

PENDUGAAN UMUR SIMPAN MENGGUNAKAN METODE ACCELERATED SHELF-LIFE TESTING (ASLT) DENGAN PENDEKATAN ARRHENIUS PADA PRODUK TAPE KETAN HITAM KHAS MOJOKERTO HASIL STERILISASI

Shelf-Life Prediction of Sterilized Mojokerto's Fermented Black Glutinous Rice Using Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT) Method by Arrhenius Equation Approach

Haryati^{1*}, Teti Estiasih¹, Feronika Heppy¹, Kgs Ahmadi²

¹Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, FTP Universitas Brawijaya Malang
Jl. Veteran, Malang 65145

²Jurusan Teknologi Industri Pertanian, FP Universitas Tribhuwana Tunggadewi Malang
Jl. Telaga Warna, Tlogomas Malang

*Penulis Korespondensi, Email: haryati1117@gmail.com

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah menduga umur simpan tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan suhu dan waktu sterilisasi yang dapat membunuh seluruh mikroba yaitu pada perlakuan suhu 121°C selama 10 menit. Hasil pendugaan umur simpan produk menunjukkan energi aktivasi pada parameter kadar air adalah 19,862.34 kal/mol, nilai pH 10,913.49 kal/mol, perubahan warna 21,202.01 kal/mol, dan total asam tertitrasi 8,951.10 kal/mol. Parameter total mikroba tidak ditemukan pertumbuhan mikrobiologi selama penyimpanan 40 hari sehingga tidak dapat dihitung energi aktivasinya. Nilai energi aktivasi terkecil digunakan untuk menentukan umur simpan produk, yaitu parameter total asam tertitrasi dimana reaksi berjalan mengikuti raksi orde nol sehingga diperoleh regresi linier $y = -4,507.10x + 7.12$. Hasil perhitungan umur simpan tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi berdasarkan parameter total asam tertitrasi pada penyimpanan suhu ruang 25°C adalah 688.4 hari (22.9 bulan).

Kata kunci: *Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT)*, Arrhenius, Sterilisasi, Tape ketan hitam khas Mojokerto

ABSTRACT

The objectives of this research were to sterilize Mojokerto's fermented black glutinous rice that packaged in glass jar and determine its shelf life. The result of this research showed temperature and sterilization time that killed total microbe was 121°C for 10 minutes. The result of determined its shelf life was the activation energy of water content 19,862.34 cal/mol, pH value 10,913.49 cal/mol, colour change 21,202.01 cal/mol, and titricable acid 8,951.10 cal/mol. No microbe grown for stored 40 days so that activation energy can't be counted. The lowest activation energy was titratable acid, therefore it was used to determine the shelf life of sterilized Mojokerto's fermented black glutinous rice. The linear regression was obtained at $y = -4,507.10x + 7.12$. The shelf life of sterilized Mojokerto's fermented black glutinous rice was 688.4 days (22.9 months) at 25°C.

Keywords: *Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT)*, Arrhenius, Mojokerto's fermented black glutinous rice, Sterilization

PENDAHULUAN

The Institute of Food Science and Technology mendefinisikan umur simpan produk pangan adalah selang waktu di mana produk pangan tetap aman baik dari karakteristik sensori, kimia, fisik, dan mikrobiologi, serta sesuai dengan label nutrisi yang tertera [1].

Tape ketan hitam khas Mojokerto adalah tape ketan hitam yang diproduksi oleh masyarakat Desa Centong, Kecamatan Gondang, Kabupaten Mojokerto. Produk ini hanya memiliki umur simpan sekitar 2-3 hari pada suhu ruang. Cara penjualan yang hanya dengan pikulan dan keranjang bambu tanpa adanya kemasan khusus sebagai wadah menyebabkan produk ini tidak bertahan lama [2]. Hasil fermentasi lanjutan (*over fermentation*) akan menghasilkan produk beralkohol-asam yang tidak dapat diterima oleh konsumen [3]. Pencegahan fermentasi lanjutan yang terjadi pada tape ketan hitam khas Mojokerto ini dapat dilakukan dengan pemanasan. Sterilisasi adalah salah satu metode pemanasan yang dapat membunuh mikroba dalam produk pangan karena menggunakan suhu lebih tinggi dibandingkan metode pemanasan lainnya (misal pasteurisasi). Sterilisasi yang dapat membunuh seluruh mikroba dari tape ketan hitam khas Mojokerto yaitu pada suhu 121°C selama 10 menit [4].

Pembuktian keberhasilan sterilisasi dilakukan dengan pendugaan umur simpan tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi tersebut menggunakan metode Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT) dengan pendekatan Arrhenius. Metode ASLT adalah metode pendugaan umur simpan dengan mempercepat reaksi penurunan mutu melalui cara mengkondisikan produk makanan diatas kondisi penyimpanan normal [5]. Dalam metode ASLT suhu berperan sebagai parameter kunci penentu kerusakan makanan, karena semakin tinggi suhu, kerusakan makanan akan semakin cepat. Hubungan antara suhu dengan kecepatan penurunan mutu dapat dilihat menggunakan persamaan Arrhenius.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah tape ketan hitam dari Desa Centong, Kecamatan Gondang, Kabupaten Mojokerto. Kemasan jar ukuran 200 ml dan tutup seng berlapis karet. Bahan kimia yang digunakan yaitu aquades, indikator PP, NaOH 0.1 N, pepton, dan PCA (*Plate Count Agar*).

Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu otoklaf semi otomatis, oven listrik "Mettler", *colour reader* "Minolta", pH meter, neraca analitik "Mettler 2400", dan lain-lain.

Tahapan penelitian

1. Penentuan Karakteristik Mutu Awal dan Mutu Akhir Tape Ketan Hitam Khas Mojokerto Hasil Sterilisasi

Tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi dengan berat bersih 200 g dikemas dalam gelas jar dan disimpan pada suhu kritis 55°C. Sebelum penyimpanan dilakukan analisis kadar air, warna (L^* , a^* , b^*), nilai pH, total mikroba, total asam tertitiasi, dan uji skor (aroma tape, rasa asam, rasa pahit, rasa alkohol, tekstur berair, dan kekerasan tekstur). Sampel diambil dari kemasan berbeda setiap kali dilakukan pengamatan mulai dari hari ke-0 sampai $\geq 50\%$ panelis menolak melalui uji skor (aroma tape, rasa asam, rasa pahit, rasa alkohol, tekstur berair, dan kekerasan tekstur).

2. Penentuan Laju Penurunan Mutu dan Perhitungan Umur Simpan Tape Ketan Hitam Khas Mojokerto Hasil Sterilisasi

Tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi dengan berat bersih 200 g dikemas dalam gelas jar dan disimpan pada suhu kritis 30, 40, dan 50°C. Pengamatan dilakukan dengan tiga kali ulangan dan diamati secara berkala setiap 10 hari sekali mulai hari ke-0

sampai hari ke-40 sehingga didapatkan 5 titik pengamatan. Parameter yang dianalisis yaitu kadar air, perubahan warna (ΔE), total mikroba, nilai pH, dan total asam tertitrasi.

Data dari analisis setiap parameter diplotkan terhadap waktu (hari) dan didapatkan persamaan regresi linearnya sehingga diperoleh tiga persamaan untuk tiga kondisi suhu penyimpanan produk $y=bx+a$. Dimana y =nilai karakteristik produk, x =waktu penyimpanan (hari), b =laju perubahan karakteristik (slope=laju penurunan mutu= k), dan a =nilai karakteristik awal produk. Pemilihan orde reaksi untuk suatu parameter dilakukan dengan cara membandingkan koefisien determinasi (R^2) tiap persamaan regresi linear pada suhu yang sama). Orde reaksi dengan nilai R^2 yang lebih besar merupakan orde reaksi yang digunakan oleh parameter tersebut.

Nilai $\ln k$ dan $1/T(K^{-1})$ yang merupakan parameter Arrhenius ditabulasikan, selanjutnya nilai $\ln k$ diplotkan terhadap $1/T(K^{-1})$ dan didapatkan nilai intersep dan slope dari persamaan regresi linier $\ln k = \ln k_0 - (E_a/R)(1/T)$ dimana $\ln k_0$ =intersep, E_a/R =slope, E_a =energi aktivasi, dan R =konstanta gas ideal (1,986 kal/mol). Dari persamaan tersebut diperoleh nilai konstanta k_0 yang merupakan faktor eksponensial dan nilai energi aktivasi (E_a) reaksi perubahan karakteristik produk kemudian ditentukan model persamaan laju reaksi (k) perubahan karakteristik produk siap pakai dengan $k=k_0 \cdot e^{-E_a/RT}$ [6].

Penentuan parameter kunci dengan melihat parameter yang mempunyai energi aktivasi terendah. Umur simpan tape ketan hitam khas Mojokerto dihitung dengan persamaan kinetika reaksi berdasarkan orde reaksinya.

$t=(A_0-A_t)/k$(Pers. Orde Nol)

$t=\ln(A_0-A_t)/k$(Pers. Orde Satu)

dengan :

t =umur simpan produk (hari), A_0 =nilai atribut mutu di awal (hari ke-0), A_t =nilai atribut mutu di akhir (hari ke- t), dan k =konstanta penurunan mutu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Mutu Awal dan Akhir Tape Ketan hitam Khas Mojokerto Hasil Sterilisasi

Penentuan karakteristik mutu kritis tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi ini dengan menyimpan produk pada suhu yang lebih tinggi dari suhu penyimpanan normalnya.

Tabel 1. Karakteristik Mutu Awal (A_0) dan Akhir (A_t) Tape Ketan Hitam Khas Mojokerto Hasil Sterilisasi

Parameter Mutu	Bahan Baku	Nilai Awal (A_0)	Nilai Akhir (A_t)
Total mikroba (cfu/g)	1.9×10^8	0	2.8×10^2
Kadar air (%)	57.62	57.54	57.20
pH	4.46	4.45	4.69
Total asam tertitrasi (%)	0.34	0.57	0.95
Intensitas warna			
L^*	21.50	21.23	19.83
a^*	8.27	8.50	13.27
b^*	7.53	7.23	14.33

Tape ketan hitam khas Mojokerto biasanya disimpan pada suhu normal sekitar 20-28°C ketika penjualan di daerah wisata seperti Batu, Cangar, dan tempat lainnya. Penentuan mutu kritis tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi dilakukan dengan penyimpanan pada suhu 55°C dengan tujuan untuk mempercepat kerusakan produk. Analisis organoleptik tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi dilakukan dengan uji skor. Jumlah panelis minimal yang dibutuhkan dalam uji skor bila panelisnya bukan merupakan panelis terlatih adalah 20 orang dan panelis tersebut adalah orang yang sama untuk tiap kali pengujian [7]. Analisis organoleptik tersebut dilakukan sampai $\geq 50\%$ panelis menolak produk. Produk tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi ditolak oleh 50 %

panelis setelah 70 hari masa penyimpanan pada suhu 55°C. Tabel 2 menunjukkan bahwa penolakan dimulai pada hari ke-35. Pada penyimpanan ke-70 hari, sebanyak 50% panelis menyatakan bahwa produk sudah tidak layak terutama dari segi aroma tape. Data hasil uji organoleptik menunjukkan bahwa parameter aroma tape merupakan parameter penolakan panelis, diikuti dengan tekstur berair, rasa asam, kekerasan tekstur, rasa alkohol, dan rasa pahit. Hal ini ditunjukkan pada selisih skor penilaian panelis terhadap aroma tape yaitu 4.00 sebelum penyimpanan menjadi 2.15 di akhir penyimpanan.

Tabel 2. Rerata Uji Penerimaan Produk Selama Penyimpanan pada Suhu Kritis (55°C)

Hari ke-	A	B	C	D	E	F	Penolakan (%)
0	4.00	4.05	4.90	3.75	3.05	3.40	0
5	3.90	3.85	4.85	3.75	2.80	3.20	0
10	3.85	3.65	4.85	4.00	2.80	3.15	0
15	3.75	3.60	4.85	3.95	2.80	3.15	0
20	3.65	3.60	4.75	3.90	2.80	3.10	0
25	3.50	3.50	4.75	3.90	2.75	3.10	0
30	3.45	3.50	4.70	3.75	2.75	3.05	0
35	3.40	3.40	4.70	3.65	2.70	2.95	10
40	3.40	3.40	4.60	3.60	2.70	2.95	15
45	3.30	3.15	4.55	3.50	2.70	2.85	15
50	3.00	3.10	4.50	3.50	2.65	2.80	20
55	2.60	2.95	4.50	3.40	2.45	2.80	25
60	2.35	2.85	4.45	3.35	2.40	2.75	40
65	2.30	2.60	4.40	3.10	2.40	2.60	40
70	2.15	2.45	4.25	2.75	2.40	2.55	50

Keterangan: A=aroma tape, B=rasa asam, C=rasa pahit, D=rasa alkohol, E=tekstur berair, dan F=kekerasan tekstur

Kadar Air

Kadar air mengalami penurunan selama penyimpanan. Perubahan yang terjadi tidak signifikan karena berkisar antara 57.54-57.27%. Hal ini diduga karena kemasan yang mampu mempertahankan uap air dari luar maupun dari dalam produk sehingga tidak ada transfer uap air dari dalam maupun luar kemasan.

Tabel 3. Rerata Perubahan Kadar Air Selama Penyimpanan

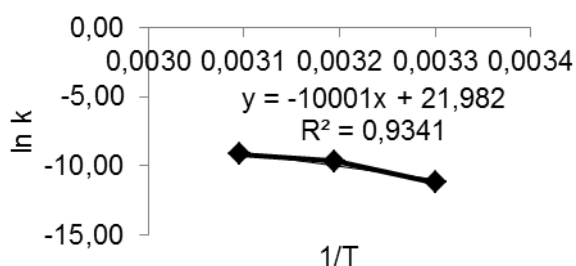
Hari ke-	Kadar Air (%)		
	Suhu 303 K	Suhu 313 K	Suhu 323 K
0	57.54	57.54	57.54
10	57.57	57.56	57.42
20	57.56	57.50	57.37
30	57.56	57.45	57.34
40	57.58	57.42	57.27

Penurunan kadar air tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi pada suhu 303, 313, dan 323 K mengikuti reaksi orde satu yaitu kinetika eksponensial. Kinetika eksponensial berarti pada awal penyimpanan sampai satu titik akan mengalami penurunan kadar air yang sebanding dengan waktu penyimpanan dan setelah beberapa waktu tertentu (titik tertentu) kadar air akan cenderung konstan.

Tabel 4. Persamaan Regresi Linear Parameter Kadar Air

Suhu °C	Persamaan Regresi Linear		R ²	
	Orde 0	Orde 1	Orde 0	Orde 1
30	y=0.0008x+57.5478	y=0.0000x+4.0526	0.7440	0.7440
40	y=-0.0037x+57.5674	y=-0.0001x+4.0523	0.8757	0.8757
50	y=-0.0062x+57.5124	y=-0.0001x+4.0520	0.9383	0.9386

Persamaan regresi linear dari plot $\ln k$ dan $1/T$ pada perubahan kadar air tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi yaitu $y=-10,001.18x+21.98$ dengan $R^2=0.9341$. Energi aktivasi (E_a) perubahan kadar air sebesar 19,862.34 kal/mol yang artinya untuk memulai terjadinya perubahan kadar air diperlukan energi sebesar tersebut.



Gambar 1. Plot Arrhenius Perubahan Kadar Air Selama Penyimpanan

Kandungan air dalam produk tetap menguap namun karena pengemasan yang hermetis membuat uap air tersebut tidak dapat keluar dari kemasan sehingga tertahan di permukaan dalam kemasan dengan terbentuk titik-titik uap air. Kemasan hermetis mampu mempertahankan gas dan uap air yang berasal dari dalam maupun dari luar kemasan [8].

Nilai pH

Perubahan nilai pH produk sebelum penyimpanan berkisar antara 4.75-4.61. Perubahan nilai pH seiring dengan penurunan suhu dan lama penyimpanan diduga karena antosianin dalam produk mengalami degradasi sehingga menyebabkan nilai pH menjadi berubah. Pemanasan menyebabkan konformasi struktur antosianin dimana antosianin berubah menjadi antosianidin yang tidak stabil [9].

Tabel 5. Rerata Perubahan Nilai pH Selama Penyimpanan

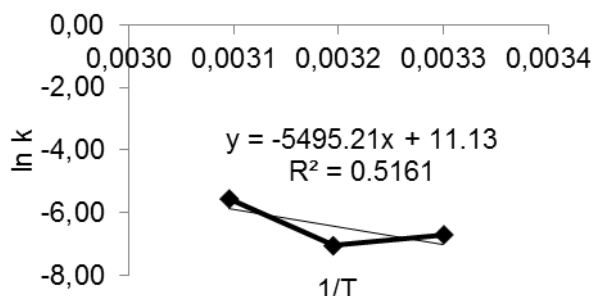
Hari ke-	Suhu 303 K	Suhu 313 K	Suhu 323 K
0	4.75	4.75	4.75
10	4.74	4.75	4.73
20	4.75	4.75	4.70
30	4.75	4.76	4.64
40	4.74	4.74	4.61

Tabel 5 menunjukkan kinetika perubahan pH tape ketan hitam khas Mojokerto yang disterilisasi pada suhu 30°C, 40°C, dan 50°C mengikuti reaksi orde nol. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan reaksi nilai pH secara konstan. Hasil regresi linear nilai pH diperoleh nilai koefisien yang mendekati satu ($R^2 \approx 1$) yang artinya lama penyimpanan berpengaruh terhadap nilai pH produk. Semakin lama penyimpanan, nilai pH produk semakin menurun.

Tabel 6. Persamaan Regresi Linear Parameter Nilai pH

Suhu °C	Persamaan Regresi Linear		R ²	
	Orde 0	Orde 1	Orde 0	Orde 1
30	y=-0.0012x+4.7520	y=-0.0003x+1.5586	0.9078	0.9079
40	y=-0.0009x+4.7400	y=-0.0002x+1.5574	0.4483	0.3147
50	y=-0.0039x+4.7633	y=-0.0009x+1.5610	0.9647	0.9639

Persamaan regresi linear dari plot $\ln k$ dan $1/T$ pada perubahan pH tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi yaitu $y = -5,495.21x + 11.13$ dengan $R^2 = 0.5161$. Energi aktivasi (E_a) perubahan kadar air sebesar 10,913.49 kal/mol yang artinya untuk memulai terjadinya perubahan warna diperlukan energi sebesar tersebut.



Gambar 2. Plot Arrhenius Perubahan Nilai pH Selama Penyimpanan

Perubahan Warna (ΔE)

Pada dasarnya, tape ketan hitam berwarna hitam keunguan karena bahan baku berupa beras ketan berwarna hitam keunguan. Warna tape ketan mengalami perubahan setelah 3 hari penyimpanan pada suhu ruang dan 4 minggu penyimpanan pada suhu dingin [10]. Perubahan warna yang terjadi yaitu warna tape menjadi kusam dan tidak segar. Kekusaman tape tersebut dikarenakan degradasi jaringan tape yang disertai dengan kerusakan pigmen tape. Adanya kadar air, produk akan tampak lebih terang karena air memiliki sifat memantulkan cahaya [11].

Tabel 7. Rerata Perubahan Warna (ΔE) Selama Penyimpanan

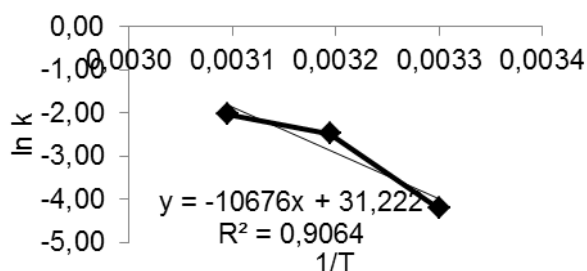
Hari ke-	Suhu 303 K	Suhu 313 K	Suhu 323 K
0	0.00	0.00	0.00
10	0.14	0.39	1.37
20	0.27	1.71	2.00
30	0.42	2.56	3.67
40	0.60	3.10	5.36

Kinetika perubahan warna tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi pada penyimpanan mengikuti reaksi orde nol. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi perubahan warna secara konstan. Perubahan warna yang terjadi pada tape ketan hitam khas Mojokerto ini dari hitam keunguan menjadi hitam kecoklatan. Perubahan akibat reaksi pencoklatan nonenzimatis berdasarkan orde reaksi nol [12].

Tabel 8. Persamaan Regresi Linear Parameter Perubahan Warna (ΔE)

Suhu °C	Persamaan Regresi Linear		R ²	
	Orde 0	Orde 1	Orde 0	Orde 1
30	$y = 0.0149x - 0.0112$	$y = 0.0488x - 2.3839$	0.9962	0.9774
40	$y = 0.0837x - 0.1226$	$y = 0.0665x - 1.2486$	0.9729	0.8276
50	$y = 0.1303x - 0.1244$	$y = 0.0470x - 0.1785$	0.9786	0.9904

Plot nilai $\ln k$ dan $1/T$ pada reaksi perubahan warna tape ketan hitam khas Mojokerto yang disterilisasi dapat dilihat pada Gambar 3. Persamaan regresi linear dari plot $\ln k$ dan $1/T$ pada perubahan warna tape ketan hitam mojokerto steril yaitu $y = -10,675.74x + 31.22$ dengan $R^2 = 0.9064$. Energi aktivasi (E_a) perubahan warna sebesar 21,202.01 kal/mol yang artinya untuk memulai terjadinya perubahan warna diperlukan energi sebesar tersebut.



Gambar 3. Plot Arrhenius Perubahan Warna Selama Penyimpanan

Energi aktivasi yang mengakibatkan kerusakan pigmen-pigmen yang larut air antara 15-30 kkal/mol [13]. Antosianin yang merupakan pigmen warna dalam beras ketan hitam mengalami kerusakan selama penyimpanan sehingga mempengaruhi perubahan warna dalam pada produk. Suhu pemanasan dan lama waktu pemanasan menyebabkan penurunan kadar antosianin akibat kerusakan. Penyebab kerusakan pigmen antosianin adalah perlakuan selama proses komersial mulai dari pemanasan suhu 60°C selama 30-60 menit dimana perlakuan ini menyebabkan kehilangan warna sampai 50% [14].

Total Mikroba

Total mikroba produk tidak mengalami perubahan selama penyimpanan 40 hari. Hal ini diduga karena penggunaan kemasan yang hermetis sehingga mampu menghambat masuknya mikroba maupun menghambat keluar ataupun masuknya uap air dari dalam ataupun dari luar kemasan. Tidak adanya perubahan total mikroba pada produk, menyebabkan produk tidak dapat dihitung energi aktivasinya, sehingga total mikroba tidak dijadikan sebagai parameter utama dalam pendugaan umur simpan tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi. Penyimpanan produk saat penentuan mutu awal (A_0) dan mutu akhir (A_t) ditemukan adanya pertumbuhan total mikroba setelah 70 hari. Hal ini diduga terjadi germinasi sel vegetatif selama penyimpanan. Jadi meskipun selama penyimpanan 40 hari tidak terdapat pertumbuhan mikroba, maka apabila diperpanjang penyimpanannya dapat ditemukan pertumbuhan mikroba.

Total Asam Titrasi

Tingginya total asam yang terkandung pada tape ketan dapat mempengaruhi rasa yang dihasilkan. Semakin rendahnya total asam yang terkandung dalam tape ketan maka semakin bagus kualitas yang dimiliki oleh tape ketan. Kebanyakan konsumen tidak menyukai tape ketan yang memiliki rasa asam [15].

Tabel 9. Rerata Perubahan Total Asam Titrasi Selama Penyimpanan

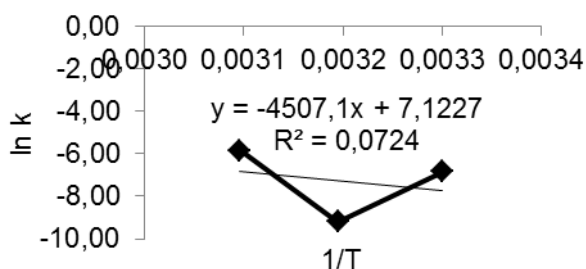
Hari ke-	Suhu 303 K	Suhu 313 K	Suhu 323 K
0	0.34	0.34	0.34
10	0.36	0.35	0.40
20	0.37	0.38	0.42
30	0.39	0.39	0.45
40	0.38	0.39	0.46

Tabel 9 menunjukkan kinetika perubahan total asam titrasi tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi pada penyimpanan suhu 303 K, 313 K, dan 323 K mengikuti reaksi orde nol. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi perubahan total asam titrasi produk selama penyimpanan terjadi secara konstan. Perubahan total asam titrasi suatu bahan pangan sebanding dengan perubahan nilai pH bahan pangan tersebut. Perubahan nilai pH pada pendugaan umur simpan tape ketan hitam khas Mojokerto mengikuti orde reaksi nol sehingga perubahan total asam titrasi juga mengikuti orde reaksi nol.

Tabel 10. Persamaan Regresi Linear Parameter Total Asam Tertitrasi

Suhu °C	Persamaan Regresi Linear		R ²	
	Orde 0	Orde 1	Orde 0	Orde 1
30	$y = 0.0011x + 0.34$	$y = 0.0030x - 1.07$	0.8027	0.8035
40	$y = 0.0014x + 0.34$	$y = 0.0038x - 1.07$	0.8932	0.8904
50	$y = 0.0029x + 0.36$	$y = 0.0072x - 1.04$	0.9146	0.8905

Persamaan regresi linear dari plot $\ln k$ dan $1/T$ pada perubahan total asam tertitrasi tape ketan hitam khas Mojokerto yang disterilisasi yaitu $y = -4,507.10x + 7.12$ dengan $R^2 = 0.0723$. Energi aktivasi (E_a) perubahan total asam tertitrasi sebesar 8,986.13 kal/mol yang artinya untuk memulai terjadinya perubahan warna diperlukan energi sebesar tersebut.



Gambar 4. Plot Arrhenius Perubahan Total Asam Tertitrasi Selama Penyimpanan

2. Pendugaan Umur Simpan

Pendugaan umur simpan tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi dihitung menggunakan persamaan regresi linear dari parameter yang memiliki nilai energi aktivasi terendah. Dari masing-masing persamaan diperoleh nilai k yang dapat digunakan untuk menghitung umur simpan produk. Nilai k diperoleh dari rumus $\ln k = \ln k_0 - E_a/R(1/T)$, dimana $\ln k_0$ =intersep, E_a/R =slope. Nilai k yang diperoleh kemudian dimasukkan dalam persamaan kinetika reaksi berdasarkan orde reaksinya. Parameter total asam tertitrasi mengikuti kinetika reaksi orde nol, sehingga persamaan umur simpannya adalah:

$$A_t = A_0 + kt$$

Keterangan : A_0 = nilai atribut mutu pada awal penyimpanan
 A_t = nilai atribut mutu pada akhir penyimpanan
 k = konstanta kecepatan reaksi
 t = waktu penyimpanan (hari)

Tabel 11. Persamaan Arrhenius Dan Energi Aktivasi Setiap Parameter

No.	Parameter	Persamaan Arrhenius	Energi aktivasi (kal/mol)
1	Kadar air	$\ln k = -10001.18(1/T) + 21.98$	19862.34
2	pH	$\ln k = -5495.21(1/T) + 11.13$	10913.49
3	Perubahan warna (ΔE)	$\ln k = -10675.74(1/T) + 31.22$	21202.01
4	Total mikroba	-	-
5	Total asam tertitrasi	$\ln k = -4507.10(1/T) + 7.12$	8951.10

Pendugaan umur simpan tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi dihitung menggunakan persamaan regresi linear dari parameter yang memiliki nilai energi aktivasi terendah. Persamaan yang diperoleh untuk menduga umur simpan tape ketan hitam yaitu $y = -4,507.10x + 7.12$ dengan energi aktivasi perubahan total asam tertitrasi sebesar 8,951.10 kal/mol, sehingga diperoleh umur simpan tape ketan hitam khas Mojokerto yang disterilisasi dijelaskan pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil Perhitungan Umur Simpan Tape Ketan Hitam Khas Mojokerto Hasil Sterilisasi pada Berbagai Suhu

Suhu		Nilai k	Umur Simpan	
°C	K		Hari	Bulan
10	283	0.000150	1534.7	51.2
25	298	0.000334	688.4	22.9
30	303	0.000429	536.4	17.9
40	313	0.000738	312.2	10.4
50	323	0.001079	213.5	7.1

Kenaikan suhu dapat menyebabkan terjadinya kecepatan reaksi yang lebih besar dimana hal tersebut ditunjukkan oleh kemiringan garis yang semakin tajam dan harga konstanta penurunan mutu yang semakin besar. Jika kecepatan reaksi besar maka konsentrasi reaktan dan hasil reaksi akan semakin besar pula sehingga produk menjadi semakin cepat rusak. Jika produk cepat rusak, maka semakin pendek umur simpannya [16].

SIMPULAN

Umur simpan tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi, diperoleh melalui parameter kritis total asam tertitrasi karena memiliki energi aktivasi paling rendah yaitu 8,951.10 kal/mol. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu penyimpanan tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi, umur simpan produk semakin pendek. Umur simpan tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi pada suhu 30°C selama 536.4 hari; suhu 40°C selama 312.2 hari; dan suhu 50°C selama 213.5 hari. Hasil perhitungan pada kondisi suhu ruang di daerah Malang dan sekitarnya yaitu pada suhu 25°C dihasilkan umur simpan mencapai 688.4 hari (1 tahun 9 bulan).

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Kilcast, D. and Subramaniam, P. 2000. The Stability and Shelf-Life of Food. Woodhead Publishing Limited. England
- 2) Sujarwanto. 2009. Tape Ketan Hitam Penghangat Tubuh yang Laris. http://nasional.news.viva.co.id/news/read/110097tape_ketan_hitam_penghangat_tubuh_yang_laris. Tanggal akses : 21/05/2013
- 3) Gandjar, I. 2003. Tapai From Cassava and Cereals. Paper presented at the First International Symposium and Workshop on Insight into the World of Indigenous Fermented Foods for Technology Development and Food Safety. Kasetsart University
- 4) Haryati. 2014. Penentuan Suhu dan Waktu Sterilisasi pada Produk Tape Ketan Hitam Khas Mojokerto. Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang
- 5) Labuza, T.P. 2007. Reaction Kinetics of Food Deterioration. Department of Food Science and Nutrition. University of Minnesota. <http://fscn.cfans.umn.edu/people/faculty/theodorelabuza>. Tanggal akses : 21/12/2013
- 6) Herawati, H. 2008. Penentuan Umur Simpan pada Produk Pangan. Jurnal Litbang Pertanian. 27:4
- 7) Gayatri, M. 2013. Penentuan Umur Simpan Bumbu Gulai Siap Pakai Menggunakan Metode Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) dengan Pendekatan Arrhenius. Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang
- 8) Winarno, F.G. 1994. Sterilisasi Produk Pangan Komersial. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- 9) Fennema, O. 2008. Food Chemistry Forth Edition. CRC Press. USA
- 10) Putri, Y.N. 2007. Mempelajari Pengaruh Penyimpanan Tape Ketan (*Oryza sativa glutinosa*) Terhadap Daya Terima Konsumen. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor

- 11) Cahyawati, A. 2011. Pendugaan Umur Simpan Jamur Kancing (*Agaricus bisporus*) Beku Menggunakan Metode Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) Dengan Pendekatan Arrhenius. Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang
- 12) Hariyadi, P. 2004. Prinsip-prinsip Pendugaan Masa Kedaluwarsa dengan Metode Accelerated Shelf Life Test. Pelatihan Pendugaan Waktu Kedaluwarsa (Self Life). Bogor, 1-2 Desember 2004. Pusat Studi Pangan dan Gizi Institut Pertanian Bogor. Bogor
- 13) Arpah. 2001. Penentuan Kedaluwarsa Produk Pangan. Program Studi Ilmu Pangan IPB. Bogor
- 14) Suda, I., Oki, T., Masuda, M., Kobayashi, M., Nishiba, Y., and Furuta, S. 2003. Physiological Functionality of Purple-Fleshed Sweet Potatoes Containing Anthocyanin and Their Utilization in Foods. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 37:3
- 15) Setyawardhani, R.D. 2008. Pengaruh Jenis Kemasan dan Volume Ketan Terhadap Fermentasi Serta Perubahan Mutu Tape Ketan Hitam Selama Penyimpanan. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- 16) Marcella, S. 2013. Prediksi Umur Simpan Crackers Menggunakan Metode Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT) dengan Pendekatan Arrhenius. Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang