



Prediksi umur simpan tepung beras ketan berdasarkan isoterme sorpsi air dengan persamaan *Guggenheim-Anderson-deBoer*

Nikmatul Hidayah*, Eka Rahayu

Pusat Riset Teknologi dan Proses Pangan, BRIN, Gunung Kidul, Indonesia

Article history

Diterima:

29 Mei 2023

Diperbaiki:

25 Agustus 2023

Disetujui:

29 Desember 2023

Keyword

Critical moisture content;

Moisture sorption isotherm;

Rice flour;

Shelf life

ABSTRACT

Acceleration of the shelf life of glutinous rice flour can be determined using the moisture sorption isotherm method with a critical moisture content approach using the Guggenheim-Anderson-deBoer (GAB) model. This research was to determine the prediction of the shelf life of glutinous rice flour in different storage conditions based on moisture sorption isotherm using the GAB model. The stages of the research included determining the parameters of product damage, selecting the packaging, determining the storage condition (temperature 30°C with humidity of 75%, 85%, and 90%), determining the time and frequency of sampling, data analysis, and prediction of product shelf life. The results showed that the ISA curve of glutinous rice flour had a sigmoid shape (type II). The GAB model accurately described the isotherm sorption characteristics of glutinous rice flour with a Mean Relative Determination of 4.06%. The slope was 0.21 with an R^2 value of 0.9835. Generally, the shelf life of glutinous rice flour decreased due to the increasing of storage humidity. The prediction of the shelf life of glutinous rice flour with an initial moisture content of 11.30% and a critical moisture content of 16% with the storage humidity of 75%, 85%, and 90% were 133 days, 71 days dan 56 days, respectively. This research is expected to provide information about the shelf life of glutinous rice flour needed for product distribution and storage purposes.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

* Penulis korespondensi

Email: Nikmahidayah@gmail.com

DOI 10.21107/agrointek.v18i4.20164

PENDAHULUAN

Beras ketan merupakan salah satu jenis beras khusus dan memiliki kadar amilopektin tinggi, mencapai lebih dari 90%. Beras ketan tidak mengandung gluten sehingga direkomendasikan sebagai sumber karbohidrat bebas gluten (Sattaka 2016). Berdasarkan pigmen warna pada lapisan permukaan biji (pericarp), terdapat tiga jenis beras ketan, yaitu beras ketan putih, ketan merah, dan ketan hitam. Komponen bioaktif yang membentuk pigmen warna merah dan hitam pada beras adalah antosianin dan proantosianidin (Amrinola et al. 2021). Beras ketan tidak memiliki ekonomi setinggi beras biasa. Tercatat pada tahun 2022, konsumsi beras ketan per kapita adalah sebesar 0,311 kg/tahun atau mengalami pertumbuhan sebesar 0,14% dari konsumsi perkapita pada tahun 2021 (Masa'ud and Wahyuningsih 2022).

Beras ketan baik dalam bentuk biji maupun tepung telah banyak digunakan sebagai bahan baku pangan. Tepung beras ketan merupakan produk antara dari beras ketan yang diolah melalui proses penepungan. Tepung beras ketan banyak digunakan sebagai bahan baku dalam proses pengolahan produk makanan, baik pada skala industri pangan modern maupun tradisional. Penggunaan tepung beras ketan pada industri pangan modern antara lain sebagai bahan pengental untuk saos, sup, puding dan bahan baku untuk pangsit berbasis beras ketan (Ding et al. 2015). Di Indonesia, tepung beras ketan banyak digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan berbagai kudapan tradisional seperti dodol, klepon dan mochi (Alyanti et al. 2017, Arifsyah et al. 2022). Peningkatan aplikasi tepung beras ketan pada berbagai produk pangan memerlukan informasi umur simpan yang tepat dan akurat untuk menjamin keamanan produk.

Penentuan umur simpan produk secara akselerasi dapat dilakukan menggunakan metode isotermi sorpsi air (ISA) dengan pendekatan kadar air kritis berdasarkan tingkat kelembaban relatif dan prinsip kadar air kesetimbangan. Kadar air kritis dapat dinyatakan sebagai nilai kadar air suatu produk dimana kondisi produk mulai tidak dapat diterima oleh konsumen karena mengalami penyimpangan atau kerusakan mutu (Labuza and Altunakar 2020). Pada umumnya produk pangan yang mengalami kerusakan karena penyerapan air adalah produk kering dengan kadar air rendah seperti tepung, biskuit, dan kerupuk (Adawiyah and Soekarto 2010). Kerusakan produk selama penyimpanan dapat dinilai dari penurunan

beberapa parameter mutu seperti perubahan warna atau aroma pada produk, penurunan tingkat kekerasan/kenyahan, dan meningkatnya kelengketan atau penggumpalan (Wijaya et al. 2018).

Isotermi sorpsi air (ISA) merupakan hubungan antara aktivitas air (a_w) dengan kadar air suatu bahan pangan pada suhu dan tekanan tertentu. Kurva ISA sangat penting untuk menentukan kualitas, stabilitas dan umur simpan suatu produk pangan. Umur simpan berdasarkan ISA ditentukan berdasarkan waktu yang diperlukan oleh suatu bahan untuk mengalami perubahan kadar air dari kadar air awal sampai mencapai kadar air kritis selama penyimpanan (Bajpai and Pradeep 2013). Prediksi perilaku sorpsi air oleh bahan dapat dilakukan menggunakan model matematika dengan dua atau lebih parameter. Salah satu model matematika yang sering digunakan untuk bahan pangan adalah model *Guggenheim-Anderson-deBoer* (GAB). Persamaan GAB dianggap sebagai model yang paling cocok untuk berbagai produk pangan pada rentang a_w yang luas antara 0-0,95. Persamaan GAB telah direkomendasikan oleh *European Project Group COST 90 on Physical Properties of Food* dan dinyatakan sebagai persamaan terbaik untuk memodelkan isotermi sorpsi air pada bahan pangan (Labuza and Altunakar 2020). Selain itu, persamaan GAB telah terbukti memiliki akurasi yang tinggi untuk memodelkan perilaku adsorpsi produk dengan rentang a_w yang luas terutama untuk produk biji-bijian (Moreira et al. 2010) dan tepung-tepungan (Chiste et al. 2015, Ahmed et al. 2018).

Metode pendekatan kadar air kritis telah banyak digunakan untuk menentukan umur simpan produk pangan yang bersifat higroskopis seperti tepung (Wahyuni et al. 2020), produk bubuk (Muzaffar and Kumar 2016, Juliana et al. 2020), sereal (Lindriati and Maryanto 2016), beras pratanak (Hasniar et al. 2019), beras analog (Sugiyono et al. 2012, Kurniawan 2018), keripik (Sugiyono et al. 2013, Kaslam et al. 2020), dan kukis (Jamaluddin et al. 2014, Setiaboma et al. 2020). Pendekatan kadar air kritis telah digunakan untuk menentukan umur simpan beras pratanak dalam kemasan polietilen dan polipropilen. Hasil prediksi umur simpan beras pratanak dalam kemasan polietilen dan polipropilen secara berturut-turut adalah 2,2 tahun dan 8,2 tahun (Hasniar et al. 2019). Pendekatan titik air kritis juga dapat digunakan untuk memprediksi umur

simpan tepung *Wikao Mambau* (makanan tradisional dari Buton-Sulawesi Tenggara) dalam kemasan polipropilen dengan berbagai ketebalan yaitu selama 318-434 hari pada suhu 30°C (Wahyuni et al. 2020). Pendekatan titik air kritis dilaporkan dapat memprediksi umur simpan tepung jagung kuning instan dalam berbagai jenis kemasan. Umur simpan tepung jagung kuning instan dengan kemasan polietilen dan polipropilen dengan ketebalan 0,05 mm pada kondisi penyimpanan suhu 28°C dan RH 78% secara berturut-turut adalah 107 hari dan 153 hari (Amanto et al. 2011). Model GAB secara tepat dapat menggambarkan isotermi sorpsi air dan memprediksi umur simpan pada tepung polong-polongan dalam kemasan plastik poli propilen selama penyimpanan (Khoirunnissa et al. 2022). Model GAB dapat memprediksi umur simpan tepung edamame yang dikemas dalam beberapa jenis kemasan. Hasil analisis menunjukkan umur simpan tepung edamame yang disimpan pada RH 75% menggunakan kemasan aluminium foil, polipropilen, dan plastik metalize secara berturut-turut adalah 229 hari, 179 hari, dan 585 hari (Handoyo and Sarofa 2023). Selain itu, model persamaan GAB juga dapat memprediksi umur simpan beras analog singkong dengan kadar air kritis 15,24%. Prediksi umur simpan beras analog singkong dengan kemasan polipropilen dan nilon secara berturut-turut adalah 20 bulan dan 39 bulan (Kurniawan et al. 2021).

Tepung beras ketan termasuk produk yang bersifat higroskopis yang mudah menyerap air, sehingga kestabilan produk dipengaruhi oleh kondisi lingkungan selama penyimpanan. Riset mengenai penentuan umur simpan tepung beras ketan baik melalui metode empiris maupun akselerasi masih sangat terbatas, sehingga riset ini diperlukan untuk mengetahui umur simpan tepung beras ketan melalui pendekatan isotermi sorpsi air. Tujuan riset ini adalah untuk menentukan umur simpan tepung beras ketan berdasarkan isotermi sorpsi air menggunakan persamaan GAB. Tahapan penentuan umur simpan tepung beras ketan yang akan dilakukan dalam riset meliputi penetapan parameter kriteria kedaluwarsa atau kerusakan produk, pemilihan jenis kemasan, penentuan suhu penyimpanan, penentuan waktu dan frekuensi pengambilan sampel selama penyimpanan, analisis data, dan analisis prediksi umur simpan sesuai batas akhir penurunan mutu produk yang dapat diterima. Hasil riset ini diharapkan dapat memberikan informasi

mengenai umur simpan tepung beras ketan dalam kemasan plastik polipropilen yang diperlukan untuk keperluan distribusi dan penyimpanan produk.

METODE

Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam riset ini adalah beras ketan berwarna putih varietas lokal yang diperoleh dari petani di wilayah Kabupaten Magelang. Bahan pendukung lain yang digunakan yaitu akuades, kemasan polipropilen, dan garam jenuh. Beberapa garam jenuh yang digunakan meliputi NaOH, MgCl₂, NaCl, KCl, dan BaCl₂. Peralatan yang digunakan antara lain mesin penepung tipe *disk mill* (*Getra type SY-1200, Indonesia*), *plastic sealer* (*Q2 PFS-200, China*), oven (*Memmert UN110, Jerman*), desikator modifikasi toples, termohigrometer, timbangan analitik (*Precisa, type XT 200 A, Switzerland*), dan cawan aluminium.

Persiapan sampel penelitian

Tepung beras ketan disiapkan dari beras ketan yang diproses menggunakan mesin penepung tipe *disk mill*. Tingkat kehalusan tepung yang digunakan dalam penelitian ini adalah 80 mesh. Sebanyak 40 gram tepung beras ketan dikemas menggunakan plastik polipropilen. Selanjutnya sampel disimpan pada suhu 30°C dengan berbagai RH penyimpanan yaitu 75%, 80%, dan 90%. RH penyimpanan dikondisikan dengan cara meletakkan sejumlah garam jenuh pada ruang penyimpanan, yaitu NaCl untuk RH 75%, KCl untuk RH 80%, dan BaCl₂ untuk RH 90%. Pengamatan dilakukan secara berkala terhadap perubahan sifat organoleptik (tekstur dan bau) dan kadar air tepung beras ketan sampai diperoleh kadar air kritis (% bk).

Penentuan kadar air kesetimbangan

Pembuatan larutan garam jenuh dilakukan dengan melarutkan garam ke dalam akuades hingga jenuh. Larutan garam jenuh selanjutnya dimasukkan ke dalam desikator. Sementara itu disiapkan 5 gram tepung beras ketan diletakkan pada cawan yang sudah diketahui beratnya. Selanjutnya cawan yang berisi sampel dimasukkan ke dalam desikator dan disimpan pada suhu 30 °C. Selama penyimpanan selama 7 hari, sampel ditimbang setiap 24 jam hingga mencapai berat konstan. Berat konstan merupakan berat yang diperoleh dari selisih bobot pada tiga

kali penimbangan berturut-turut tidak lebih dari 2 mg yang disimpan pada RH di bawah 90%, dan tidak lebih dari 10 mg pada 3 RH di atas 90. Kadar air yang diperoleh dari pengukuran pada saat berat konstan merupakan kadar air kesetimbangan (*equilibrium moisture content*=*Me*).

Penentuan kadar air kritis

Pengamatan terhadap sampel tepung beras ketan dilakukan secara berkala setiap 48 jam melalui pengujian organoleptik dan analisis kadar air. Uji organoleptik sampel dilakukan melalui uji hedonik menggunakan metode skoring oleh 30 orang panelis tak terlatih yang sama. Parameter mutu yang diamati selama pengujian organoleptik yaitu tingkat kesukaan dan rating tekstur sampel tepung beras ketan. Selanjutnya hasil pengujian dibandingkan dengan hasil analisis kadar air. Kadar air kritis sampel ditentukan berdasarkan skor hedonik 3 yang diperoleh ketika sampel tepung mengalami penggumpalan dan perubahan aroma sehingga sampel tepung beras ketan sudah tidak bisa diterima atau disukai oleh panelis.

Pemodelan kurva isotermit sorpsi air

Model persamaan matematika diujicobakan pada data kadar air kesetimbangan untuk memperoleh kurva ISA yang terbaik. Model persamaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah model *Guggenheim Anderson deBoer* (GAB). Data kadar air kesetimbangan (*Me*) dan *a_w* hasil percobaan digunakan dalam perhitungan pada model persamaan GAB. Ketepatan hasil perhitungan *Me* selanjutnya dievaluasi menggunakan perhitungan *Mean Relative Determination* (MRD). Nilai MRD < 5 menunjukkan bahwa model sorpsi isotermit dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya dengan sangat tepat, sedangkan nilai 5 < MRD < 10 menunjukkan model sorpsi isotermit tersebut agak tepat dalam menggambarkan nilai yang sebenarnya. Apabila nilai MRD > 10 maka model persamaan dianggap tidak tepat dalam menggambarkan nilai yang sebenarnya (Faridah et al. 2013). Rumus perhitungan MRD sebagai berikut:

$$MRD = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{M_i - M_{pi}}{M_i} \quad (1)$$

Keterangan:

MRD = *mean relative determination*

M_i = kadar air hasil percobaan (%)

M_{pi} = kadar air hasil perhitungan (%)

N = jumlah data

Penentuan nilai kemiringan kurva isotermit sorpsi air (Labuza and Altunakar 2020)

Nilai kemiringan kurva isotermit sorpsi air (ISA) ditentukan pada daerah linier, yaitu daerah antara kadar air awal dan kadar air akhir (Labuza and Altunakar 2020). Kurva diperoleh dengan cara memplotkan nilai kadar air kesetimbangan (*Me*) hasil perhitungan dengan GAB dan beberapa RH penyimpanan. Titik kadar air awal dan kadar air akhir akan dihubungkan dengan garis lurus, dan akan menghasilkan persamaan linier $y = a + bx$. Nilai *b* pada persamaan linier tersebut adalah nilai kemiringan kurva isotermit sorpsi air.

Perhitungan umur simpan

Umur simpan tepung beras ketan ditentukan berdasarkan persamaan Labuza (Labuza and Altunakar 2020) sebagai berikut:

$$t = \ln \frac{\frac{M_c - M_e}{M_c - M_o}}{\frac{k}{x} \left(\frac{A}{W_s} \right) \frac{P_o}{b}} \quad (2)$$

Keterangan:

t = Umur simpan (tahun)

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

Mo = Kadar air awal produk di awal penyimpanan (%) (*Mo* = 11,30; SNI 3549: 2009) (BSN 2009).

Mc = Kadar air kritis pada suhu tertentu (%)

k/x = *WVTR/Po* = konstanta permeabilitas kemasan ($\text{g H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{hari}/\text{mmHg}$)

WVTR = *water vapor transmission rate* ($\text{g}/\text{m}^2/\text{hari}$) pada suhu dan RH tertentu (%)

A = Luas permukaan kemasan (m^2)

Ws = Berat kering bahan dalam kemasan (g)

Po = Tekanan uap air jenuh (mmHg)

b = Slope kurva isotermit sorpsi air

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kurva isotermit sorpsi air tepung beras ketan

Umur simpan merupakan selang waktu antara bahan pangan mulai diproduksi hingga tidak dapat diterima lagi oleh konsumen akibat adanya penyimpangan mutu. Adanya perubahan kadar air selama penyimpanan akan mempengaruhi mutu makanan sehingga dengan mengetahui pola penyerapan air dan menetapkan nilai kadar air kritis, maka umur simpan suatu produk dapat ditentukan. Hasil pengukuran kadar

air kesetimbangan dan kadar air kesetimbangan prediksi pada berbagai RH dengan menggunakan larutan garam yang disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2 akan menghasilkan kurva isotherm sorpsi air (ISA) seperti tampak pada Gambar 1. ISA menunjukkan hubungan antara kadar air bahan dengan RH kesetimbangan ruang tempat penyimpanan bahan atau aktivitas air pada suhu tertentu. Kurva ISA menggambarkan sifat-sifat hiratasi bahan pangan, yaitu kemampuan bahan pangan secara alami dapat menyerap air dari udara di sekelilingnya dan sebaliknya dapat melepaskan sebagian air yang terkandung di dalamnya ke udara.

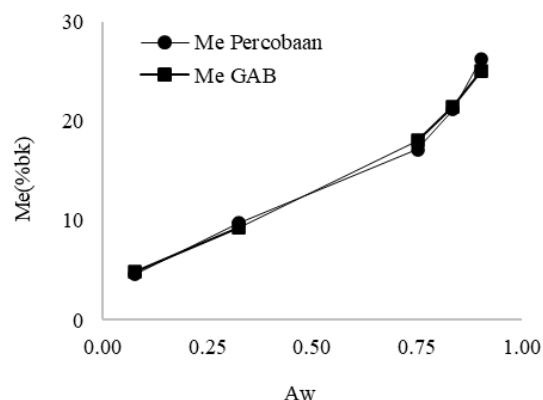
Tabel 1 Nilai RH dan a_w garam jenuh pada suhu 30 °C

Garam	RH (%)	a_w
NaOH	7,58	0,08
MgCl ₂	32,41	0,32
NaCl	75,08	0,75
KCl	83,60	0,84
BaCl ₂	90,31	0,90

Tabel 2 Kadar air kesetimbangan (Me) tepung beras ketan pada berbagai RH penyimpanan

RH (%)	a_w	Me percobaan (%)	Me GAB (%)
7,58	0,08	4,59	4,81
32,41	0,32	9,76	9,29
75,08	0,75	17,16	18,04
83,60	0,84	21,20	21,43
90,31	0,90	26,24	25,06

Kurva ISA pada percobaan menunjukkan bahwa karakteristik penyerapan uap air pada produk meningkat seiring dengan bertambah tingginya RH penyimpanan. Kurva ISA produk pada percobaan merupakan kurva ISA tipe II yang berbentuk sigmoid (menyerupai huruf S). Kurva tipe II umum dijumpai pada sebagian besar produk pangan yang sensitif terhadap uap air. Kurva ISA dapat diklasifikasikan ke dalam 3 tipe, yaitu tipe I adalah tipe Langmuir, tipe II adalah bentuk sigmoid (huruf S) dan tipe III (Flory-Huggins) yang berbentuk seperti huruf J (Labuza and Altunakar 2020). Kurva berbentuk sigmoid disebabkan oleh kombinasi dari efek koligatif, kapiler dan interaksi antar permukaan. Kurva ISA tipe II pada umumnya dimiliki oleh produk pangan kering seperti tepung ubijalar (Rukmawati et al. 2017), tepung singkong (Alfiah et al. 2017), dan tepung jagung instan (Aini et al. 2014).



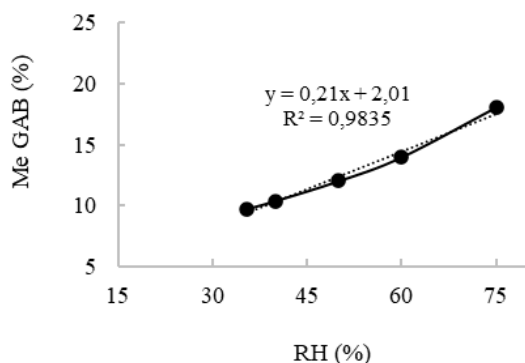
Gambar 1 Kurva isothermi sorpsi air tepung beras ketan

Karakteristik bentuk kurva ISA produk pangan ditentukan oleh jenis dan jumlah komponen higroskopis yang ada pada suatu bahan (Falade et al. 2003). Bentuk kurva ISA pada umumnya juga tergantung pada struktur dan komposisi produk pangan dan ditentukan berdasarkan percobaan, karena metode prediksi tidak dapat mensimulasikan sistem yang kompleks seperti pada produk pangan (Oyerinde and Lawal 2015). Kurva ISA pada Gambar 1 menunjukkan bahwa kurva ISA hasil percobaan saling berhimpitan dengan kurva ISA model GAB. Hal ini menunjukkan bahwa model persamaan GAB yang digunakan dapat menggambarkan fenomena sorpsi isothermi pada tepung beras ketan secara tepat karena nilai yang diprediksi mendekati nilai yang terukur pada percobaan. Selain itu, nilai *Mean Relative Determination* (MRD) yang diperoleh pada kurva ISA model GAB juga cukup rendah dengan nilai 4,06% yang menunjukkan ketepatan model dalam memprediksi nilai kesetimbangan kadar air suatu produk. Nilai MRD dapat menggambarkan nilai sebenarnya dimana semakin rendah % MRD maka semakin tepat prediksi yang diperoleh dari model persamaan. Nilai MRD < 5 menunjukkan bahwa model sorpsi isothermi tersebut dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya dengan sangat tepat (Faridah et al. 2013).

Model persamaan GAB terbukti secara tepat dapat menentukan kurva ISA produk bahan pangan berbentuk bubuk seperti tepung jagung, tepung gandum, dan minuman bubuk. Persamaan GAB diketahui dapat memprediksi isothermi sorpsi air pada bahan biologis pada rentang a_w yang cukup lebar antara 0,05 sampai dengan 0,8-0,9 (Stępień et al. 2020). Model GAB terbukti secara

tepat dapat digunakan untuk memprediksi kurva ISA pada tepung tapioka dan bubuk alpukat (Chisté et al. 2012, Stepień et al. 2020). Hasil studi lain menyatakan bahwa model persamaan GAB merupakan model terbaik untuk memprediksi kurva ISA pada tepung ubijalar terfermentasi angkak pada suhu 30°C dengan nilai MRD 4,41 (Rukmawati et al. 2017).

Nilai kemiringan kurva isotermi sorpsi air



Gambar 2 Penentuan slope kurva ISA model GAB

Nilai kemiringan kurva ISA tepung beras ketan disajikan pada Gambar 2. Hasil regresi linier kurva ISA menghasilkan persamaan garis $y=0,21x + 2,01$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9835 dan nilai b (*slope*) sebesar 0,21. Hal ini mengindikasikan bahwa model GAB yang digunakan dapat memprediksi nilai kesetimbangan kadar air dengan nilai determinasi sebesar 98,35 %. Model GAB merupakan model kurva ISA yang sesuai untuk hampir semua produk pada seluruh rentang a_w (Kulchan et al. 2010). Kurva ISA model GAB

dapat digunakan untuk menghitung nilai kadar air monolayer, kadar air kesetimbangan, dan *slope* kurva ISA yang diperlukan dalam perhitungan umur simpan serta menentukan sifat struktural produk pangan. Berdasarkan persamaan Labuza dalam pendugaan umur simpan produk pangan, diketahui bahwa *slope* kurva ISA berbanding lurus terhadap umur simpan produk. Nilai *slope* yang besar akan menghasilkan perhitungan umur simpan produk pangan yang relatif lebih lama, dan sebaliknya nilai *slope* yang kecil akan menghasilkan perhitungan umur simpan produk pangan yang relatif lebih singkat.

Umur simpan tepung beras ketan

Berdasarkan nilai *slope* yang diperoleh dari kurva ISA dapat ditentukan umur simpan tepung beras ketan pada suhu penyimpanan 30 °C dengan berbagai RH penyimpanan (Tabel 3). Kadar air kesetimbangan (Me) tepung beras ketan yang diperoleh pada berbagai RH penyimpanan 75%, 85%, dan 90% yaitu 18,01%, 22,10%, dan 24,87%. Berdasarkan nilai *slope*, Me, luas permukaan kemasan, tekanan uap air jenuh, dan bobot solid per kemasan seperti yang tercantum pada Tabel 3 dapat ditentukan prediksi umur simpan tepung beras ketan yang disimpan pada suhu 30°C dengan berbagai RH penyimpanan. Hasil prediksi umur simpan dengan model persamaan GAB menunjukkan bahwa umur simpan tepung beras ketan mengalami penurunan seiring dengan kenaikan RH penyimpanan. Kondisi penyimpanan pada suhu 30°C dan RH 75% menunjukkan prediksi umur simpan tepung beras ketan paling tinggi yaitu 133 hari.

Tabel 3 Data perhitungan umur simpan tepung beras ketan pada berbagai RH penyimpanan

Uraian	RH Penyimpanan (%)		
	75	85	90
Kadar air awal (Mo) (%bk)	11,30	11,30	11,30
Kadar air kritis (Mc) (%bk)	16	16	16
Kadar air kesetimbangan (Me) (%bk)	18,01	22,1	24,86
Kemiringan kurva ISA (b)	0,21	0,21	0,21
Luas kemasan (A) (m ²)	0,06	0,06	0,06
Berat padatan per kemasan (Ws) (gr)	35,48	35,48	35,48
Tekanan uap jenuh suhu 30 °C (Po)(mmHg)	31,82	31,82	31,824
Konstanta permeabilitas kemasan (k/x) (g/m ² /hari/mmHg)	0,0348	0,0307	0,0290
Umur simpan (hari)	133	71	56

Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa prediksi

umur simpan bandrek instan dengan model persamaan GAB akan menurun seiring dengan

kenaikan RH penyimpanan. Produk pangan yang bersifat higroskopis seperti tepung, semakin tinggi RH penyimpanan akan meningkatkan penyerapan uap air oleh produk sehingga mempercepat kerusakan mutu produk (Faridah et al. 2013). RH penyimpanan yang tinggi akan meningkatkan kadar air produk yang menyebabkan peningkatan laju kemunduran mutu produk yang secara langsung akan berpengaruh terhadap umur simpan produk (Ansar 2011). Beberapa faktor yang mempengaruhi umur simpan produk antara lain ukuran partikel dan kondisi penyimpanan seperti suhu dan RH lingkungan (Juliana et al. 2020), serta jenis kemasan (Kurniawan 2018, Juliana et al. 2020). Jenis kemasan polipropilen diketahui mempunyai sifat kemasan yang lebih baik dibandingkan dengan kemasan polietilen, sehingga dapat memberikan umur simpan produk yang lebih lama pada kondisi penyimpanan yang sama (Mustafidah and Widjanarko 2015).

Hasil perhitungan prediksi umur simpan tepung beras ketan pada suhu 30°C dengan berbagai RH penyimpanan dengan model persamaan GAB pada Tabel 3 dapat menggambarkan umur simpan produk yang sebenarnya karena hasil perhitungan GAB mempunyai nilai MRD yang cukup rendah yaitu 4,06. Nilai MRD dibawah 5 menunjukkan hasil perhitungan GAB dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya secara tepat (Faridah et al. 2013). Selain itu, hasil perhitungan kurva ISA tepung beras ketan juga mempunyai bentuk sigmoid. Keakuratan penggunaan garis lurus pada kurva ISA yang menghubungkan nilai kadar air serta RH pada saat kadar air awal dan kadar air kritis untuk memperoleh *slope* kurva ISA dan kadar air kesetimbangan (Me) dalam penentuan umur simpan produk pangan, yaitu berlaku untuk produk pangan yang sensitif terhadap penyerapan uap air dengan karakteristik kurva ISA berbentuk sigmoid. Hal ini disebabkan asumsi parameter pada persamaan Labuza dalam pendugaan umur simpan produk pangan akan menghasilkan pendugaan umur simpan yang akurat apabila digunakan pada produk pangan yang memiliki kurva ISA berbentuk sigmoid (Labuza and Altunakar 2020). Secara umum hasil penelitian ini sesuai dengan beberapa hasil penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa model GAB secara tepat dapat memprediksi umur simpan produk pangan berdasarkan isoterme sorpsi air antara lain pada produk bandrek instan (Faridah et

al. 2013), beras analog (Kurniawan 2018), dan kukis mokaf (Setiaboma et al. 2020).

KESIMPULAN

Model persamaan *Guggenheim-Anderson-deBoer* (GAB) secara tepat dapat memprediksi umur simpan pada tepung beras ketan menggunakan pendekatan kadar air kritis dengan nilai MRD 4,06%. Prediksi umur simpan tepung beras ketan dengan kemasan kantung plastik polipropilen dengan kadar air awal 11,30% dan kadar air kritis 16% cenderung mengalami penurunan seiring dengan kenaikan RH penyimpanan. Prediksi umur simpan tepung beras ketan paling tinggi adalah pada kondisi penyimpanan dengan suhu 30°C dan RH 75% yaitu 133 hari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Laboratorium Analisis Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor yang telah mendukung pelaksanaan kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah, D. R., and S. T. Soekarto. 2010. Pemodelan isoterme sorpsi air pada model pangan [Modelling of Moisture Sorption Isotherm in Food Model]. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan* XXI(1):33–39.
- Ahmed, Md. W., M. G. Aziz, and Md. N. Islam. 2018. Modeling of Moisture Adsorption Isotherm of Selected Commercial flours of Bangladesh. *The Agriculturists* 16(2):35–42.
- Aini, N., V. Prihananto, and G. Wijonarko. 2014. Karakteristik kurva isotherm sorpsi air tepung jagung instan Moisture Sorption Isotherm of Instan Corn Flour from Four Variety of Corn. *Agritech* 34(1):50–55.
- Alfiah, M. N., S. Hartini, and M. N. Cahyanti. 2017. Pemodelan Matematika dan Sifat Termodinamika Isoterm Sorpsi Air Tepung Singkong Terfermentasi Angkak. *Jurnal Penelitian Kimia* 13(1):29–40.
- Alyanti, Patang, and Nurmila. 2017. Analisis Pembuatan Dodol Berbahan Baku Tepung Melinjo Dan Tepung Beras Ketan. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian* 3:40.

- Amanto, B. S., W. Atmaka, and D. Rachmawati. 2011. Prediksi umur simpan tepung jagung (*Zea mays* L.) instan di dalam kemasan plastik. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian* IV(2):74–83.
- Amrinola, W., A. B. Sitanggang, F. Kusnandar, and S. Budijanto. 2021. Characterization of three cultivars of Indonesian glutinous rice: A basis for developing rice-based functional food. *Annals of the University Dunarea de Jos of Galati, Fascicle VI: Food Technology* 45(1):141–156.
- Ansar. 2011. Pengaruh Suhu dan Kelembaban Udara Terhadap Perubahan Mutu Tablet Effervescen Sari Buah Selama Penyimpanan. *Teknologi dan Industri Pangan* XXII(1):73–77.
- Arifsyah, J., D. Puspita Dewi, and S. Wahyuningsih. 2022. Effect substitution of taro flour (*Colocasia esculenta*) and red rice flour (*Oryza nivara*) on the proximate and iron level in mochi. *Ilmu Gizi Indonesia* 05(02):141–150.
- Bajpai, S. K., and T. Pradeep. 2013. Studies on equilibrium moisture absorption of kappa carrageenan. *International Food Research Journal* 20(5):2183–2191.
- BSN. 2009. Sni 3549-2009.
- Chiste, R. C., J. M. Cardoso, D. A. de Silva, and R. de S. Pena. 2015. Hygroscopic behaviour of cassava flour from dry and water groups. *Ciencia Rural* 45(8):1515–1521.
- Chisté, R. C., P. A. Silva, A. S. Lopes, and R. da Silva Pena. 2012. Sorption isotherms of tapioca flour. *International Journal of Food Science and Technology* 47(4):870–874.
- Ding, W., Y. Wang, W. Zhang, Y. Shi, and D. Wang. 2015. Effect of ozone treatment on physicochemical properties of waxy rice flour and waxy rice starch. *International Journal of Food Science and Technology* 50(3):744–749.
- Falade, K. O., A. I. Adetunji, and O. C. Aworh. 2003. Adsorption isotherm and heat of sorption of fresh- and osmo-oven dried plantain slices. *European Food Research and Technology* 217(3):230–234.
- Faridah, D. N., S. Yasni, A. Suswantinah, and G. W. Aryani. 2013. Pendugaan Umur Simpan Dengan Metode Accelerated Shelf-Life Testing pada Produk Bandrek Instan dan Sirup Buah Pala (*Myristica fragrans*).
- Handoyo, A. M. F., and U. Sarofa. 2023. Estimation of Edamame Flour Shelf Life Using the Critical Moisture Approach. *Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment* 7(2).
- Hasniar, R. Hasbullah, and I. W. Astika. 2019. Pemodelan Sorpsi Isotermi dan Pendugaan Umur Simpan Beras Pratanak pada Kemasan Plastik Film. *Jurnal Keteknikaan Pertanian* 7(1):75–82.
- Jamaluddin, J., R. Molenaar, and D. Tooy. 2014. Kajian isotermi sorpsi air dan fraksi air terikat kue pia kacang hijau asal kota gorontalo [Study on Moisture Sorption Isotherm and Bound Water Fractions of Green Beans Taste of Pia Cake from Gorontalo]. *Hasil Penelitian J. Ilmu dan Teknologi Pangan* 2(1).
- Juliana, R., R. Hasbullah, and S. S. Mardjan. 2020. Models of Moisture Sorption Isotherm and The Estimation of Red Ginger Powder Shelf Life in Various Packaging Materials. *Jurnal Keteknikaan Pertanian* 8(1):23–28.
- Kaslani, K., S. Salengke, and H. A. Koto. 2020. Sorpsi Isotermi dan Daya Patah Pada Emping Jagung Pulut. *Jurnal Agritechno* 13(1):16–23.
- Khoirunnissa, R., A. Ningrum, A. Fitriani, S. Supriyadi, T. Pangan, F. Teknologi, I. Universitas, A. Dahlan, and J. Ringroad. 2022. Isoterm adsorpsi serta pendugaan umur simpan tepung polong-polongan indigenous Indonesia. *Jurnal Teknologi Pertanian* 23(2):129–138.
- Kulchan, R., W. Boonsupthip, and P. Suppakul. 2010. Shelf life prediction of packaged cassava-flour-based baked product by using empirical models and activation energy for water vapor permeability of polyolefin films. *Journal of Food Engineering* 100(3):461–467.
- Kurniawan, Y. R. 2018. Pendugaan Umur Simpan Beras Analog Berdasarkan Perilaku Isotermis Sorpsi Air.
- Kurniawan, Y. R., N. Pakpahan, Y. A. Purwanto, N. Purwanti, and S. Budijanto. 2021. Stabilitas Beras Analog Berdasarkan Pola Kadar Air

- Kesetimbangan. *Jurnal Pangan* 30(2):87–98.
- Labuza, T. P., and B. Altunakar. 2020. Water Activity Prediction and Moisture. *Water Activity in Foods: Fundamentals and Relationships* 2:161–205.
- Lindriati, T., and Maryanto. 2016. Aktivitas air, kurva sorpsi isothermis serta perkiraan umur simpan flake ubi kayu dengan variasi penambahan koro pedang. *J. Agroteknologi* 10(2):129–136.
- Masa'ud, and S. Wahyuningsih. 2022. *Statistik Konsumsi Pangan 2022*. Jakarta.
- Moreira, R., F. Chenlo, M. D. Torres, and D. M. Prieto. 2010. Water adsorption and desorption isotherms of chestnut and wheat flours. *Industrial Crops & Products* 32(3):252–257.
- Mustafidah, C., and S. B. Widjanarko. 2015. Umur Simpan Minuman Serbuk Berserat dari Tepung Porang (*Amorpophallus oncophyllus*) dan Karagenan Melalui Pendekatan Kadar Air Kritis. *Jurnal Pangan dan Agroindustri* 3(2):650–660.
- Muzaffar, K., and P. Kumar. 2016. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology* 291:322–327.
- Oyerinde, A. S., and M. O. Lawal. 2015. Experimental Determination of Moisture Sorption Isotherms of Okro Fruit. *International Journal of Scientific & Engineering Research* 6(2):533–537.
- Rukmawati, Y. E. A., S. Hartini, and M. N. Cahyanti. 2017. Isoterm Sorpsi Air pada Tepung Ubi Jalar Terfermentasi dengan Angkak. *Jurnal Kimia VALENSI* 3(1):71–78.
- Sattaka, P. 2016. 2016 - Sattaka - View of Geographical Distribution of Glutinous Rice in the Greater Mekong Sub-region.pdf. *Journal of Mekong Societies* 12(3):27–48.
- Setiaboma, W., D. Kristanti, and N. Afifah. 2020. Pendugaan Umur Simpan Kukis Mocaf dengan Metode Akselerasi Berdasarkan Kadar Air Kritis. *Jurnal Riset Teknologi Industri* 14(2):167.
- Stepień, A., M. Witczak, and T. Witczak. 2020. Moisture sorption characteristics of food powders containing freeze dried avocado, maltodextrin and inulin. *International Journal of Biological Macromolecules* 149:256–261.
- Sugiyono, E. Mariana, and A. Yulianto. 2013. Pembuatan Crackers Jagung Dan Pendugaan Umur Simpannya Dengan Pendekatan Kadar Air Kritis. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan* 24(2):129–137.
- Sugiyono, H. Satyagraha, W. Joelijani, and E. Syamsir. 2012. Pendugaan Umur Simpan Produk Granula Ubi Kayu Menggunakan Model Isoterm Sorpsi Air.
- Wahyuni, S., T. Azis, N. D. P. Dewi, C. Juwita, and H. Holilah. 2020. Prediksi Umur Simpan Tepung Wikau Maombo Menggunakan Pendekatan Kadar Air Kritis 5(3):2950–2966.
- Wijaya, D. N., F. A. Susanto, Y. A. Purwestri, D. Ismoyowati, and T. R. Nuringtyas. 2018. NMR metabolite comparison of local pigmented rice in Yogyakarta. *Indonesian Journal of Biotechnology* 22(2):68.