Sorpsi isotermik air adalah kurva yang menghubungkan data kadar air dengan aktivitas air suatu bahan pada suhu yang sama. Pengetahuan tentang sorpsi isotermik suatu bahan pangan dapat membantu penentuan jenis kemasan yang dibutuhkan dan memprediksi karakteristik kondisi penyimpanan yang sesuai serta masa simpannya. Umur simpan gula kelapa kristal juga sangat dipengaruhi oleh jenis kemasan yang digunakan. Pengemasan yang kurang tepat akan menyebabkan penurunan mutu dari produk pangan tersebut. Penentuan sorpsi isotermik air gula kelapa kristal dengan model GAB (Guggenheim, Anderson, de Boer) menggunakan garam jenuh pada kisaran aw 0,05-0,9 pada suhu 30 °C. Pendugaan umur simpan menggunakan gula kelapa kristal yang telah dikeringkan kemudian dikemas menggunakan kemasan HDPE (high density polyethylene), PP (polypropylene), dan LDPE (low density polyethylene) kemudian disimpan pada suhu 30 °C selama 5 minggu dan dilakukan pengamatan setiap 7 hari sekali. Hasil penelitian didapatkan bahwa nilai kadar air keseimbangan meningkat dengan meningkatnya nilai aw pada suhu konstan. Model GAB merupakan model yang agak tepat dalam menggambarkan karakteristik ISA gula kelapa kristal. Nilai umur simpan gula kelapa kristal selama 5 minggu pada suhu penyimpanan 30 °C yaitu kemasan LDPE 143 hari, kemas PP 528 hari dan kemasan HDPE 310 hari. Dari hasil perhitungan umur simpan menggunakan ASLT dengan pendekatan Arrhenius gula kelapa kristal yang disimpan menggunakan kemasan PP (polypropylene) memiliki umur simpan lebih lama daripada kemasan LDPE (Low Density polyethylene) dan HDPE (High Density Polyethylene).

Kata kunci: sorpsi isotermik, pendugaan umur simpan, gula kelapa kristal, plastik

ABSTRACT

Crystalline coconut sugar is a product that is thought to have a short shelf life. The high water content of crystalline coconut sugar will trigger the occurrence of sugar clumping (clumping), this will also reduce the physical quality of the product. The isothermic sorption of water is a curve that relates the water content data to the water activity of a material at the same temperature. Knowledge of isothermic sorption of a food ingredient can help determine the type of packaging needed and predict the characteristics of suitable storage conditions and shelf life. The shelf life of crystalline coconut sugar is also greatly influenced by the type of packaging used. Improper packaging will cause a decrease in the quality of the food product. Determination of isothermic sorption of Crystal coconut sugar water using the GAB model (Guggenheim, Anderson, de Boer) using saturated salt in the range of aw 0,05-0,9 at 30 °C. Estimation of shelf life uses coconut sugar that has been dried and then packaged using HDPE (high density polyethylene), PP (polypropylene), and LDPE (low density polyethylene) packaging then stored at 30 °C for 5 weeks and

observed every 7 days. The results showed that the value of the equilibrium moisture content increased with increasing the value of a_w at constant temperature. The GAB model is a rather precise model in describing the ISA characteristics of crystal coconut sugar. The shelf life of Crystal coconut sugar for 5 weeks at a storage temperature of 30 °C, namely LDPE packaging 143 days, PP packaging 528 days and HDPE packaging 310 days. From the results of the calculation of shelf life using ASLT with the Arrhenius approach Crystal coconut sugar stored using PP (polypropylene) packaging has a longer shelf life than LDPE (low density polyethylene) and HDPE (High Density Polyethylene) packaging.

Keywords: isothermic sorption, shelf life estimation, crystal coconut sugar, plastic

PENDAHULUAN

Tanaman kelapa merupakan tanaman yang kaya manfaat, mulai dari ujung daun sampai ujung akarnya dapat dimanfaatkan. Keluarga *palmae* seperti kelapa, dikenal sebagai tanaman yang bisa memberikan hasil dari buahnya, dan dapat menghasilkan gula yang terkenal dengan sebutan gula kelapa. Gula merupakan salah satu bahan makanan penduduk Indonesia sebagai salah satu sumber kalori dan sebagai pemberi rasa manis.

Kabupaten Banyumas merupakan daerah sentra tanaman kelapa dan penghasil gula kelapa yang sangat potensial di Jawa Tengah bahkan di Indonesia. Berdasarkan data dari Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Banyumas jumlah tanaman kelapa deres di Kabupaten Banyumas adalah 652.930 pohon dengan luas areal kebun kelapa deres 5.157 ha (Disperindagkop, 2012). Banyaknya produksi gula kelapa di Kabupaten Banyumas disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Produksi Gula Kelapa

Tahun	Luas area kelapa deres (ha)	Total produksi (ton/ha)	Unit usaha
2009	5.156,43	49.167	29.000
2010	5.143,46	57.400	30.206
2011	5.141,27	59.360	30.456
2012	5.157,00	58.754	30.207

Sumber: Disperindagkop Kabupaten Banyumas (2012)

Produk gula kelapa tidak hanya terbatas pada gula kelapa cetak namun sudah berkembang menjadi gula kelapa kristal. Gula kelapa kristal adalah gula berbentuk serbuk yang berbahan dasar nira pohon kelapa. Pemanfaatan gula kelapa kristal sama dengan gula pasir (tebu) yakni dapat digunakan sebagai bumbu masak, pemanis minuman, susu, *soft drink*, dan untuk keperluan pemanis untuk industri makanan. Bahan yang digunakan untuk pembuatan gula kelapa kristal di tingkat *home industry* adalah nira segar. Pembuatan gula kepala kristal relatif mudah dan menggunakan peralatan yang sederhana. Pada prinsipnya proses pembuatan gula kristal hampir sama dengan pembuatan gula cetak, hanya pada tahap akhir terdapat penambahan proses pembuatan serbuk.

Gula kelapa kristal merupakan produk yang diduga mempunyai umur simpan yang pendek. Kadar air dan akitivitas air yang tinggi akan menyebabkan gula kelapa kristal kering dan susah dipisahkan. Kadar air gula kelapa kristal yang tinggi akan terjadi penggumpalan gula (*clumping*), hal ini juga akan mengurangi kualitas fisik produk. Air di dalam bahan pangan dan hasil pertanian, dapat diklasifikasikan ke dalam 2 tipe yaitu air terikat dan air bebas. Sifat-sifat air bebas pada bahan pangan sama seperti sifat-sifat air biasa pada umumnya dengan nilai $a_w = 1$, sedangkan air ikatan adalah air yang terikat erat dengan komponen bahan pangan lainnya serta mempunyai a_w di bawah 1.

Sorpsi isotermik air adalah kurva yang menghubungkan data kadar air dengan aktivitas air suatu bahan pada suhu yang sama. Kurva sorpsi isotermik air pada bahan pangan umumnya berbentuk sigmoid dan dapat dihubungkan dengan aktivitas air yang berbeda terhadap bahan padat. Kurva sorpsi isotermik menggambarkan sifat-sifat hidrasi bahan pangan, yaitu kemampuan bahan pangan secara alami dapat menyerap air dari udara disekelilingnya dan sebaliknya dapat melepaskan air yang terkandung didalamnya ke udara. Kurva sorpsi isotermik selain mengindikasikan nilai aktivitas air pada komposisinya, kurva ini juga memiliki hubungan yang erat dengan stabilitas bahan pangan pada berbagai kondisi penyimpanan dan kebutuhan proses pengemasan produk pangan untuk menjaga kestabilan masa simpannya. Pengetahuan tentang sorpsi isotermik suatu bahan pangan dapat membantu penentuan jenis kemasan yang dibutuhkan dan memprediksi karakteristik kondisi penyimpanan yang sesuai serta masa simpannya.

Umur simpan gula kelapa kristal juga sangat dipengaruhi oleh jenis kemasan yang digunakan. Pengemasan yang kurang tepat akan menyebabkan penurunan mutu dari produk pangan tersebut. Jenis kemasan plastik seperti PP (*Polypropylene*), LDPE (*Low Density Polyethylene*) dan HDPE (*High Density Polyethylene*) adalah jenis kemasan plastik yang sering digunakan untuk gula kelapa kristal, akan tetapi belum diketahui jenis kemasan plastik yang terbaik untuk digunakan.

Penelitian tentang sorpsi isotermik air belum banyak dilakukan dengan topik gula kelapa kristal, sorpsi isotermik air sangat penting untuk merancang proses pengeringan, dan menentukan stabilitas bahan pangan selama penyimpanan, sehingga pada penelitian ini dapat melihat kandungan kadar air dan aktivitas air pada gula kelapa kristal sebelum penyimpanan agar memiliki umur simpan yang lebih lama dan dapat menentukan jenis kemasan terbaik yang sesuai dengan karakteristik gula kelapa kristal sehingga dapat memperpanjang umur simpannya.

Tujuan dari penelitian ini adalah: (1) menentukan model yang tepat pola kurva sorpsi isotermik gula kelapa kristal, (2) menduga umur simpan gula kelapa kristal pada kemasan plastik PP, LDPE dan HDPE dengan pendekatan Arrhenius. (3) menentukan jenis kemasan terbaik untuk gula kelapa kristal.

METODE PENELITIAN

Bahan Dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gula kelapa kristal, Sedangkan bahan kimia yang digunakan untuk percobaan kurva sorpsi isotermik air adalah garam jenuh $MgCl_2$, KCl, NaOH, dan $BaCl_2$. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: oven, pengering rak berputar, toples kaca, timbangan, pencapit, mesin siller, plastik kemasan PP, LDPE dan HDPE.

Metode Penelitian

Penelitian ini menentukan kadar air kesetimbangan kurva sorpsi isotermik sorpsi air gula kelapa kristal menggunakan model GAB (*Guggenheim-Anderson-de Boer*). Metode ini melibatkan garam jenuh untuk mempertahankan kelembaban lingkungan didalam suatu wadah yang kedap udara pada suhu yang tetap. Empat jenis garam jenuh yang digunakan pada penelitian ini adalah $MgCl_2$, KCL, NaOH dan $BaCl_2$ untuk mendapatkan rentang RH dan a_w yang cukup luas Antara 0.05 sampai 0.9. Penelitian ini menggunakan 2 jenis perlakuan meliputi proses adsorpsi dan desorpsi yang disimpan pada suhu 30 °C dan dilakukan 3 kali ulangan. Variabel yang diukur pada penelitian ini meliputi beberapa variable diantaranya:

1. Aktivitas air

Air adalah komponen yang sangat penting dalam sistem pangan dikarenakan dapat mempengaruhi berbagai variabel proses dan karakteristik produk. Sebagai komponen utama dalam bahan pangan,

air memiliki kontribusi terhadap bentuk, struktur, sifat fisiokimia, dan reaksi kimia pada suatu bahan. Dalam keadaan setimbang aktivitas air dapat dinyatakan dalam persamaan (5) berikut:

$$a_w = \frac{RHs}{100} \quad (1)$$

dimana:

a_w = Aktivitas air

R = Kelembaban relative dalam keadaan kesetimbangan (%)

2. Penentuan kadar air kesetimbangan

Penentuan kadar air kesetimbangan dilakukan dengan cara menyimpan sampel gula kelapa kristal dalam toples kaca yang berisi berbagai jenis garam jenuh dengan nilai kelembaban relatif (RH) bervariasi mulai dari 0,07% sampai 90%. Kesetimbangan antara sampel dan lingkungan akan tercapai dengan ditandai konstannya bobot sampel, untuk memperoleh kurva sorpsi isotermik maka kadar air kesetimbangan yang diperoleh dari percobaan diplotkan dengan nilai aktivitas air. Budijanto *et al.*, (2010) menunjukkan bahwa kadar air kesetimbangan, kurva sorpsi isotermik, dan kemiringan kurva dapat ditentukan dengan cara mengkondisikan sampel dalam beberapa garam jenuh yang akan memberikan nilai RH yang berbeda.

3. Permodelan Kurva Sorpsi Isotermik

Bentuk kurva sorpsi isotermik sangat beragam tergantung pada sifat alami bahan, suhu, dan tingkatan air yang dipindahkan selama proses adsorpsi atau desorpsi.

a. Model *Hasley*

Model *hasley* dinyatakan dengan persamaan (6)

$$a_w = \exp \left[\frac{-P1}{(Me) p2} \right] \quad (2)$$

dimana:

a_w = Aktivitas air

M = Kadar air

P1 dan P2 = konstanta.

b. Model *Chen-Clayton*

Model persamaan *Chen-Clayton* dihitung menggunakan persamaan (3)

$$a_w = \exp \left[\frac{-P1}{\exp P2 Me} \right] \quad (3)$$

dimana:

a_w = Aktivitas air

M = Kadar air kesetimbangan

P1 dan P2 = Konstanta.

c. Model *Henderson*

Bentuk persamaan *Henderson* dinyatakan dengan persamaan (4)

$$1 - a_w = \exp \left[-KM_e^n \right] \quad (4)$$

dimana:

a_w = Aktivitas air

M = Kadar air kesetimbangan

K = Konstanta.

d. Model *Oswin*

Model persamaan *Oswin* dinyatakan dengan persamaan (5)

$$Me = P1 \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^{P2} \quad (5)$$

dimana:

a_w = Aktivitas air

M = Kadar air kesetimbangan
 P1 dan P2 = Konstanta.

e. Model *Caurie*

Persamaan *Caurie* dinyatakan dengan persamaan (6)

$$\ln M_e = \ln P_1 - P_2 a_w \quad (6)$$

dimana:

a_w = Aktivitas air
 M = Kadar air kesetimbangan
 P1 dan P2 = Konstanta.

f. Model BET

Persamaan BET dinyatakan dengan persamaan (7)

$$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)(1 + (C - 1)a_w)} \quad (7)$$

dimana:

X_m = Kadar air monolayer
 C = Energi konstanta yang berhubungan dengan net heat dari sorpsi.
 a_w = Aktivitas air

a. Model GAB

Persamaan GAB dinyatakan dengan persamaan (8)

$$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w)(1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)} \quad (8)$$

dimana:

X_m = Kadar air monolayer
 C dan K = Konstanta

Analisis Data

Pengukuran kadar air awal dilakukan dengan menggunakan metode oven (AOAC, 2005). Penentuan kadar air diawali dengan mengambil sampel sebanyak 5 g. Pertama, cawan aluminium dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C sekitar 10-15 menit, kemudian didinginkan di dalam desikator selama kurang lebih 10 menit. Cawan kosong yang telah ditimbang menggunakan timbangan analitik sebagai berat A g. Selanjutnya dimasukkan sampel ke dalam cawan dan ditimbang dengan timbangan analitik sebagai berat B (berat awal). Cawan berisi sampel dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105 °C selama 72 jam sampai berat bahan konstan. Bahan dan cawan dimasukkan ke dalam desikator selama 10 menit kemudian ditimbang sebagai berat C g (berat akhir). Kadar air dapat diukur dengan basis basah atau basis kering menggunakan persamaan berikut:

$$\%bb = \frac{(B-A)-(C-A)}{(B-A)} \times 100\% \quad (9)$$

$$\%bk = \frac{(B-A)-(C-A)}{(C-A)} \times 100\% \quad (10)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sorpsi Isotermik Udara

Kadar air kesetimbangan dan kurva sorpsi isotermik udara

Hubungan antara kandungan air (dinyatakan sebagai massa air per unit massa materi kering) dengan aktivitas air (a_w) pada temperatur konstan dikenal dengan Isotermik Sorpsi Air (Hayati *et al.*, 2013). Pola penyerapan atau pelepasan uap air gula kelapa kristal berdasarkan kurva sorpsi isotermik air dapat ditentukan dengan cara pengkondisian gula kelapa kristal pada berbagai

tingkat aktivitas air (a_w) menggunakan garam jenuh pada suhu 30 °C. Nilai a_w garam jenuh disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai a_w Garam jenuh pada suhu 30 °C.

Garam	a_w
NaOH	0,07
MgCl ₂	0,32
KCl	0,84
BaCl ₂	0,89

Garam jenuh MgCl₂, KCl, NaOH, dan BaCl₂ digunakan untuk mengkondisikan kelembaban relatif di dalam desikator untuk mendapatkan rentang RH atau a_w yang cukup lebar antara 0,05-0,9. Selama proses penyimpanan garam jenuh akan melepaskan uap air dan gula kelapa kristal akan menyerap uap air ataupun sebaliknya hingga terjadi keseimbangan antara keduanya. Kadar air kesetimbangan berbanding lurus dengan a_w dimana kadar air kesetimbangan akan lebih tinggi pada a_w yang tinggi, dan sebaliknya kadar air kesetimbangan tersebut lebih rendah pada a_w yang lebih rendah (Jamaluddin, 2014). Semakin tinggi kisaran RH bahan disimpan maka makin lama kadar air bahan tersebut mencapai kesetimbangan. Kelembaban relatif yang lebih tinggi jumlah air yang diserap oleh bahan lebih banyak sehingga untuk mencapai kesetimbangan membutuhkan waktu yang lebih lama (Fitri, 2018).

Kadar air kesetimbangan yang terjadi akibat suatu bahan melepas kandungan airnya disebut kadar air kesetimbangan desorpsi, sedangkan kadar air kesetimbangan yang tercapai saat suatu bahan menyerap kandungan air dari udara sekelilingnya disebut kadar air kesetimbangan adsorpsi (Herawati, 2015). Proses adsorpsi merupakan proses untuk mengetahui perilaku gula kelapa kristal dalam menyerap uap air disekitarnya yang berlangsung terus menerus hingga keseimbangan kadar air dalam ruang penyimpanan tercapai sehingga perlu dilakukan proses pengeringan. Proses pengeringan untuk gula kelapa kristal dilakukan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 24 jam.

Proses desorpsi merupakan proses untuk mengetahui perilaku gula kelapa kristal dalam melepaskan kandungan airnya menuju udara sekitar ruang penyimpanannya hingga keseimbangan kadar air tercapai. Pada penelitian ini pengujian sorpsi isotermik air dibutuhkan waktu 7 hari untuk mencapai kadar air keseimbangan. Data kadar air keseimbangan sampel adsorpsi dan desorpsi dalam %bk pada suhu penyimpanan 30°C dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Kadar air keseimbangan adsorpsi

Garam	a_w	Ka (bk)
NaOH	0,07	7,24
MgCl ₂	0,32	11,49
KCl	0,84	13,31
BaCl ₂	0,89	15,43

Berdasarkan pada Tabel 3, nilai kadar air keseimbangan sampel adsorpsi terendah sebesar 7,24% (bk) dengan nilai aktivitas air 0,07, sedangkan nilai kadar air keseimbangan tertinggi mencapai 15,43% (bk) dengan nilai aktivitas air 0,89. Berdasarkan data pada Tabel 3 diketahui bahwa kadar air keseimbangan sampel pada suhu 30°C adsorpsi meningkat seiring meningkatnya nilai aktivitas air (a_w) garam.

Tabel 4. Kadar air keseimbangan desorpsi

Garam	a_w	Ka (%bk)
NaOH	0,07	1,10
MgCl ₂	0,32	1,38
KCl	0,84	1,88
BaCl ₂	0,89	1,98

Berdasarkan Tabel 4, nilai kadar air keseimbangan sampel desorpsi terendah sebesar 1,10% (bk) dengan nilai aktivitas air 0,07, sedangkan nilai kadar air keseimbangan tertinggi sebesar 1,98% (bk) pada aktivitas air (a_w) 0,89. Sama halnya dengan perlakuan adsorpsi, pada suhu konstan nilai kadar air keseimbangan sampel desorpsi meningkat seiring meningkatnya nilai aktivitas air (a_w), hal ini dikarenakan semakin tinggi nilai aktivitas air garam maka nilai kelembaban lingkungan yang terbentuk dalam tempat penyimpanan akan semakin tinggi pula sehingga keseimbangan kadar air bahan yang tercapai juga akan lebih tinggi dibandingkan dengan bahan yang disimpan bersama garam dengan nilai a_w rendah (Fitri, 2018).

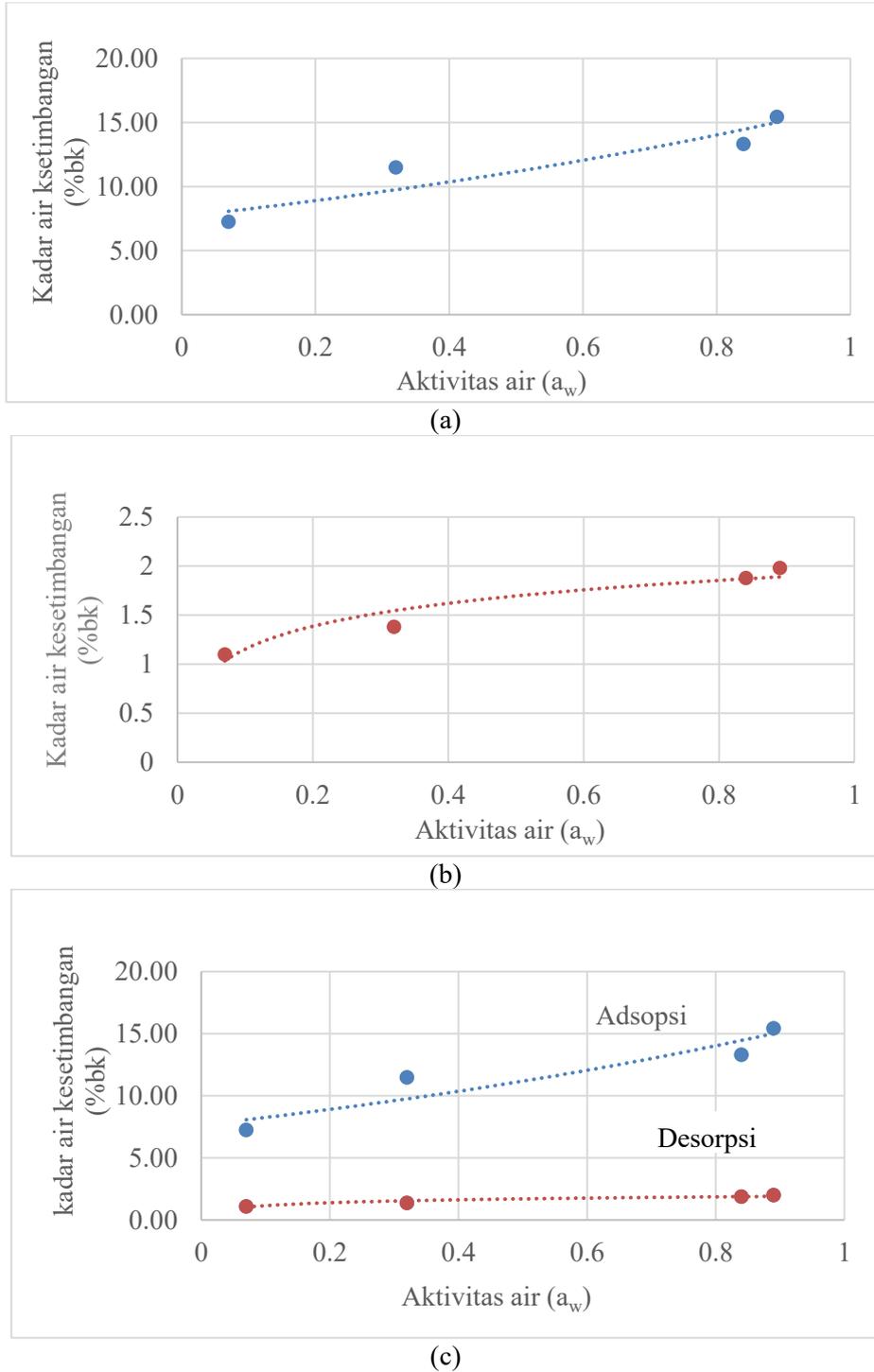
Tipe kurva sorpsi isotermik setiap bahan pangan bervariasi tergantung seberapa besar sifat higroskopis dari pangan tersebut, yaitu terdiri dari sangat higroskopis, medium dan rendah (Kusnandar, 2011). Sorpsi isotermik menggambarkan kemampuan higroskopis yang kompleks yang dipengaruhi oleh interaksi, baik fisik maupun kimia antara komponen-komponen bahan pangan tersebut dan juga diinduksi oleh proses pemanasan atau perlakuan awal lainnya.

Pemodelan kurva sorpsi isotermik gula kelapa kristal

Kurva sorpsi isotermik dibuat dengan cara memplotkan kadar air kesetimbangan hasil percobaan dengan nilai aktivitas air (a_w) dan dimasukkan dalam model persamaan isotermik. Model yang digunakan dalam penelitian gula kelapa kristal ini menggunakan model GAB (*Guggenheim-Anderson-de Boer*) dan menghasilkan persamaan kurva sorpsi sebagaimana disajikan pada Gambar 1.

Berdasarkan grafik pada Gambar 1 suhu konstan dan nilai kadar air baik pada perlakuan adsorpsi maupun desorpsi meningkat seiring dengan bertambahnya nilai aktivitas air (a_w) yang merupakan karakteristik dari produk yang hanya dapat menyimpan air dengan jumlah kecil pada a_w rendah dan sebaliknya dapat menyimpan jumlah air yang tinggi pada a_w tinggi.

Model Isotermik Sorpsi Air (ISA) yang digunakan pada penelitian ini menggunakan model GAB (*Guggenheim, Anderson and de Boer*). Model ini memiliki dua konstanta yang digunakan dalam modelnya yaitu C dan K. Sampel adsorpsi nilai konstanta C bernilai -46,25 dan nilai konstanta K bernilai 0,2. Sampel desorpsi nilai konstanta C bernilai 4,87 dan nilai konstanta K bernilai 0,02. Nilai konstanta C dan K dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.



Gambar 1. Kurva Sorpsi Isotermik Gula Kelapa Kristal (a) Adsorpsi (b) Desorpsi (c) Adsorpsi dan Desorpsi pada suhu 30 °C

Tabel 5. Nilai konstanta dan *statistica error* perlakuan adsorpsi pada gula kelapa Kristal

Model	Koefisien			R2	RMSE	MRD
	C	K	Xm			
GAB	-46,25	0,20	1,05	0,2	0,2	7,35

Tabel 6. Nilai konstanta dan *statistica error* perlakuan desorpsi pada gula kelapa Kristal

Model	Koefisien			R2	RMSE	MRD
	C	K	Xm			
GAB	4,87	0,02	1271,33	0,19	0,3	5,04

Hasil perlakuan adsorpsi dan desorpsi model GAB perlu adanya uji ketepatan model untuk mengetahui ketepatan model sorpsi isotermik air gula kelapa kristal hasil percobaan. Model terbaik atau model yang tepat didapatkan melalui beberapa parameter, diantaranya R² (koefisien determinasi), RMSE (*Root Mean Square Error*), dan MRD (*Mean Relative Determination*). Jika nilai MRD < 5 maka model sorpsi isotermik tersebut dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya atau sangat tepat. Jika 5 < MRD < 10 maka model tersebut agak tepat menggambarkan keadaan yang sebenarnya, dan jika MRD > 10 maka model tersebut tidak tepat menggambarkan keadaan yang sebenarnya (Isse *et al.*, 1983). Pada perlakuan adsorpsi dan desorpsi memberikan nilai R² 0,2 dan 0,19. Model tersebut juga menghasilkan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) 0,2 pada perlakuan adsorpsi dan 0,3 pada perlakuan desorpsi. Nilai MRD perlakuan adsorpsi 7,35 dan desorpsi 5,04. Berdasarkan hasil dari uji ketepatan model, pada perlakuan adsorpsi dan desorpsi model GAB tersebut tepat menggambarkan keadaan yang sebenarnya, karena nilai MRD < 10.

B. Umur Simpan

Penyerapan air dari lingkungan untuk mencapai kondisi kesetimbangan menyebabkan terjadinya peningkatan kadar air (Mustafidah & Widjanarko, 2015). Perubahan berat gula kelapa kristal terjadi pada suhu penyimpanan 30 °C menggunakan kemasan HDPE (*High Density Polyethylene*), PP (*Polypropylene*) dan LDPE (*Low Density Polyethylene*). Berat gula kelapa kristal pada kemasan HDPE (*High Density Polyethylene*) terjadi penambahan berat mulai dari minggu ke-1 (0,15), minggu ke-2 (0,13), minggu ke-3 (0,19), minggu ke-4 (0,54) dan minggu ke-5 (0,59). Berat gula kelapa kristal pada kemasan PP (*Polypropylene*) terjadi penambahan berat mulai dari minggu ke-1 (0,02), minggu ke-2 (0,06), minggu ke-3 (0,07), minggu ke-4 (0,12), minggu ke-5 (0,45). Berat gula kelapa kristal pada kemasan LDPE (*Low Density Polyethylene*) terjadi penambahan berat mulai dari minggu ke-1 (0,42), minggu ke-2 (0,54), minggu ke-3 (0,59), minggu ke-4 (0,94), minggu ke-5 (1,28). Data berat gula kelapa kristal selama penyimpanan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil analisa rata-rata berat (gram) selama penyimpanan suhu 30 °C pada kemasan HDPE, PP, dan LDPE

Hari	HDPE	PP	LDPE
7	40,15	40,02	40,42
14	40,13	40,06	40,54
21	40,19	40,07	40,59
28	40,54	40,12	40,94
35	40,59	40,45	41,28

Gula kelapa kristal selama penyimpanan mengalami penambahan berat yang disebabkan karena adanya penyerapan uap air dari lingkungan yang menyebabkan mutu gula kelapa kristal menurun. Adanya uap air yang masuk terjadi karena kurang rapatnya kemasan saat proses siller pada jenis kemasan yang digunakan dan suhu penyimpanan. Semakin tinggi suhu penyimpanan maka penambahan berat pada gula kelapa kristal akan semakin meningkat. Menurut Wigelar (2013) produk pangan yang dikeringkan memiliki sifat lebih higroskopis dibanding dengan produk asalnya dan akan menyebabkan memuainya kemasan sehingga pori-pori kemasan akan membesar, sehingga penyerapan uap air terjadi lebih cepat.

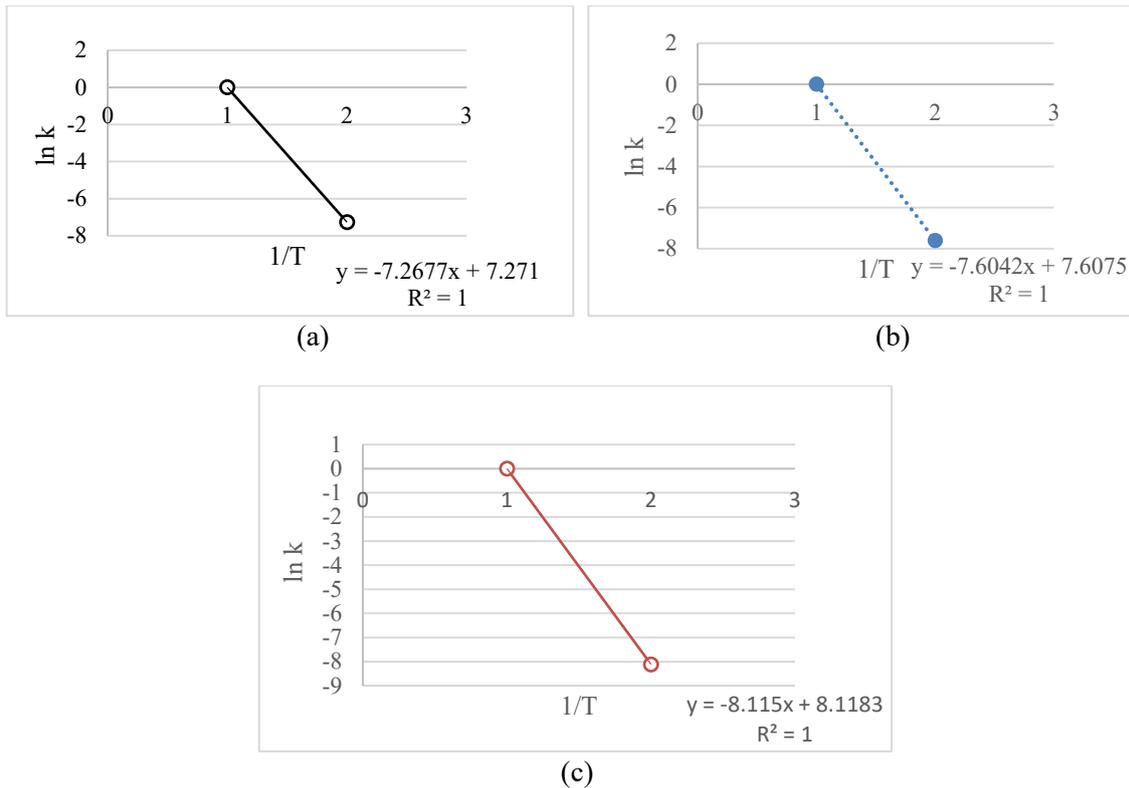
C. Pendugaan Umur Simpan Gula Kelapa Kristal

Pendugaan umur simpan dimulai dengan membuat regresi hubungan antara parameter pengamatan berat sampel dengan lama penyimpanan. Nilai persamaan regresi linier berat sampel gula kelapa kristal selama penyimpanan dengan suhu 30 °C dan kemasan yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Nilai persamaan regresi linier rata-rata berat gula kelapa kristal pada suhu 30 °C selama penyimpanan.

Kemasan	Persamaan regresi linier		R ²	
	Ordo 0	Ordo 1	Ordo 0	Ordo 1
LDPE	0,0303x + 40,118	0,0007x + 3,6919	0,907	0,9082
HDPE	0,018x + 39,933	0,0005x + 3,6872	0,8189	0,819
PP	0,0131x + 39,868	0,0003x + 3,6856	0,6931	0,6939

Ordo reaksi yang umum terjadi pada produk pangan adalah ordo reaksi 0 dan ordo reaksi 1 (Hanifah, 2016). Dari ordo 0 dan ordo 1 akan diperoleh nilai R². Apabila nilai korelasi (R²) yang lebih besar pada ordo 1 yang berarti reaksi mengikuti ordo 1 dan sebaliknya. Nilai k kemudian dibuat plot Arrhenius dengan nilai ln k sebagai ordinat dan dihubungkan dengan 1/T (Kelvin) sebagai absis. Hasil plot ln k dan 1/T dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan antara ln k dan 1/T hasil uji berat (gram) gula kelapa kristal dengan kemasan LDPE (a) kemasan HDPE (b) kemasan PP (c) pada suhu 30 °C.

Persamaan regresi linier dari plot ln k dan 1/T pada perubahan parameter massa gula kelapa kristal pada suhu 30 °C pada kemasan LDPE $\ln k = 7,271 (1/T) - 7,2677x$ dan $R^2 = 1$. Pada kemasan PP $\ln k = 8,1183 (1/T) - 8,115x$ dan $R^2 = 1$. Pada kemasan HDPE $\ln k = 7,6075 (1/T) - 7,6042x$ dan $R^2 = 1$. Nilai slope dari persamaan garis lurus tersebut merupakan $-Ea/R$, Ea merupakan energy

aktivasi, dan R merupakan tetapan gas, sehingga diperoleh E_a berturut-turut sebesar -7,2677, -7,6042, -8,115.

Setelah diketahui nilai k , umur simpan gula kelapa kristal pada suhu 30°C (303 K) dihitung menggunakan persamaan Arrhenius. Umur simpan (t) dihitung dengan persamaan kinetika reaksi berdasar ordo reaksinya. Parameter kadar air mengikuti kinetika reaksi ordo 1 sehingga persamaannya menjadi $\ln A_0 = \ln A_t + Kt$, dimana A_0 merupakan nilai parameter awal gula kelapa kristal sebelum penyimpanan, A_t merupakan nilai parameter akhir gula kelapa kristal setelah penyimpanan, dan t merupakan waktu simpan. Penentuan umur simpan dengan menentukan nilai k terlebih dahulu sehingga diperoleh umur simpan seperti pada Tabel 9.

Tabel 9. Hubungan suhu penyimpanan dengan kemasan HDPE, PP, dan PP

Kemasan	Umur simpan (hari)
LDPE	143
PP	528
HDPE	310

Berdasarkan Tabel 9, diperoleh nilai umur simpan gula kelapa kristal selama 35 hari pada suhu penyimpanan 30 °C yaitu kemasan LDPE 143 hari, kemasan PP 528 hari dan kemasan HDPE 310 hari. Hasil dari penelitian yang dilakukan didapatkan bahwa perlakuan pengemas plastik PE cenderung mengalami peningkatan kadar air yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan pengemas PP selama penyimpanan 35 hari pada suhu 30°C. Faktor lain yang mempengaruhi umur simpan yaitu kemasan karena setiap kemasan memiliki permeabilitas yang berbeda terhadap gas dan uap air (Arrum, 2016). Tingginya nilai permeabilitas plastik polietilen terhadap uap air menjadikan air lebih mudah masuk ke dalam plastik sehingga jumlah air yang terdapat dalam plastik lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah air yang terdapat dalam plastik polipropilen (Lobo *et al.*, 2013). Kemasan PP (*Polypropylene*) memiliki titik leleh yang tinggi, transparan, serta mempunyai kekedapan yang tinggi (Pudjiastuti, 2012), dan memiliki sifat fisik yang dapat tembus pandang, jernih, lebih kuat dan lebih kaku dari kemasan PE sehingga bagus digunakan untuk produk pangan yang perlu kekedapan terhadap uap air maupun oksigen. Dari hasil pendugaan umur simpan gula kelapa kristal menggunakan metode ASLT dengan pendekatan Arrhenius dapat dinyatakan bahwa kemasan PP adalah kemasan yang terbaik dan memiliki umur simpan lebih lama dibandingkan dengan kemasan HDPE dan kemasan LDPE.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh pada penelitian ini yaitu: (1) nilai MRD yang diperoleh pada perlakuan adsorpsi sebesar 7,35 dan nilai MRD desorpsi sebesar 5,04 sehingga model GAB tersebut tepat menggambarkan keadaan yang sebenarnya, karena nilai $MRD < 10$, (2) umur simpan gula kelapa kristal menggunakan tiga jenis kemasan berbeda yaitu PP (*Polypropylene*), HDPE (*High Density Polyethylene*), dan LDPE (*Low Density Polyethylene*) berturut-turut yaitu kemasan PP 528 hari, kemasan HDPE 310 hari dan kemasan LDPE 143 hari, dan (3) kemasan PP (Polipropylene) adalah kemasan terbaik karena plastik LDPE dan HDPE cenderung mengalami peningkatan kadar air yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan pengemas PP selama penyimpanan 35 hari pada suhu 30°C.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, N.I. 2018. Penentuan Umur Simpan Dengan Metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) Dan Analisis Proksimat Pada Minuman Rumput Laut. [Skripsi]. Surabaya: Fakultas Ilmu Alam Institut Teknologi Sepuluh November.
- Arba'ani, M.S. 2019. Penerapan Metode Kurva Sorpsi Isotermik Untuk Pendugaan Umur Simpan Daging Tiruan semi Basah. [Skripsi]. Jember: Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.
- Cahyanti, M.N., Jimmy, H., & Lydia, N.L. 2016. Pemodelan Isoterm Sorpsi Air Biskuit Coklat menggunakan Persamaan Caurie. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan* 5(2):51-53.
- Cahyanti, M.N. 2016. Isoterm Sorpsi Air Dari Kerupuk Kedelai. [Skripsi]. Malang: Universitas Kristen Satya Wacana.
- Fadhillah, N., Ervina, M., & Mustaufik. 2020. Gula Kelapa Kristal Dan Potensi Pemanfaatannya Pada Produk Minuman. *Agritech* 22(1):20-28.
- Fitri, D.N.K. 2018. Karakteristik Isotermik Sorpsi Air dan Panas Isosterik Irisan Pisang Kepok (*Musa paradisiaca formatypica*). [Skripsi]. Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya Malang.
- Hanifah, R. 2016. Pendugaan Umur Simpan Dodol Tomat (*Lycopersicum pyriforme*) Menggunakan Metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) Model Arrhenius. [Skripsi]. Fakultas Teknik. Universitas Pasundan Bandung.
- Haris, H., & Fadli. 2014. Penentuan Umur Simpan (*Shelf Life*) Pundang Seluang (*Rasbora Sp*) Yang Dikemas Menggunakan Kemasan Vakum Dan Tanpa Vakum. *Jurnal Saintek Perikanan* 9(2): 53-62.
- Hasniar., Rokhani, H., & I Wayan, A. 2019. Pemodelan Sorpsi Isotermi dan Pendugaan Umur Simpan Beras Pratanak pada Kemasan Plastik Film. *Jurnal keteknikan pertanian* 7(1):75-82.
- Hayati, R., Elly, K., & Marai, R. 2013. Kajian Isotermi Sorpsi Air dan Kadar Kritis Dalam Penentuan Model Penyimpanan Terhadap Hasil Seleksi Perakitan Varietas Unggul Padi Gogo. [Tesis]. Universitas Syiah Kuala.
- Isse, M.G., Schuchmann, H., & Schubert, H. 1983. Devided Sorption Isotherm Concept, an Alternative Way to Describe Sorption Isotherm Data. *J Food Eng.* 16:147-157.
- Jamaluddin., Robert, M., & Deddie, T. 2014. Kajian Isotermi Sorpsi Air Dan Fraksi Air Terikat Kue Pia Kacang Hijau Asal Kota Gorontalo. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan* 2(1):27-37.
- Juliana, R., Rokhani, H., & Sutrisno, S.M. 2020. Model *Moisture Sorption Isotherm* (MSI) dan Pendugaan Umur Simpan Bubuk jahe Merah pada Berbagai Jenis Kemasan. *Jurnal Keteknikan Pertanian.* 8(1):23-28.
- Lobo. 2013. Studi Pengaruh Jenis Kemasan dan Ketebalan Plastik Terhadap Karakteristik Mutu Rebung Bambu Tabah Kering. *Jurnal Teknologi Pertanian.* 1-10.
- Pudjiastuti, W. 2012. Polimer Nanokomposit sebagai *Master Batch Polimer Biodegradable* untuk Kemasan Makanan. *Jurnal Riset Industri.* 4(1):51-60
- Ritonga, A.M., Masrukhi, & Siswantoro. 2020. Pendugaan Umur Simpan Gula Kelapa Kristal Menggunakan Metode Akselerasi Berdasarkan Pendekatan Kadar Air Kritis. *Jurnal Teknologi Pertanian* 21(1):11-18.
- Surono. 2016. Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET, dan PE Menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya. Yogyakarta: *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal* 1(1):32-37.
- Widyotomo, S., Atmawinata, & Purwadaria, H.K. 2011. Karakterisasi Isoterm Sorpsi Air Biji Kopi Dengan Model Bet Dan Gab. *Agritech* 31(3):228-236.
- Wigelar, O.T. 2013. Pendugaan Umur Simpan Susu Skim Serbuk dengan Metode *Foam-mat Drying* dengan Berbagai Suhu Penyimpanan yang Dikemas dalam Aluminium Foil. [Skripsi]. Fakultas Teknik, Universitas Pasundan Bandung.
- Wijaya, I.M., I Ketut, S., & Ni Made, Y. 2014. Karakteristik Isotermik Sorpsi Air Dan Umur Simpan *Ledok* Instan. *Agritech.* 34(1):29-35.
- Zuliana, C., Endrika, W., & Wahono, H.S. 2016. Pembuatan Gula Semut Kelapa (Kajian Ph Gula Kelapa Dan Konsentrasi *Natrium Bikarbonat*). *Jurnal Pangan dan Agroindustri* 4(1):109-119.