

# Stabilitas Beras Analog Berdasarkan Pola Kadar Air Kesetimbangan

## *Stability of Rice Analog Based on Pattern of Equilibrium Moisture Content*

Yose Rizal Kurniawan<sup>1</sup>, Novriaman Pakpahan<sup>2</sup>, Y. Aris Purwanto<sup>3</sup>,  
Nanik Purwanti<sup>3</sup>, dan Slamet Budijanto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pusat Penelitian Teknologi Tepat Guna, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
Jl. K.S. Tubun No. 5 Subang 41213

<sup>2</sup>Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Teuku Umar  
Gd. Faperta Kampus Universitas Teuku Umar Meureubo Aceh Barat 23615

<sup>3</sup>Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor  
Email : yorizk1@gmail.com

Diterima: 30 September 2020

Revisi: 31 Maret 2021

Disetujui: 2 Agustus 2021

### ABSTRAK

Salah satu parameter penting yang dibutuhkan dalam mendistribusikan produk pangan dari gudang penyimpanan hingga ke tangan konsumen adalah stabilitas pangan. Salah satu cara untuk menggambarkan stabilitas pangan adalah melalui kurva isotermin sorpsi air (ISA) yaitu pola kadar air kesetimbangan (KAK) sebagai fungsi dari kelembaban relatif (RH) ruang penyimpanan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan model matematika yang tepat untuk menggambarkan ISA dari beras analog. Pemodelan tersebut digunakan untuk menduga umur simpan beras analog melalui pendekatan kadar air kritis. Larutan garam jenuh yang digunakan untuk mengkondisikan RH ruang penyimpanan beras analog adalah NaOH, CH<sub>3</sub>COOK, MgCl<sub>2</sub>, KI, NaCl, KCl dan BaCl<sub>2</sub>. Model matematika yang digunakan untuk menggambarkan kurva ISA beras analog adalah model Guggenheim Anderson deBoer (GAB), Oswin, Halsey, Chen-Clayton, Henderson, Caurie dan Smith. Berdasarkan nilai *Mean Relative Determination* maka model GAB adalah model matematika yang paling sesuai menggambarkan kurva ISA beras analog. Nilai kadar air kritis 15,24 persen bk ditetapkan pada saat beras analog mengalami perubahan aroma dan tekstur sehingga dianggap ditolak oleh panelis. Perhitungan pendugaan umur simpan beras analog dalam kemasan plastik polipropilen dan plastik nilon disimpan pada RH 84 persen dan suhu 30°C masing-masing adalah 1 tahun 10 bulan dan 3 tahun 3 bulan.

kata kunci: beras analog, isotermin sorpsi air, kadar air kritis, umur simpan, kadar air kesetimbangan

### ABSTRACT

One of the important parameters required in distributing food products from storage to consumer is food stability. One way to describe food stability is through moisture sorption isotherms (MSI), i.e., equilibrium moisture content (EMC) pattern as a function of relative humidity (RH) of the storage environment. This research aimed to determine a mathematical model that appropriately describes the MSI of rice analog. The model was used for predicting the shelf-life of rice analog using the critical moisture approach. Saturated salt solutions used to the RH of the storage chamber were NaOH, CH<sub>3</sub>COOK, MgCl<sub>2</sub>, KI, NaCl, KCl, and BaCl<sub>2</sub>. Mathematical models used to fit the MSI curve were Guggenheim Anderson deBoer (GAB), Oswin, Halsey, Chen-Clayton, Handerson, Caurie dan Smith models. Based on the Mean Relative Determination value, the best model that described the MSI curve of rice analog was the GAB model. Critical moisture of rice analog of 15.24 percent DB was defined when aroma and texture of the rice changed, therefore, it was rejected by panelists. The predicted shelf-life of rice analog packed in polypropylene film and nylon film, at a relative humidity of 84 percent and a temperature of 30°C, was one year and ten months and three years and three months, respectively.

keywords: rice analog, moisture sorption isotherm, critical moisture, shelf-life, equilibrium moisture content

## I. PENDAHULUAN

Beras analog merupakan beras yang terbuat dari bahan-bahan bukan padi seperti jagung, sorgum dan umbi-umbian, tetapi dapat ditanak

menjadi seperti nasi. Bahan baku utama berupa tepung-tepungan dicampur dengan bahan pendukung lain dan dimasukkan ke dalam mesin ekstruder. Di dalam mesin ekstruder,

bahan-bahan tersebut mengalami proses pencampuran, pengulenan dan pembentukan gel. Pada tahap akhir proses ekstrusi, adonan dicetak menjadi butiran-butiran menyerupai bentuk beras. Produk beras analog diperoleh setelah butiran hasil ekstrusi dikeringkan. Menurut Noviasari, dkk. (2017) metode ekstrusi menghasilkan beras analog yang lebih menyerupai beras dibandingkan metode granulasi.

Di awal pengembangannya beras analog berteknologi ekstrusi panas berusaha menjawab tantangan kelangkaan beras dengan pemanfaatan sumber karbohidrat non-beras lokal seperti singkong, sorgum, sagu, jagung dan sejenisnya (Budijanto dan Yuliyanti, 2012; Hidayat, dkk., 2013; Kurniawati, dkk., 2016). Bahan-bahan sumber karbohidrat tersebut menjadikan beras analog mempunyai indeks glikemik rendah, sehingga beras analog dianjurkan untuk penderita diabetes. Penelitian lanjutan berkembang pada fortifikasi produk (Rasyid, dkk., 2016; Anindita, dkk. 2020) dan uji fungsionalitas pada kesehatan (Budijanto, dkk., 2016; Budijanto, dkk., 2017). Di samping itu, penelitian teknologi mesin produksi beras analog dilaporkan oleh Budi, dkk. (2015) dan Gultom, dkk. (2014).

Seiring dengan penelitian pengembangan produk, pengembangan bisnis beras analog sudah dilakukan atas kerja sama F-Techno Park IPB dan FITS Mandiri semenjak tahun 2012. Penelitian Supriadi (2018) mengenai pengembangan model bisnis beras analog melakukan analisis SWOT usaha pangan. Beberapa keunggulan beras analog dari hasil analisis tersebut adalah nilai indeks glikemik rendah, fleksibilitas bahan baku dan standar kualitas produk yang terjaga sementara kekurangannya adalah rasa dan aroma jagung masih terasa dan harga yang mahal. Alternatif strategi yang diperoleh untuk pengembangan model bisnis adalah peningkatan saluran distribusi pemasaran dan kerja sama dengan rumah sakit dan rumah makan. Perluasan saluran distribusi ini memerlukan pengetahuan stabilitas produk untuk menentukan kondisi ruang penyimpanan dari mulai didistribusikan hingga ke tangan konsumen.

Penelitian stabilitas beras analog masih belum banyak dilakukan. Diniyah, dkk. (2015)

dan Kusnandar, dkk. (2017) telah melakukan uji stabilitas menggunakan pendekatan Arrhenius, sedangkan Herawati (2015) menggunakan pendekatan isoterme sorpsi air (ISA). Kurva ISA menunjukkan pola kadar air kesetimbangan sebagai respons produk pada berbagai kelembaban relatif lingkungan pada suhu tertentu. Pola ISA akan membantu dalam penyimpanan produk agar standar kualitas tetap terjaga sebagai salah satu kelebihan beras analog. Sifat ISA dapat dianalisis lebih lanjut untuk memprediksi umur simpan menggunakan metode percepatan (*accelerated shelf life testing*, ASLT) dengan pendekatan air kritis. Tujuan penelitian ini adalah menentukan pola kadar air kesetimbangan beras analog dan mengevaluasi ketepatan model kurva ISA untuk memprediksi umur simpan.

## II. METODOLOGI

### 2.1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah beras analog, garam *pro analysis* (NaOH, CH<sub>3</sub>COOK, MgCl<sub>2</sub>, KI, NaCl, KCl dan BaCl<sub>2</sub>) dan akuades yang diperoleh dari Laboratorium Kimia P2 TTG LIPI, serta plastik kemasan polipropilena (PP) dan kemasan nilon. Bahan yang digunakan untuk proses pembuatan beras analog adalah singkong parut, tepung beras, tapioka, ampas kelapa dan gliserol monostearat. Selain itu, untuk penyiapan sampel dalam percobaan pengukuran kadar air kesetimbangan, digunakan kapur api (CaO) untuk pengeringan kemoreaksi selama 2–3 minggu hingga kadar air sampel sekitar 1 persen.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain oven pengering, cawan porselin, desikator, neraca analitik, gegep, spatula, cawan aluminium, boks plastik, kawat kasa aluminium, stoples *canister*, stoples hermetik, vaselin, pipa PVC, keranjang plastik, *sealer*, kemasan *metalized*, timbangan, penggaris, spidol, pulpen, kertas, label stiker kertas dan gunting.

### 2.2. Pembuatan Beras Analog

Komposisi beras analog adalah singkong parut, tepung beras, tepung tapioka, ampas kelapa dan gliserol monostearat (GMS) dengan perbandingan tertentu. Campuran singkong parut dan tepung beras dan tapioka mempunyai rasio 80 : 12 : 8 (b/b), penambahan ampas

kelapa 10 persen dan GMS 1,6 persen. Bahan kering berupa tepung beras, tapioka dan GMS sedangkan bahan basah berupa singkong parut dan ampas kelapa. Ampas kelapa diperoleh dengan cara merendam kelapa parut dengan air panas lalu diambil santannya dengan dua kali pemerasan. Menurut Kharisma, dkk. (2014) bahan baku singkong parut berperan sebagai sumber air sehingga tidak diperlukan penambahan air pada adonan sedangkan ampas kelapa berguna sebagai pelumas dan memberikan aroma yang harum.

Proses produksi mencakup tahapan penimbangan, pencampuran, ekstrusi, pengeringan dan pengemasan. Penimbangan bahan baku dilakukan sesuai dengan formulasi yang telah ditentukan. Tahap pencampuran dilakukan menggunakan mesin pengaduk yang bertujuan mencampurkan beberapa bahan hingga homogen. Adonan homogen diproses secara ekstrusi tanpa pre-kondisi menggunakan ekstruder pada suhu 75–85°C. Adonan diolah oleh *double screw* yang menekan, menguleni dan mengalirkan menuju *die* dan keluar berbentuk butiran menyerupai beras. Beras analog dikeringkan pada suhu 70–80°C selama 1½ jam. Beras analog yang telah kering disimpan dalam *freezer* dengan kemasan plastik tersegel.

### 2.3. Pengukuran Kadar Air Kesetimbangan

Kadar air kesetimbangan ( $M_e$ ) diperoleh berdasarkan percobaan untuk menentukan isotermin sorpsi dan diawali dengan pembuatan larutan garam jenuh untuk mengatur RH kesetimbangan di dalam desikator (Lutovska, dkk., 2017). Sejumlah larutan garam jenuh diletakkan dalam desikator dan disimpan pada ruangan dengan kondisi RH dan suhu lingkungan (Alfiyani, 2018). Kadar air kesetimbangan diukur sebanyak 3 kali ulangan dengan menyimpan sampel sebanyak 2 gram pada cawan dalam tiap desikator. Garam yang digunakan beserta nilai RH-nya dapat dilihat pada Tabel 1. Tujuan penggunaan RH kesetimbangan yang berbeda-beda yaitu agar diperoleh kurva ISA yang menggambarkan pola penyerapan air yang sebenarnya pada berbagai nilai RH sehingga nilai kadar air kesetimbangan pada  $a_w$  tertentu dapat ditentukan.

Sampel ditimbang setiap hari hingga tercapai bobot konstan, kemudian diukur kadar airnya

**Tabel 1.** Nilai Aktivitas Air untuk Larutan Garam Jenuh pada Suhu 30°C (Greenspan, 1977; Kitic dkk., 1986)

Larutan Garam Jenuh	RH (%)	$a_w$
NaOH	8	0,08
CH <sub>3</sub> COOK	22	0,22
MgCl <sub>2</sub>	32	0,32
KI	68	0,68
NaCl	75	0,75
KCl	84	0,84
BaCl <sub>2</sub>	90	0,90

dan dinyatakan sebagai kadar air kesetimbangan hasil percobaan (basis kering). Sampel mencapai bobot konstan apabila selisih 3 kali penimbangan kurang dari 2 mg untuk sampel yang disimpan pada kelembaban relatif (RH) kurang dari 90 persen, dan kurang dari 10 mg untuk sampel yang disimpan pada RH lebih besar dari 90 persen. Kurva ISA merupakan hasil *plotting* hubungan antara kadar air kesetimbangan (sumbu y) dan RH atau  $a_w$  (sumbu x).

### 2.4. Pemodelan Kurva Isotermin Sorpsi Air

Model persamaan matematika diujicobakan pada data kadar air kesetimbangan guna memperoleh pola kurva yang terbaik. Model persamaan yang digunakan dalam penelitian ini ada tujuh yaitu model Guggenheim Anderson deBoer (GAB), Caurie, Chen-Clayton, Halsey, Henderson, Smith dan Oswin. Model-model tersebut sudah sering diujikan pada penelitian-penelitian sebelumnya dan dapat menggambarkan keadaan isotermin sorpsi air bahan pertanian dan pangan pada sepanjang rentang aktivitas air. Model-model tersebut di atas tergolong model persamaan sederhana dan mempunyai sedikit parameter sehingga lebih mudah diaplikasikan. Model-model persamaan ISA dimodifikasi menjadi persamaan linier atau kuadratik seperti yang tertera pada Tabel 2.

Data kadar air kesetimbangan ( $M_e$ ) dan  $a_w$  hasil eksperimen digunakan dalam perhitungan dengan ke-7 model, lalu dilakukan evaluasi ketepatan hasil perhitungan  $M_e$  berdasarkan model. Uji ketepatan model isotermin sorpsi dilakukan dengan menggunakan perhitungan *Mean Relative Determination* (MRD) (Walpole, 1990).

$$MRD = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{M_i - M_{p_i}}{M_i} \right] \dots \dots \dots (1)$$

**Tabel 2.** Modifikasi Persamaan Isotermi Sorpsi

Model	Bentuk Linier/Kuadratik
Caurie	$\ln Me = \ln P_1 - P_2 a_w$
Halsey	$\log(\ln(1/a_w)) = \log P_1 - P_2 \log Me$
Oswin	$\ln Me = \ln P_1 + P_2 \ln(a_w/(1-a_w))$
Chen Clayton	$\ln(\ln(1/a_w)) = \ln P_1 - P_2 Me$
Henderson	$\log(\ln(1/(1-a_w))) = \log P_1 + P_2 \log Me$
Smith	$Me = P_1 + P_2 \ln(1-a_w)$
GAB	$a_w/Me = (P_1/mo)(1/(P_2-1))a_w^2 + ((P_2-2)/P_2mo)a_w + 1/P_1P_2mo$

Keterangan :  $P_1$ ,  $P_2$  (konstanta),  $Me$  (kadar air kesetimbangan),  $a_w$  (aktivitas air),  $mo$  (kadar air monolayer)

Keterangan:

$M$  = kadar air hasil percobaan

$M_p$  = kadar air hasil perhitungan

$n$  = jumlah data

Jika nilai  $MRD < 5$  maka model isotermi sorpsi tersebut dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya, dan jika nilai  $5 < MRD < 10$  maka model tersebut agak tepat. Sedangkan jika nilai modulus deviasi  $MRD > 10$  maka model tersebut tidak tepat untuk menggambarkan keadaan sebenarnya. Model dengan nilai  $MRD$  terkecil dinyatakan sebagai model terbaik dan digunakan dalam perhitungan pendugaan umur simpan beras analog.

## 2.5. Pendugaan Umur Simpan Beras Analog

Perhitungan umur simpan beras analog ditentukan dengan mensubstitusi data kadar air awal, kadar air kesetimbangan, kadar air kritis, bobot kering bahan, luas permukaan kemasan, permeabilitas kemasan, tekanan uap air jenuh, dan nilai kemiringan isotermi sorpsi ke dalam persamaan Labuza (1982) dan asumsi penyimpanan RH 84 persen pada suhu 30°C.

$$t = \frac{\ln \left[ \frac{Me - Mi}{Me - Mc} \right]}{\frac{k}{x} \frac{A}{W_s} \frac{Po}{b}} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

$t$  = umur simpan (hari)

$M_e$  = kadar air kesetimbangan (%bk)

$M_i$  = kadar air awal (%bk)

$M_c$  = kadar air kritis (%bk)

$W_s$  = bobot bahan kering (g)

$A$  = luas permukaan (m<sup>2</sup>)

$\frac{k}{x}$  = permeabilitas uap air kemasan (g/m<sup>2</sup>.hari.mmHg)

$P_o$  = tekanan uap air jenuh (mmHg)

$b$  = kemiringan kurva isotermi sorpsi

### 2.5.1. Penentuan Kadar Air Kritis

Kadar air kritis ditentukan dengan menyimpan sampel selama 0, 6, 12, 18 dan 24 jam secara terbuka tanpa kemasan pada wadah penyimpanan tertutup yang dilengkapi penyangga dan diisi air 2 liter agar penurunan mutu berlangsung lebih cepat (RH air 100 persen setara  $a_w = 1$ ). Wadah penyimpanan tertutup terbuat dari boks plastik berukuran 37×29×15 cm dan dilengkapi ram kawat yang dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk menyangga sampel. Alfiyanti (2018) menjelaskan bahwa penambahan air dalam wadah penyimpanan bertujuan agar kondisi kerusakan sampel yang ditandai dengan perubahan tekstur dapat disimulasi lebih cepat.

Sampel kemudian disajikan melalui uji organoleptik oleh 30 orang panelis dengan uji *rating* hedonik untuk menentukan sampel mana yang mutunya tidak diterima lagi secara organoleptik. Uji organoleptik ini diujicobakan pada nilai kesukaan panelis terhadap parameter aroma, tekstur, dan warna dengan skor 1 (sangat tidak suka) hingga skor 7 (sangat suka). Kadar air kritis ditentukan pada skala hedonik 4, yaitu netral yang dianggap sebagai batas penolakan terhadap parameter mutu beras analog.

### 2.5.2. Penentuan Permeabilitas Kemasan

Pengukuran permeabilitas uap air-kemasan dilakukan dengan menggunakan metode standar ASTM F-1249 (ASTM, 2013). Pengukuran permeabilitas uap air bahan kemasan berupa PP dan nilon dilakukan menggunakan Permatran Mocon W<sup>3</sup>/31 pada suhu 100°F (37,8°C). Kemasan PP dan nilon dipotong sesuai cetakan lalu diukur ketebalannya.



Kemasan contoh terlebih dahulu dikondisikan pada ruang uji selama 24 jam. Kemasan kemudian ditempatkan dalam *cell* pada alat uji. Data mengenai ketebalan, luas kemasan, suhu pengujian, kelembaban udara, dan laju aliran udara dimasukkan dalam program komputer yang telah disediakan. Gas nitrogen kering dialirkan melalui *inside chamber* (RH 0 persen), sedangkan gas nitrogen basah dialirkan melalui *outside chamber* (RH 100 persen). Contoh uji (plastik) dalam *cell* menjadi pembatas antara gas nitrogen basah dan nitrogen kering. Perbedaan tekanan mengakibatkan uap air akan berdifusi menuju daerah yang bertekanan rendah (*inside chamber*). Uap air yang berdifusi melalui kemasan dibawa oleh gas nitrogen kering menuju sensor inframerah terdeteksi jumlahnya sehingga laju uap air dapat dihitung. Pengujian berakhir bila kondisi kesetimbangan telah tercapai (*steady state*) dan laju uap air yang terdeteksi sensor inframerah telah menunjukkan nilai yang konstan. Pada akhir pengujian, diperoleh nilai *Water Vapor Transmission Rate* (WVTR) g/m<sup>2</sup>/hari. Nilai permeabilitas kemasan ( $\frac{k}{x}$ ) dihitung dengan membagi nilai WVTR dengan hasil perkalian tekanan uap murni (data sekunder) pada suhu pengujian dengan nilai RH.

### 2.5.3. Penentuan Nilai Kemiringan Kurva Sorpsi Isotermi dan Bobot Kering Bahan

Arpah (2001) menyatakan bahwa nilai kemiringan kurva isotermi sorpsi ditentukan pada daerah linear. Daerah linear untuk menentukan nilai kemiringan ini diambil antara daerah kadar air awal dan kadar air kritis (Bell dan Labuza, 2000). Bobot kering bahan dalam kemasan adalah bobot produk per kemasan dikurangi kadar air yang terkandung (Sugiyono, dkk., 2016). Bobot kering bahan dihitung dengan menimbang bobot awal massa beras analog dalam satu kemasan, lalu dikoreksi nilainya berdasarkan nilai kadar airnya. Kadar air diukur menggunakan metode oven (gravimetri).

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Kadar Air Kesetimbangan

Produk dikondisikan pada lingkungan kelembaban relatif atau aktivitas air yang berbeda-beda yang disimulasi menggunakan

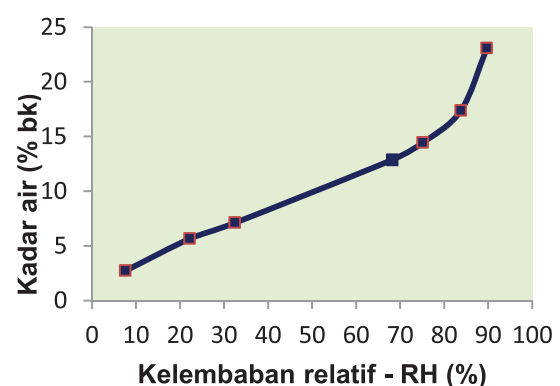
larutan garam jenuh. Tiap larutan garam menghasilkan RH tertentu pada suhu lingkungan penyimpanan. Bahan pangan dalam lingkungan terkontrol tersebut akan mengalami peningkatan bobot menuju kadar air kesetimbangan. Bahan mengalami proses adsorpsi (penyerapan) uap air karena pengaruh RH yang lebih tinggi di ruang penyimpanan. Bobot produk mencapai kestabilan ketika sudah mencapai kadar air kesetimbangan sesuai RH lingkungan. Cordeiro, dkk. (2006) menyatakan data isotermi adsorpsi berguna untuk analisa penyimpanan.

Hasil kesetimbangan sampel yang dicapai dalam kurun waktu 1-3 minggu dalam larutan

**Tabel 3.** Kadar Air Kesetimbangan (Me) Beras Analog dan Waktu Tercapainya Kesetimbangan

RH (%)	$a_w$	Me (% bk)	Waktu (hari)
8	0,08	2,72±0,02	7
22	0,22	5,65±0,03	6
32	0,32	7,11±0,02	7
68	0,68	12,87±0,03	7
75	0,75	14,45±0,05	7
84	0,84	17,37±0,12	17
90	0,90	23,07±0,10	14

garam jenuh diperlihatkan dalam Tabel 3. Kurva isotermi sorpsi air yang dibentuk sebagai hasil *plotting* kadar air kesetimbangan dan RH ditampilkan pada Gambar 1. Kurva ISA beras analog menyerupai huruf S. Berdasarkan klasifikasi Brunauer (Brunauer, dkk., 1940), kurva ISA yang menyerupai huruf S berbentuk sigmoid dan tergolong dalam tipe II. Produk pangan umumnya mempunyai tipikal kurva sorpsi isotermi berbentuk sigmoid. Bentuk sigmoid tersebut, menurut Sugiyono, dkk.



**Gambar 1.** Kurva Isotermi Sorpsi Beras Analog

(2016) terjadi pada produk pangan yang terdiri dari campuran karbohidrat, protein, lemak, dan mineral. Adawiyah dan Soekarto (2010) juga melaporkan kurva berbentuk sigmoid untuk model pangan yang terbuat dari tapioka dan kasein. Kurva berbentuk sigmoid dikarenakan efek tambahan hukum Raoult, efek kapiler, dan interaksi air permukaan (Sahin dan Sumnu, 2006).

Kurva tipe II umum ditemui pada produk makanan dan sistem biologis. Kurva sorpsi ini terbagi menjadi 3 daerah. Zona A menunjukkan wilayah kadar air monolayer, di mana air terikat kuat dengan bahan. Zona B meliputi kadar air multilayer yang merupakan transisi ke sifat alami air bebas dan tersedia untuk reaksi kimia. Air di zona C berada dalam kondisi bebas dan berada di rongga, celah, dan kapiler (Menkov dan Durakova 2007).

### 3.2. Pemodelan Matematika Isotermi Sorpsi

Berdasarkan Aqualab (2011) ada 270 model isotermi sorpsi yang diusulkan. Manfaat model-model ini adalah untuk memprediksi kadar air kesetimbangan pada kondisi aktivitas air tertentu dan digunakan untuk mengevaluasi fungsi termodinamika air pada makanan. Ada tujuh model persamaan yang digunakan dalam penelitian ini. Hasil modifikasi persamaan sorpsi isotermi berdasarkan hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 4. Kadar air kesetimbangan prediksi diperoleh setelah memasukkan nilai  $a_w$  pada persamaan tersebut.

Kadar air kesetimbangan prediksi diplot dengan nilai  $a_w$  sehingga memperlihatkan bentuk kurva masing-masing model. Visualisasi kadar air kesetimbangan hasil percobaan dibandingkan kurva model isotermi sorpsi diperlihatkan pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 8. Semakin berhimpit kurva ISA hasil

perhitungan model dengan kurva ISA hasil percobaan maka ketepatan model semakin baik. Perhitungan nilai MRD pada dasarnya mengukur tingkat perbedaan hasil percobaan dengan hasil pemodelan, sehingga semakin kecil selisih hasil percobaan dan hasil perhitungan model maka nilai MRD semakin kecil pula. Hasil perhitungan MRD model ditampilkan dalam Tabel 5.

Di antara ketujuh model, model GAB dan Henderson menjadi model yang tepat memprediksi pola isotermi sorpsi air beras analog singkong karena mempunyai MRD dibawah 5. Persamaan GAB menjadi yang terbaik dalam memodelkan kadar air kesetimbangan beras analog karena memiliki nilai MRD terendah. Penelitian Herawati (2015) juga menyatakan model GAB mampu memprediksi isotermi sorpsi beras analog instan dan beras padi pada rentang RH 7 persen hingga 97 persen. Dengan demikian, model GAB terpilih menjadi model dalam perhitungan umur simpan ini. Model GAB dikenal sebagai model yang superior karena keberhasilannya dalam memodelkan banyak produk pangan dalam rentang  $a_w$  yang luas. Kelebihan GAB ini menurut Andrade, dkk. (2011) karena faktor : basis teoritisnya sebagai penyempurnaan teori Langmuir dan BET mengenai adsorpsi fisik, persamaan matematika yang sederhana, dan kemudahan dalam interpretasi karena parameternya merepresentasikan kondisi fisik dalam hal proses sorpsi. Persamaan GAB mempunyai kelemahan yaitu kurang prediktif di  $a_w > 0,93$ .

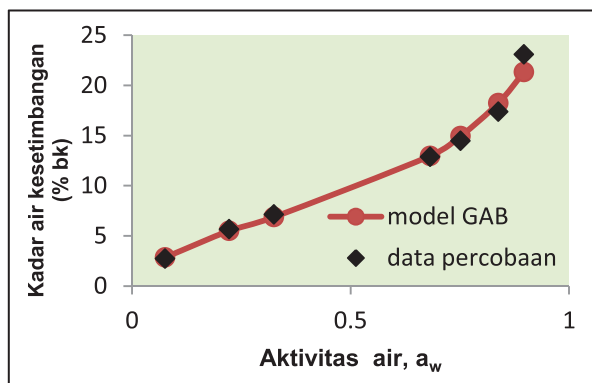
### 3.3. Pendugaan Umur Simpan

#### 3.3.1. Kadar Air Kritis

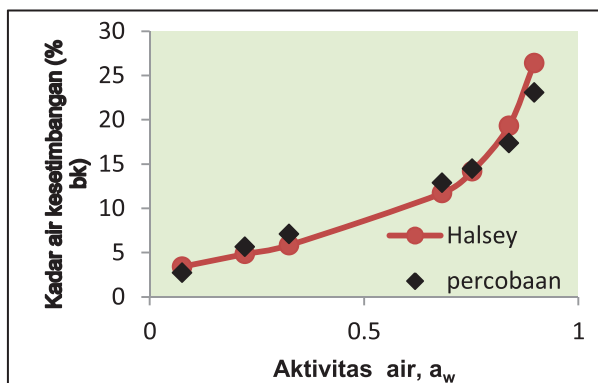
Kadar air awal beras analog singkong adalah 6,87 persen bk. Kondisi kadar air tersebut relatif kering pada produk makanan, sehingga beras analog tergolong dalam produk pangan kering.

**Tabel 4.** Model Persamaan Isotermi Sorpsi Air Beras Analog

Model	Persamaan
GAB	$Me = 57.14288a_w / (1 - 0.791017a_w)(1 + 8.105303a_w)$
Halsey	$\log (\ln(1/a_w)) = -1.85837 - 1.54718 \log Me$
Chen-Clayton	$\ln (\ln(1/a_w)) = 1.26683 - 16.29602 Me$
Henderson	$\log (\ln(1/(1-a_w))) = 1.48653 + 1.64942 \log Me$
Caurie	$\ln Me = -3.54066 + 2.23083a_w$
Oswin	$\ln Me = -2.40673 + 0.43659 \ln(a_w/(1-a_w))$
Smith	$Me = 0.0297 - 0.08487 \ln(1-a_w)$



**Gambar 2.** Ketepatan Kurva Model GAB



**Gambar 3.** Ketepatan Kurva Model Halsey

Kondisi tersebut dikarenakan beras analog mengalami proses pengeringan dalam tahapan produksinya. Proses pengeringan menguapkan kadar air pada beras analog hasil ekstrusi. Dengan kondisi kering, diharapkan produk akan lebih tahan lama disimpan.

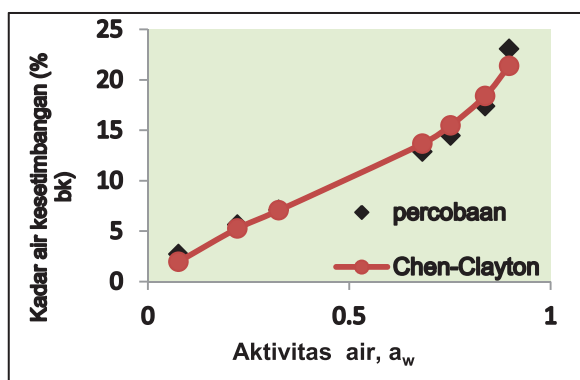
**Tabel 5.** Nilai MRD Persamaan Model

Model ISA	Nilai MRD
GAB	3,94
Halsey	13,50
Chen-Clayton	8,85
Henderson	4,52
Caurie	11,97
Oswin	5,33
Smith	9,76

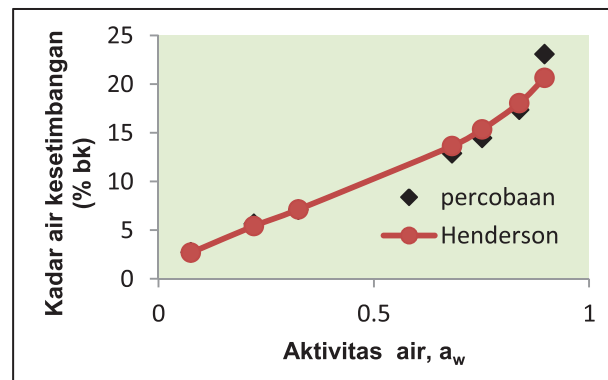
Produk kering (kadar air rendah) cenderung menyerap air dari lingkungannya (higroskopis). Penambahan air dalam produk secara terus menerus akan berakibat terjadinya perubahan fisik, kimia, bahkan mikrobiologi. Oleh karena itu, metode kadar air kritis dapat digunakan untuk menduga umur simpan beras analog. Metode kadar air kritis sesuai untuk penetapan kadaluwarsa produk kering dan produk

tepung/bubuk. Faktor mutu kritis yang dapat diujikan terhadap sampel adalah kerenyahan (Budijanto, dkk., 2010), tekstur (Hasniar, dkk., 2019), penggumpalan (Sugiyono, dkk., 2012), kekeringan (Ritonga, dkk., 2020), tekstur menjadi lengket (Widowati, dkk., 2010), kenampakan (warna dan daya alir) dan aroma (Faridah, dkk., 2013).

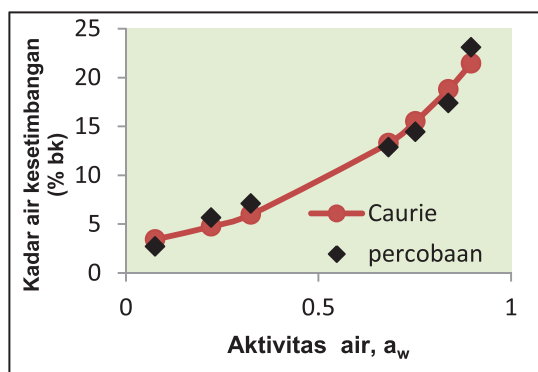
Produk beras analog diujikan kepada panelis dalam beberapa tingkatan kadar air mulai dari kadar air rendah (awal) sampai kadar air yang cukup tinggi. Perbedaan kadar air disebabkan perbedaan lama waktu penyimpanan dalam wadah penyimpanan berkelembaban tinggi yang mensimulasi kerusakan produk. Semakin lama disimpan dalam wadah uji penyimpanan, produk menyerap air dari lingkungan sehingga tingkat kerusakan produk semakin tinggi. Hasil pengujian menunjukkan pada kadar air kritis 15,24 persen bk. Pada kadar air ini produk beras analog memberikan aroma yang menyengat serta tekstur yang agak lengket. Aroma menyengat yang muncul seperti bau fermentasi alkohol dan tidak diterima panelis. Nilai kadar air ini setara pada  $a_w$  0,76, pada penelitian lain



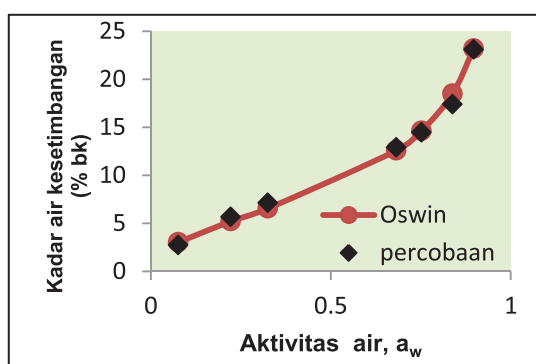
**Gambar 4.** Ketepatan Kurva Chen-Clayton



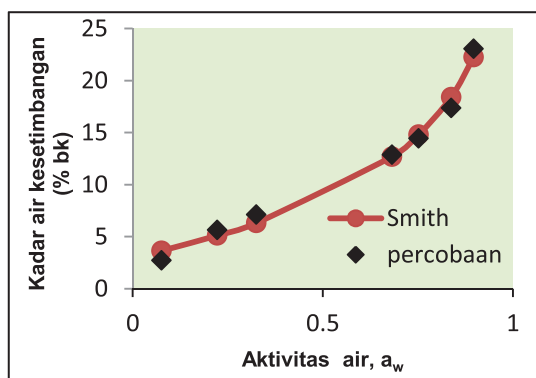
**Gambar 5.** Ketepatan Kurva Henderson



**Gambar 6.** Ketepatan Kurva Model Caurie



**Gambar 7.** Ketepatan Kurva Model Oswin

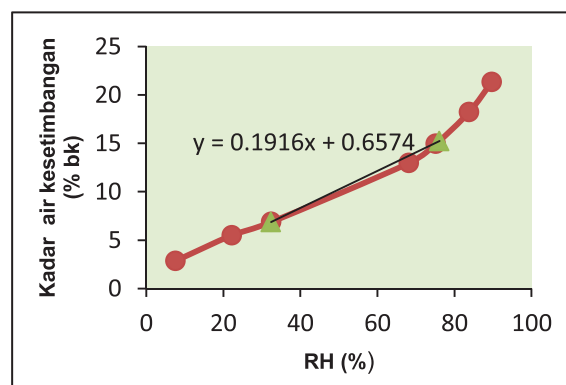


**Gambar 8.** Ketepatan Kurva Model Smith

dilaporkan kadar air kritis granula ubi kayu 15,24 persen bk (Sugiyono, dkk., 2012), ubi kayu instan 16,1 persen bk (Fitriani dkk., 2015) dan beras ubi 11,68 persen bk (Widowati, dkk., 2010).

### 3.3.2. Umur Simpan

Parameter pendukung yang juga dibutuhkan untuk menghitung pendugaan umur simpan persamaan Labuza yaitu bobot bahan kering, tekanan uap jenuh, permeabilitas kemasan, luas kemasan dan kemiringan kurva ISA. Bobot produk beras analog yang dimasukkan ke dalam kemasan sebanyak 600 gram. Dengan mengetahui bahwa kadar air awal adalah 6,87



**Gambar 9.** Penarikan Kemiringan Kurva Model GAB

**Tabel 6.** Permeabilitas Kemasan

Besaran	PP	Nilon
WVTR ( g/m <sup>2</sup> /24jam)	4,6269	2,3431
RH (%)	90	90
P <sub>o</sub> (mmHg)	49,157	49,157
$\frac{k}{x}$ ( g/m <sup>2</sup> .hari.mmHg )	0,105	0,053

persen bk maka bobot bahan kering yaitu 561.45 gram. Tekanan uap jenuh pada suhu 30°C sebesar 31.824 mmHg diambil dari tabel suhu-tekanan.

Semakin besar nilai permeabilitas kemasan dan luas kemasan maka transfer uap air yang masuk ke dalam kemasan semakin besar sehingga mempersingkat umur simpan. Pengukuran *Water Vapor Transmission Rate* (WVTR) dan kondisi lingkungan (suhu dan RH) merupakan faktor dari permeabilitas kemasan. Permeabilitas uap air dan faktor-faktornya disajikan pada Tabel 6. Adapun luas kemasan yang dipakai diukur secara manual dan menghasilkan nilai 0,063 m<sup>2</sup> untuk kemasan PP dan 0,071 m<sup>2</sup> untuk kemasan nilon. Kemasan PP dan nilon berbentuk *standing pouch*.

Kemiringan (*slope*) kurva ISA diambil dari model terpilih, sehingga diambil kurva model GAB. Nilai kemiringan didapatkan dengan menghubungkan nilai kadar air awal dan kadar air kritis di sepanjang kurva sehingga didapatkan nilai  $b$  0,1916 (Gambar 9). Kadar air awal 6,87 persen setara dengan RH 32,4 persen dan kadar air kritis 15,24 persen setara dengan RH 76,1 persen. Kemiringan kurva berbentuk sigmoid dapat berbeda-beda karena dipengaruhi sifat alami bahan, suhu, kecepatan adsorpsi yang terjadi selama penyimpanan (Fennema, 1985).

Perhitungan pendugaan umur simpan metode kadar air kritis dibedakan atas 2 jenis



**Tabel 7.** Perhitungan Umur Simpan pada RH 84 Persen Menggunakan Model GAB

Parameter	PP	Nilon
Kadar air awal (g H <sub>2</sub> O/ g padatan)	0,0687	0,0687
Kadar air kritis (g H <sub>2</sub> O/ g padatan)	0,1524	0,1524
Kemiringan kurva	0,1916	0,1916
Kadar air kesetimbangan (g H <sub>2</sub> O/ g padatan )	0,1832	0,1832
Permeabilitas kemasan ( g H <sub>2</sub> O / m <sup>2</sup> .hari.mmHg )	0,105	0,053
Luas kemasan (m <sup>2</sup> )	0,0626	0,0707
Tekanan uap jenuh suhu 30°C (mmHg)	31,82	31,82
Bobot padatan per kemasan (g padatan)	561,45	561,45
Perkiraan umur simpan (bulan)	22,52	39,5

kemasan dan disimulasikan pada RH 84 persen. Kemasan PP dengan nilai permeabilitas uap air yang lebih rendah mempunyai umur simpan 22 bulan. Sedangkan, penggunaan kemasan nilon memberikan umur simpan selama 3 tahun 3 bulan seperti ditampilkan pada Tabel 7. Nilai permeabilitas uap air kemasan yang rendah mampu meminimalkan transfer uap air ke dalam kemasan sehingga kerusakan akibat kenaikan kadar air dapat dikendalikan dan menjaga usia simpan produk dalam jangka waktu lama.

#### IV. KESIMPULAN

Beras analog mempunyai pola kadar air kesetimbangan menyerupai kurva ISA sigmoid (tipe II) dengan persamaan GAB dan Henderson menjadi model yang dapat memprediksi kadar air kesetimbangan dengan baik. Model GAB dengan MRD terendah 3,94 digunakan untuk memprediksi umur simpan. Kadar air kritis beras analog tercapai pada 15,24 persen bk. Permeabilitas kemasan PP dua kali lipat kemasan nilon. Perkiraan umur simpan beras analog pada RH 84 persen menggunakan kemasan PP adalah 1 tahun 10 bulan dan bila menggunakan kemasan nilon menjadi 3 tahun 3 bulan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah, D.R. dan S.T. Soekarto. 2010. Pemodelan Isotermis Sorpsi Air pada Model Pangan. *J Teknol Indust Pangan*. Vol. 21(1) : 33–39.
- Arpah. 2001. *Penentuan Kadaluwarsa Produk Pangan*. IPB. Bogor.
- Alfiyani, N. 2018. *Penetapan parameter kurva ISA dalam penentuan umur simpan produk pangan kering metode kadar air kritis*. Tesis Master di Institut Pertanian Bogor, 61h.
- Andrade, P.R.D., M.R. Lemus and C.C.E. Perez. 2011. Models of Sorption Isotherms for Food: Uses and Limitations. *Vitae*. Vol. 18(3):325–334.
- Anindita, T.H., F. Kusnandar dan S. Budijanto. 2020. Sifat Fisikokimia dan Sensoris Beras Analog Jagung dengan Penambahan Tepung Kedelai. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. Vol. 31(1):29–37.
- Aqualab. 2011. *Application note 13947-03: Fundamentals of Moisture Sorption Isotherms*. <http://www.aqualab.decagon.com.br/assets/Uploads/13947-03-AN-Fundamentals-of-Moisture-Sorption-Isotherms.pdf> [diakses 3 Sept 2017]
- ASTM. 2013. *F1249-13 Standard Test Method for Water Vapor Transmission Rate Through Plastic Film and Sheeting Using a Modulated Infrared Sensor*. ASTM International. West Conshohocken.
- Bell, L.N. and T.P. Labuza. 2000. *Moisture Sorption: Practical Aspects of Isotherm Measurements and Use*. American Association of Cereal Chemists. St. Paul (US).
- Brunauer S., L.S. Deming and E. Teller. 1940. On A Theory of Van der Waals Adsorption of Gases. *J Am Chem Soc*. Vol. 62: 1723–1732.
- Budi, F.S., P. Hariyadi, S. Budijanto and D. Syah. 2015. Effect of Dough Moisture Content and Extrusion Temperature on Degree of Gelatinization and Crystallinity of Rice Analogues. *Journal of Developments on Sustainable Agriculture*. Vol. 10(2):91–100.
- Budijanto, S., A.B. Sitanggang dan Y.D. Kartika. 2010. Penentuan Umur Simpan Tortilla dengan Metode Akselerasi Berdasarkan Kadar Air Kritis serta Pemodelan Ketepatan Sorpsi Isotherminya. *J Teknol Indust Pangan*. Vol. 21(2):165–170.
- Budijanto, S., Y.I. Andri, D.N. Faridah dan S. Noviasari. 2017. Karakterisasi Kimia dan Efek Hipoglikemik Beras Analog Berbahan Dasar Jagung, Sorgum, dan Sagu Aren. *Agritech*. Vol. 37(4). November: 402–409.

- Budijanto, S. dan Yuliyanti. 2012. Studi Persiapan Tepung Sorgum (*Sorgum bicolor* L. Moench) dan Aplikasinya Pada Pembuatan Beras Analog. *J Teknol Pertanian*. Vol. 13 (3):177–186.
- Budijanto, S., N.F. Sadek, N.D. Yuliana, E. Prangdimurti dan B.P. Priyosoeryanto. 2016. Potensi Beras Analog sebagai Alternatif Makanan Pokok untuk Mencegah Penyakit Degeneratif. *Pangan*. Vol. 25(1). April : 61–70.
- Cordeiro, D.S., G.S.V. Raghavan and W.P. Oliveira. 2006. Equilibrium Moisture Content Models for *Maytenus ilicifolia* leaves. *Biosyst Eng*. Vol. 94 (2):221–228.
- Diniyah, N., Giyarto, A. Subagio dan R.A. Akhiriani. 2015. Pendugaan Umur Simpan “Beras Cerdas” Berbasis Mocaf, Tepung Jagung Menggunakan Metode *Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT)* Pendekatan Arrhenius. *Warta-IHP*. Vol. 32(1): 1–8.
- Faridah, D.N., S. Yasni, A. Suswatinah dan G.W. Aryani. 2013. Pendugaan Umur Simpan dengan Metode *Accelerated Shelf Life Testing* pada Produk Bandrek Instan dan Sirup Buah Pala (*Myristica fragrans*). *JlPI*. Vol. 18(3):144–153.
- Fennema, O.R. 1985. *Food Chemistry*. Marcell Dekker Inc. New York (US)
- Fitriani, P.P.E., I.M.A.S. Wijaya dan I.B.W. Gunam. 2015. Pendugaan Masa Kadalua Ubi Kayu (*Manihot esculenta Crantz*) Instan pada Beberapa Bahan Kemasan. *MITP*. Vol. 2(1) : 58–68.
- Greenspan, L. 1977. Humidity Fixed Points of Binary Saturated Aqueous Solutions. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*. Vol. 81A(1):89–96.
- Gultom, R.J., Sutrisno dan S. Budijanto. 2014. Optimasi Proses Gelatinisasi Berdasarkan *Respon Surface Methodology* pada Pencetakan Beras Analog dengan Mesin *Twin Roll*. *J Pascapanen*. Vol. 11(2):67–79.
- Hasniar, R. Hasbullah dan I W. Astika. 2019. Pemodelan Sorpsi Isotermi dan Pendugaan Umur Simpan Beras Pratanak pada Kemasan Plastik Film. *Jurnal Keteknik Pertanian*. Vol. 7(1). April: 75–82.
- Herawati, H. 2015. *Optimasi Proses, Profil Isotermis Sorpsi Air dan Analisis Termal Beras Tiruan Instan*. Disertasi Doktor di Institut Pertanian Bogor, 137h.
- Hidayat, T., T. Suptijah dan Nurjanah. 2013. Karakterisasi Tepung Buah Lindur (*Bruguiera gymnorhiza*) Sebagai Beras Analog dengan Penambahan Sagu dan Kitosan. *MPHPI*. Vol. 16(3):268–277.
- Kharisma, T., N.D. Yuliana and S. Budijanto. 2014. The effect of coconut pulp (*Cocos nucifera* L.) addition to cassava based analogue rice characteristics. *Proceeding The 16<sup>th</sup> Food Innovation Asia Conference*. Kasetsart University, Bangkok.
- Kitic, D., D.C.P. Jardim, G.J. Favetto, S.L. Resnik and J. Chirife. 1986. Theoretical Prediction of The Water Activity of Standard Saturated Salt Solutions at Various Temperatures. *J Food Scie*. Vol. 51(4):1037–1041.
- Kurniawati, M., S. Budijanto dan N.D. Yuliana. 2015. Karakterisasi dan Indeks Glikemik Beras Analog Berbahan Dasar Tepung Jagung. *Jurnal Gizi Pangan*. Vol. 11(3). November: 169–174.
- Kusnandar, F., M. Khonza dan S. Budijanto. 2017. Perubahan Mutu Beras Analog Jagung Selama Penyimpanan dan Penentuan Umur Simpannya dengan Metode Arrhenius. *Jurnal Mutu Pangan*. Vol. 4(2):51–58.
- Labuza, T.P. 1982. *Shelf-Life Dating of Foods*. Food & Nutrition Press, Inc. Westport (US).
- Lutovska, M., V. Mitrevski, I. Pavkov, M. Babic, V. Mijakovski, T. Geramitcioski and Z. Stamenkovic. 2017. Different Methods of Equilibrium Moisture Content Determination. *J Processing Energy Agric*. Vol. 21(2):91–96.
- Menkov, N.D. and A.G. Durakova. 2007. Moisture Sorption Isotherms of Sesame Flour at Several Temperatures. *Food Technol Biotechnol*. Vol. 45(1):96–100.
- Noviasari, S., F. Kusnandar, A. Setiyono dan S. Budijanto. 2017. Karakteristik Fisik, Kimia, dan Sensori Beras Analog Berbahan Bahan Pangan Non Beras. *Pangan*. Vol. 26(1). April : 1–11.
- Rasyid, M.I., N.D. Yuliana dan S. Budijanto. 2016. Karakteristik Sensori dan Fisiko-Kimia Beras Analog Sorghum dengan Penambahan Rempah Campuran. *Agritech*. Vol. 36(4). November: 394–403.
- Ritonga, A.B., Masrukhi, Siswanto. 2020. Pendugaan Umur Simpan Gula Kelapa Kristal Menggunakan Metode Akselerasi Berdasarkan Pendekatan Kadar Air Kritis. *Jurnal Teknologi Pertanian*. Vol. 21(1). April: 11–18.
- Sahin, S. and S.G. Sumnu. 2006. *Physical Properties of Food*. Springer Science+BusinessMedia. New York (US).
- Sugiyono, D. Marissa dan B. Haryanto. 2016. Pendugaan Umur Simpan Cookies Jagung Menggunakan Pendekatan Kadar Air Kritis. *Pangan*. Vol. 25(3). April: 147–155.
- Sugiyono, H. Satyagraha, W. Joelijani dan E. Syamsir. 2012. Pendugaan Umur Simpan Produk Granula Ubi Kayu Menggunakan Model Isoterm Sorpsi Air. *Pangan*. Vol. 21(3): 233–243.

- 
- Supriadi, J. 2018. *Pengembangan Model Bisnis Beras Analog*. Tesis Master di Institut Pertanian Bogor, 64h.
- Walpole, R.E. 1990. *Pengantar Statistika*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Widowati, S., H. Herawati, R. Syarif, N.E. Suyatma dan H.A. Prasetya. 2010. Pengaruh Isoterm Sorpsi Air Terhadap Stabilitas Beras Ubi. *J Teknol Indust Pangan*. Vol. 21(2):123–128.

**BIODATA PENULIS:**

**Yose Rizal Kurniawan** dilahirkan di Kebumen, 19 Mei 1984. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor tahun 2006 dan pendidikan S2 bidang Teknik Mesin Pertanian dan Pangan di Institut Pertanian Bogor tahun 2018.

**Novriaman Pakpahan** dilahirkan di Jambi, 11 November 1988. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jambi tahun 2013 dan pendidikan S2 bidang Ilmu Pangan di Institut Pertanian Bogor tahun 2017.

**Y. Aris Purwanto** dilahirkan di Magetan, 7 Maret 1964. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor tahun 1986 dan pendidikan S2 bidang Teknik Biologi dan Lingkungan di *University of Tokyo*, Jepang tahun 1997 dan S3 bidang Teknik Biologi dan Lingkungan di *University of Tokyo*, Jepang, tahun 2000.

**Nanik Purwanti** dilahirkan di Sukoharjo, 8 Januari 1981. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor tahun 2003, S2 *Food Technology*, *Wageningen University* Belanda tahun 2007 dan S3 bidang *Nutrition, Food Technology and Biotechnology*, *Wageningen University* Belanda tahun 2012.

**Slamet Budijanto** dilahirkan di Madiun, 2 Mei 1961. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Teknologi Pangan dan Gizi Institut Pertanian Bogor tahun 1985, S2 *Food Chemistry*, *Tohoku University* Jepang tahun 1990 dan S3 *Food Chemistry*, *Tohoku University* Jepang tahun 1993.

---

Halaman ini sengaja dikosongkan