

# Pendugaan umur simpan kerupuk sagu goreng dengan pendekatan kurva isotherm sorpsi air

[Shelf-life estimation of fried sago crackers by water sorption isotherm curve approach]

Dewi Fortuna Ayu<sup>1\*</sup>, Budi Lambok Situmorang<sup>1</sup>, Raswen Efendi<sup>1</sup>, Rahmadini Payla Juarsa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Riau, Kampus Bina Widya Km. 12.5 Pekanbaru 28293

\* Email korespondensi : dewi.fortuna@lecturer.unri.ac.id

Diterima : 17 April 2023, Disetujui : 16 Oktober 2023, DOI: 10.23960/jthp.v29i1.22-34

## ABSTRACT

Fried sago crackers are dry local foods that are easily damaged by moisture during storage. To increase economic value and open commercialization opportunities, a study aimed to estimate the shelf life of white and red fried sago crackers using an acceleration method based on the water sorption isotherm curve. Estimating the shelf life was carried out by storing crackers in several modified jars containing different saturated salt solutions. Calculating the moisture permeability constant of polyethylene and polypropylene packaging was also carried out to support the necessary data. The results showed that sago crackers packaged in polypropylene had a longer shelf life than polyethylene plastic. The white sago crackers with polypropylene plastic had a shelf life of 19.89-69.83 days at 70-90% RH, while polyethylene was 12.02-42.21 days at 70-90% RH with 0.0434 g H<sub>2</sub>O.g solid<sup>-1</sup> critical water content. The red sago crackers with polypropylene plastic had a shelf life of 18.26-69.93 days at 70-90% RH, while polyethylene was 11.04-42.27 days at 70-90% RH with a critical water content of 0.0455 g H<sub>2</sub>O.g solid<sup>-1</sup>. The chosen model for the water sorption isotherm curve was Hasley and GAB, with equation  $\log (\ln (1/a_w)) = -1.82 - 1.31 \log Me$  for white sago fried crackers and  $Me = (0.5157a_w)/(1 - 0.9632a_w)(1 + 15.578a_w)$  for red sago fried crackers, respectively. Fried sago crackers in polypropylene plastic packaging have the potential to be developed as local food products with a longer shelf life.

Keywords: sago fried crackers, shelf-life, water sorption isotherm curve

## ABSTRAK

Kerupuk sagu goreng merupakan pangan lokal kering yang mudah mengalami kerusakan akibat kelembaban selama penyimpanan. Guna meningkatkan nilai ekonomi dan membuka peluang komersialisasi, dilakukan penelitian yang bertujuan melakukan pendugaan umur simpan kerupuk sagu goreng berwarna putih dan merah dengan metode akselerasi berdasarkan pendekatan kurva ISA. Penentuan umur simpan menggunakan analisis deskriptif dalam bentuk tabel dan grafik. Hasil penelitian menunjukkan umur simpan kerupuk sagu goreng lebih lama jika dikemas dalam kemasan plastik polipropilen dibandingkan polietilen. Kerupuk sagu putih dengan kemasan polipropilen mempunyai umur simpan 19,89-69,83 hari sedangkan polietilen 12,02-42,21 hari pada RH 70-90% dan kadar air kritis 0,0434 g H<sub>2</sub>O.g solid<sup>-1</sup>. Kerupuk sagu merah dengan kemasan plastik polipropilen memiliki umur simpan 18,26-69,93 hari sedangkan polietilen 11,04-42,17 hari pada RH 70-90% dan kadar air kritis 0,0455 g H<sub>2</sub>O.g solid<sup>-1</sup>. Persamaan kurva isotherm sorpsi air terpilih adalah Hasley dan GAB, masing-masing dengan persamaan  $\log (\ln (1/a_w)) = -1,82 - 1,31 \log Me$  untuk kerupuk sagu putih dan  $Me = (0,5157a_w)/(1 - 0,9632a_w)(1 + 15,578a_w)$  untuk kerupuk sagu merah. Kerupuk sagu goreng dalam kemasan plastik polipropilen berpotensi dikembangkan sebagai produk pangan lokal dengan masa simpan yang lebih lama.

Kata kunci: kerupuk sagu goreng; kurva isotherm sorpsi air; umur simpan

## Pendahuluan

Sagu memiliki potensi sebagai bahan baku pangan olahan karena merupakan tanaman penghasil karbohidrat. Menurut Direktorat Jenderal Perkebunan (2019), Riau merupakan provinsi penghasil sagu terbesar di Indonesia dengan kontribusi 80,99% dari total produksi sagu di Indonesia khususnya Kabupaten Kepulauan Meranti. Salah satu olahan berbahan dasar sagu yang berpotensi untuk dikembangkan, yaitu kerupuk sagu. Saat ini, kerupuk sagu dijual dalam bentuk mentah, dengan stok warna merah dan putih, sedangkan produk kerupuk sagu kemasan yang sudah digoreng belum ada. Oleh karena itu, terdapat potensi untuk memasarkan kerupuk sagu goreng dalam kemasan.

Salah satu camilan yang sangat digemari masyarakat adalah kerupuk sebagai produk hasil usaha kecil menengah. Kerupuk yang sudah digoreng memiliki tekstur renyah, ringan, dan porous, serta memiliki kadar air dan aktivitas air yang rendah. Menurut Taewee (2011), kadar air kerupuk yang ideal tidak lebih dari 3%, dengan pengembangan yang ideal mencapai 77%. Namun demikian, kerupuk cenderung menyerap uap air dari lingkungan selama masa penyimpanan, sehingga kehilangan kerenyahannya dan tidak lagi layak untuk dikonsumsi. Salah satu cara untuk mencegah penyerapan uap air dan mempertahankan kerenyahan kerupuk adalah dengan mengemasnya dalam kemasan berpermeabilitas uap air rendah. Plastik polietilen dan polipropilen adalah jenis kemasan yang sering digunakan untuk kerupuk.

Kemasan plastik polietilen dan polipropilen memiliki bersifat tahan terhadap suhu dan kelembaban, serta permeabilitas rendah. Menurut Murni et al. (2017), polietilen memiliki permeabilitas sebesar 0,46, sedangkan polipropilen sebesar 0,08 gH<sub>2</sub>O/hari/m<sup>2</sup>.mmHg. Oleh karena itu, kerupuk bawang kentang dengan kemasan polietilen dan polipropilen dapat bertahan selama 15 dan 86 hari pada kelembaban relatif (RH) 75%, serta 11 dan 63 hari pada RH 80%. Sejalan dengan penelitian Setyowati & Kanetro (2015), polipropilen permeabilitasnya lebih rendah (0,0005225 g uap air/hari.kantung.mmHg) dibandingkan dengan polietilen (0,0006758 g uap air/hari.kantung.mmHg), sehingga kerupuk oyek dapat bertahan lebih lama jika dikemas dengan polipropilen (211 hari) dibandingkan dengan polietilen (155 hari).

Metode konvensional dan akselerasi dapat untuk memperkirakan umur simpan. Waktu yang lama dan biaya mahal pada kondisi normal biasa dilakukan pada metode konvensional, sedangkan metode akselerasi lebih singkat waktunya dan dapat digunakan pada kondisi tidak normal (ekstrem), seperti suhu tinggi dan kelembaban yang ekstrem. Penentuan masa simpan yang menggunakan metode akselerasi pada suhu yang lebih tinggi dapat dilakukan menggunakan persamaan Arrhenius, seperti pada coklat instan (Hidayati et al., 2021) dan kerupuk ikan Palembang (Pangawikan et al., 2022), sedangkan pada kelembaban di bawah atau di atas normal dapat menggunakan pendekatan kurva isoterm sorpsi air (ISA).

Kurva ISA merupakan grafik hubungan antara kadar air dan aktivitas air makanan dengan rentang nilai serta suhu konstan. Pendugaan umur simpan makanan kering secara kuantitatif dapat menggunakan kurva ISA, terutama karena pengaruh dari kelembaban. Persamaan kurva ISA berperan dalam pengawetan makanan yang berkaitan dengan dehidrasi, termasuk prediksi waktu pengeringan dan umur simpan produk kering dalam kemasan (Al-Muhtaseb et al., 2002). Beberapa model persamaan yang menggunakan seperti model Hasley untuk cracker jagung (Sugiyono et al., 2012) dan kerupuk bawang kentang (Murni et al., 2017), model Guggenheim, Anderson, de Boer (GAB) untuk keripik kentang (Alfiyanti et al., 2019), kerupuk tapioka mentah (Pakpahan et al., 2017), model Oswin untuk kerupuk goreng pasir (Siswantoro et al., 2012), dan model Caurie untuk biskuit coklat (Cahyanti et al., 2016), bubuk jahe merah dengan ukuran partikel 60 mesh menggunakan model Henderson, sedangkan untuk bubuk jahe merah ukuran partikel 80 mesh dengan Model Chen-Clayton (Juliana et al., 2020). Sementara itu, model persamaan yang tepat untuk menggambarkan kurva ISA kerupuk sagu goreng belum pernah dilaporkan. Hal ini menarik dilakukan, karena sagu merupakan bahan pangan lokal khas Indonesia, terutama Provinsi Riau. Oleh karena itu, penelitian ini, menggunakan pendekatan beberapa model persamaan kurva ISA, yaitu Hasley, GAB, Oswin, Caurie, Chen Clayton, dan Henderson untuk memperkirakan umur simpan kerupuk sagu goreng. Hal ini membuka peluang komersialisasi kerupuk sagu goreng dalam kemasan sebagai salah satu pangan lokal yang memiliki nilai ekonomi lebih tinggi. Tujuan penelitian ini adalah melakukan pendugaan umur simpan kerupuk sagu goreng putih dan merah menggunakan metode akselerasi berdasarkan pendekatan kurva ISA.

## Bahan dan metode

### *Bahan dan alat*

Bahan utama berupa kerupuk sagu mentah berwarna putih dan merah yang diperoleh dari industri rumah tangga Kerupuk Sagu Lita. MS di Kabupaten Kepulauan Meranti, Provinsi Riau. Minyak goreng merek "Bimoli", kemasan polietilen (ketebalan 0,12 mm), kemasan polipropilen (ketebalan 0,36 mm). Bahan analisis (E-Merck) meliputi: NaOH, MgCl<sub>2</sub>, KI, NaCl, KCl, dan BaCl<sub>2</sub>, akuades, serta kertas label.

### *Penjemuran dan penggorengan kerupuk sagu*

Sebelum digoreng, kerupuk sagu mentah dijemur terlebih dahulu. Kerupuk sagu mentah diletakkan di atas nampan dan dijemur di bawah sinar matahari hingga tampak kering serta memudar warnanya. Kerupuk kemudian digoreng *deep frying* dengan rasio bahan dan minyak goreng 1:6 pada suhu 170°C selama 10 detik hingga mengembang. Kerupuk selanjutnya ditiriskan dan disimpan dalam wadah sesuai perlakuan. Hal ini mengacu pada Nendissa (2012) dan Subagya et al. (2018).

### *Pengujian kadar air awal dan kritis*

Pengukuran kadar air awal kerupuk sagu goreng menggunakan metode gravimetri (AOAC, 2005), sementara kadar air kritis ditentukan dengan menguji kerenyahan melalui penilaian organoleptik dan penetrometer dengan merujuk pada penelitian Murni et al. (2017). Kerupuk sagu putih dan merah yang telah digoreng ditempatkan dalam wadah terbuka (tidak dikemas) dan disimpan pada suhu kamar. Delapan puluh panelis tanpa pengalaman khusus mengikuti penilaian organoleptik terhadap kerupuk selama 12 jam penyimpanan, menggunakan skala penilaian dari skor 1 (tidak suka sama sekali) hingga 5 (sangat suka). Nilai kritis yang digunakan adalah skor 3 (agak suka), dan pengujian sensori kesukaan dilakukan tiga kali. Selanjutnya, sebuah kurva dibuat untuk mengilustrasikan hubungan antara kadar air kerupuk sagu dan skor kerenyahan berdasarkan penilaian hedonik.

### *Pengujian tingkat kerenyahan dengan penetrometer*

Pengukuran dilakukan setiap jam selama 12 jam pada penyimpanan suhu ruang, dengan cara merentangkan kerupuk pada dasar alat penetrometer (Wagner FT02, USA), lalu menusukkan jarum pada kerupuk hingga pecah dan mencatat hasil penetrasinya (Masita & Sukesu, 2015).

### *Pengujian kadar air kesetimbangan*

Garam dilarutkan dalam 50 mL akuades hingga jenuh, lalu ditempatkan dalam wadah modifikasi dengan meja kaca sebagai penyangga selama 24 jam. Setelah itu, wadah dibuka dan diaduk. Selanjutnya 2-5 gram kerupuk sagu dimasukkan ke dalam cawan, dan diletakkan di atas meja kaca, lalu ditutup rapat. Wadah yang berisi garam dan kerupuk sagu disimpan pada suhu kamar. Penimbangan kerupuk sagu putih dan merah dilakukan setiap 5 jam selama 5 hari hingga mencapai berat stabil (selisih kurang dari 2 mg) (Pertiwi et al., 2017). Kemudian, kurva hubungan antara kadar air kesetimbangan dan awal kerupuk sagu dibuat, dan pengukuran kadar air kesetimbangan dilakukan tiga kali untuk setiap percobaan. Informasi tentang persiapan larutan garam terdapat dalam Tabel 1.

### *Penentuan model persamaan serta ketepatan kurva ISA*

Perhitungan nilai *Mean Relative Determination* (MRD) dilakukan guna menentukan ketetapan model persamaan kurva ISA.

$$MRD = \frac{100}{n} \sum_{i=0}^n \frac{|Mi - Mpi|}{|Mi|} \dots\dots\dots (1)$$

Mpi = Kadar air kerupuk hasil perhitungan; Mi= Kadar air kerupuk hasil percobaan; dan n= Jumlah sampel kerupuk

**Tabel 1.** Preparasi larutan garam guna penetapan kurva ISA

| No | Garam                                | Senyawa            | RH (%) | Jumlah    |          |
|----|--------------------------------------|--------------------|--------|-----------|----------|
|    |                                      |                    |        | Garam (g) | Air (mL) |
| 1  | NaOH                                 | Natrium Hidroksida | 7      | 19,21     | 50       |
| 2  | MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O | Magnesium Chloride | 33     | 20,01     | 50       |
| 3  | KI                                   | Kalium Iodide      | 69     | 19,93     | 50       |
| 4  | NaCl                                 | Natrium Chloride   | 76     | 18,12     | 50       |
| 5  | KCl                                  | Kalium Chloride    | 84     | 16,68     | 50       |
| 6  | BaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O | Barium Chloride    | 90     | 14,53     | 50       |

Nilai MRD menunjukkan sejauh mana model kurva ISA sesuai dengan kondisi lingkungan sekitarnya. Nilai MRD kurang dari 5 menunjukkan ketepatan tinggi, sedangkan jika antara 5 hingga 10, maka model masih cukup sesuai dengan kondisi lingkungan, tetapi jika lebih dari 10, maka model tidak sesuai dengan kondisi lingkungan (Sugiyono et al., 2013).

#### **Penetapan nilai slope kurva**

Nilai slope yang diperoleh (b) dihitung berdasarkan plotting hubungan antara nilai aktivitas air dan kadar air kesetimbangan menggunakan model persamaan kurva ISA yang terpilih. Ini menghasilkan persamaan linier  $y = bx + a$ , di mana nilai b adalah slope dari kurva isotherm sorpsi air (Sugiyono et al., 2012, 2013).

#### **Pengujian tekanan uap jenuh serta permeabilitas uap air kemasan**

Pengukuran permeabilitas kemasan berdasarkan pada metode yang dijelaskan oleh Sara (2015), sedangkan tekanan uap jenuh air pada suhu kamar didapatkan dari tabel uap jenuh. Untuk menilai laju perpindahan uap air, silika gel seberat 3 gram dimasukkan dalam cawan porselen yang ditutup dengan kemasan plastik polietilen dan polipropilen. Selanjutnya cawan porselen ditempatkan dalam desikator yang berisi air, dan diukur peningkatan beratnya setiap 9 jam sekali. Laju transmisi uap air dihitung menggunakan rumus berikut:

$$WVTR = \frac{G/t}{A} \dots\dots\dots(2)$$

$$k/x = \frac{WVTR}{Po} \dots\dots\dots(3)$$

WVTR= Kecepatan transmisi uap air (g.m<sup>-2</sup>.jam<sup>-1</sup>); G/t= Selisih pertambahan berat per jam; A= Luas kemasan plastik (m<sup>2</sup>); Po= Tekanan uap air murni dalam suhu pengujian (mmHg); dan k/x= Konstanta permeabilitas uap air kemasan (g.m<sup>-2</sup>.jam.mmHg<sup>-1</sup>) (Sara, 2015)

#### **Penentuan luas dan berat kering per kemasan**

Perhitungan luas kemasan dilakukan dengan mengalikan panjang dan lebar kemasan polietilen dan polipropilen. Berat kering per kemasan dihitung dengan mengkoreksi berat awal sampel dalam kemasan dan kadar air awalnya (Idayanti et al., 2021). Pengukuran luas dan berat kering per kemasan dilakukan dalam tiga percobaan berulang.

$$A = P(\text{panjang}) \times L(\text{lebar}) \dots\dots\dots(4)$$

$$\% \text{ solid} = \left( \frac{1 - Mo}{1 + Mo} \right) \times 100 \dots\dots\dots(5)$$

$$Ws = Wox \left( \frac{\% \text{ solid}}{100} \right) \dots\dots\dots(6)$$

Mo = Kadar air awal produk kerupuk (%); A= Luas kemasan (m<sup>2</sup>); Wo= Bobot produk awal kerupuk (g); %solid= Persentase padatan dalam kemasan; dan Ws= Berat kering produk kerupuk dalam kemasan (g)

### Perhitungan umur simpan

Perhitungan umur simpan kerupuk sagu goreng menggunakan data hasil percobaan yang dimasukkan ke dalam persamaan (7), dengan menggunakan 4 nilai kelembaban yaitu 70, 75, 80, dan 90%, selanjutnya perhitungan umur simpan kerupuk sagu goreng mengacu pada persamaan (Bell & Labuza, 2000).

$$t = \frac{\ln \left( \frac{Me - Mi}{Me - Mc} \right)}{\left( \frac{k}{x} \right) \left( \frac{A}{Ws} \right) \left( \frac{Po}{b} \right)} \dots\dots\dots(7)$$

t= Waktu guna mencapai kadar air kritis/umur simpan kerupuk (jam); Mi= Kadar air awal produk kerupuk (g H<sub>2</sub>O.g solid<sup>-1</sup>); Mc= Kadar air kritis produk kerupuk (g H<sub>2</sub>O.g solid<sup>-1</sup>); Me= Kadar air kesetimbangan produk kerupuk (g H<sub>2</sub>O.g solid<sup>-1</sup>); k/x= Konstanta permeabilitas uap air kemasan (g.m<sup>2</sup>.jam.mmHg); A= Luas total permukaan kemasan (m<sup>2</sup>); Ws= Berat kering produk kerupuk dalam kemasan (g); Po= Tekanan uap jenuh (mmHg); b= Slope kurva ISA

### Analisis data

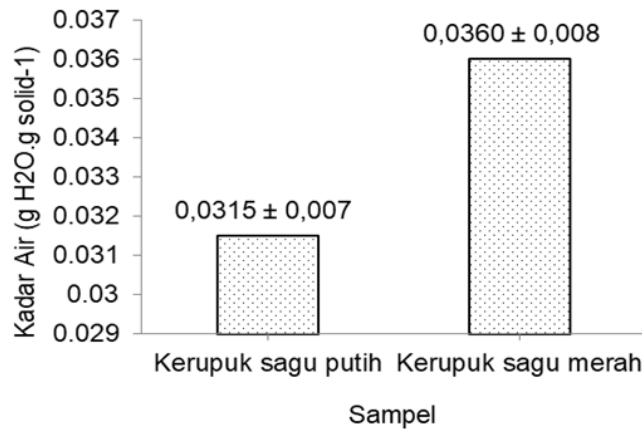
Data kadar air awal dan konstanta permeabilitas uap air dianalisis menggunakan uji t, sedangkan kadar air kritis, hasil pengujian kerenyahan secara organoleptik dan penetrometer yang digunakan dalam penentuan umur simpan dianalisis secara deskriptif dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik menggunakan software Microsof Excel 2013.

## Hasil dan pembahasan

### Kadar air awal

Kadar air dapat berpengaruh terhadap tekstur dan penampakan. Hasil analisis dan perhitungan menggunakan uji t menunjukkan bahwa kadar air awal kerupuk sagu putih goreng sebesar 0,0315±0,007 g H<sub>2</sub>O.g solid<sup>-1</sup>, yang tidak berbeda nyata dengan kerupuk sagu merah goreng yaitu sebesar 0,0360±0,008 g H<sub>2</sub>O.g solid<sup>-1</sup>, seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Kadar air kedua jenis kerupuk sagu goreng ini telah memenuhi standar kerupuk ikan yang ditetapkan oleh SNI 2173, yakni tidak melebihi 0,1200 g H<sub>2</sub>O.g solid<sup>-1</sup> (Badan Standardisasi Nasional, 2009). Kadar air awal yang rendah pada kerupuk sagu, baik yang berwarna putih maupun merah, memungkinkan penyimpanan jangka panjang. Sesuai dengan Mandriali et al. (2016), kadar air pada kerupuk sagu berdampak signifikan pada masa simpannya; semakin rendah kadar air, semakin lama masa simpannya karena mikroorganisme tidak dapat tumbuh dan berkembang. Kadar air awal yang rendah menunjukkan bahwa kerupuk sagu goreng berwarna putih maupun merah dapat disimpan untuk jangka waktu yang lama. Taewee (2011) menambahkan bahwa kualitas kerupuk yang baik membutuhkan kecukupan pengembangan *puffing*, renyah, kadar air dan penyerapan minyak rendah. Kerenyahan merupakan atribut penting pengembangan kerupuk, kerupuk harus memiliki ekspansi linier lebih dari 77% agar renyah ideal.

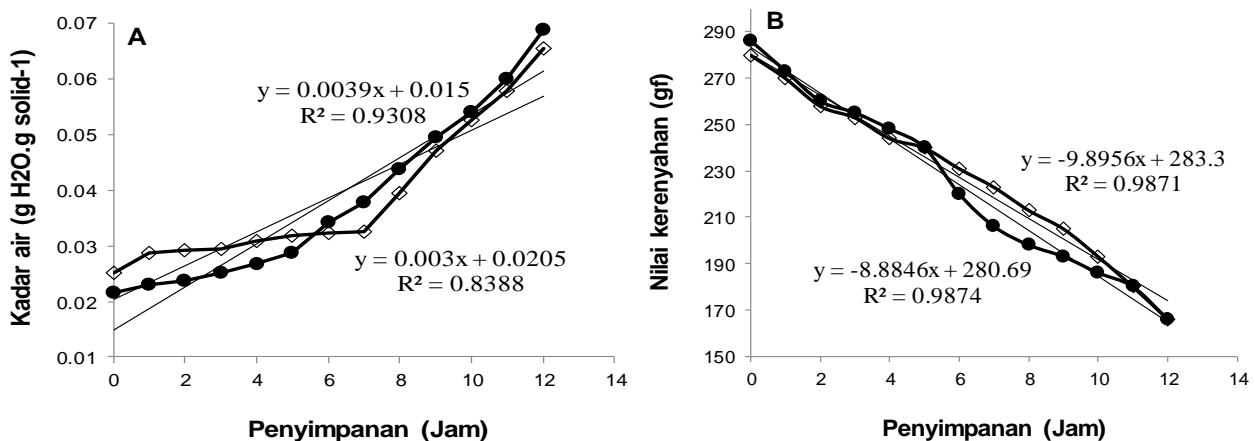




Gambar 1. Kadar air awal kerupuk sagu goreng

### Kadar air kritis

Kerupuk yang secara organoleptik bagi konsumen mulai tidak menerimanya digunakan untuk menandai kadar air kritis kerupuk (Murni et al., 2017). Gambar 2A menunjukkan grafik hubungan lama penyimpanan dengan kadar air kerupuk sagu goreng. Persamaan linier kerupuk sagu putih goreng  $y = 0,0003x + 0,0205$  dan kerupuk sagu merah goreng  $y = 0,0039x + 0,015$  dengan nilai regresi masing-masing 0,8388 serta 0,9308. Kadar air kerupuk sagu goreng mengalami peningkatan seiring bertambahnya lama penyimpanan, disebabkan karena kerupuk sagu goreng bersifat higroskopis dan selama penyimpanan mudah menyerap uap air dari lingkungan. Menurut Sunyoto et al. (2017) peningkatan kadar air pada penyimpanan 0-8 jam pada kerupuk ikan berkisar antara 3-6,59%.

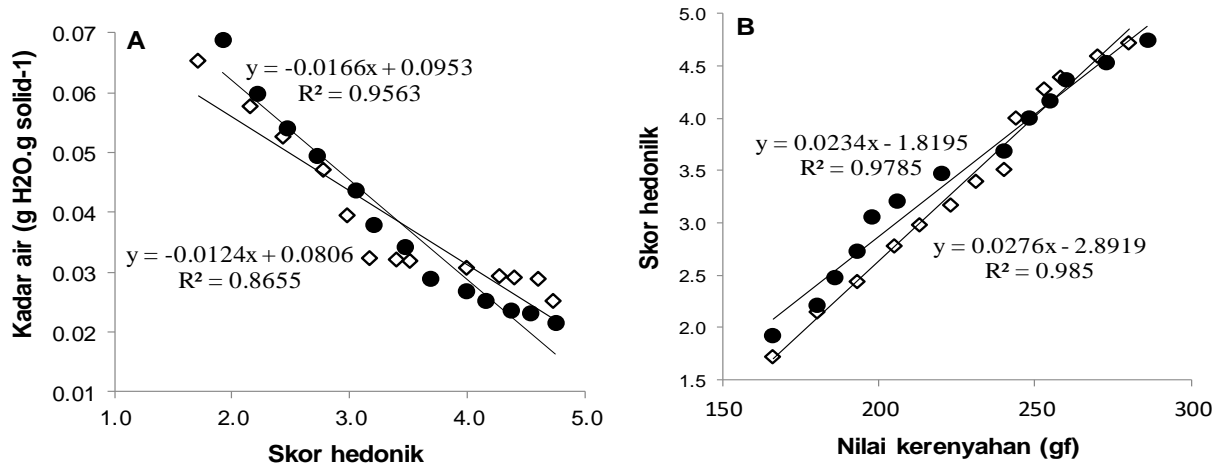


Gambar 2. Grafik keterkaitan antara (A) kadar air dan lama penyimpanan serta (B) nilai kerenyahan dengan lama penyimpanan kerupuk sagu putih (◇) dan merah goreng (●)

Gambar 2B menunjukkan grafik hubungan lama penyimpanan dengan nilai kerenyahan kerupuk sagu goreng. Persamaan linier kerupuk sagu putih goreng  $y = -9,8956x + 283,3$  dan kerupuk sagu merah goreng  $y = -8,8846x + 280,69$  dengan nilai regresi 0,9871 dan 0,9874. Kerenyahan kerupuk menurun seiring dengan lama penyimpanan dikarenakan adanya penyerapan uap air dari lingkungan ke permukaan kerupuk (adsorpsi). Sejalan dengan Ikasari et al. (2017), nilai kerenyahan kerupuk ikan lele dumbo panggang dihasilkan sebesar 3,51-1,10 gf selama penyimpanan 0-180 menit.

Kadar air kritis ditunjukkan saat kerenyahan kerupuk mulai tidak dapat diterima lagi oleh panelis, penentuannya berdasarkan nilai regresi antara kadar air dengan skor hedonik. Gambar 3A menunjukkan grafik hubungan kadar air dan skor hedonik kerupuk sagu putih dan merah goreng. Persamaan linier

kerupuk sagu putih goreng  $y = -0,0124x + 0,0806$  dengan regresi 0,8655, sedangkan kerupuk sagu merah goreng  $y = -0,0166x + 0,0953$  dengan regresi 0,9563. Berdasarkan persamaan tersebut yang menggunakan titik kritis skor hedonik 3 (agak suka), maka diperoleh kadar air kritis kerupuk sagu putih goreng  $0,0434 \text{ g H}_2\text{O.g solid}^{-1}$  dan kerupuk sagu merah goreng  $0,0455 \text{ g H}_2\text{O.g solid}^{-1}$  setelah disimpan masing-masing selama 8 jam 15 menit dan 8 jam 25 menit.



Gambar 3. Grafik keterkaitan antara (A) kadar air dengan skor hedonik serta (B) skor hedonik dengan nilai kerenyahan kerupuk sagu putih (◇) dan merah goreng (•)

Gambar 3B menunjukkan grafik hubungan skor hedonik dan nilai kerenyahan kerupuk sagu goreng. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa skor hedonik dan nilai kerenyahan kerupuk sagu putih dan merah goreng memiliki hubungan yang sangat kuat ( $R^2 > 0,95$ ). Kenaikan nilai kerenyahan kerupuk menyebabkan kenaikan skor hedonik panelis yang berarti kerupuk sagu semakin disukai oleh panelis. Ini memastikan bahwa kerenyahan adalah faktor utama dalam menentukan apakah kerupuk dapat dianggap sebagai produk pangan yang dapat diterima atau tidak. Berdasarkan persamaan tersebut, nilai kerenyahan saat kerupuk sagu putih goreng dinyatakan tidak layak diterima sebagai produk pangan pada nilai kerenyahan 213,47 gf dan kerupuk sagu merah goreng pada nilai kerenyahan 209,54 gf.

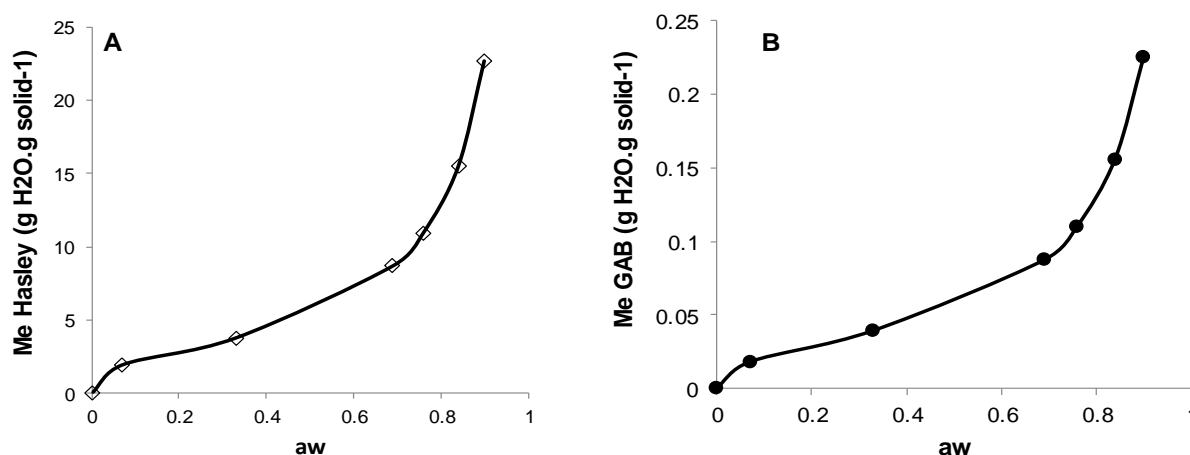
Proses masuknya uap air yang berasal dari lingkungan selama penyimpanan mengakibatkan terjadinya penurunan mutu dan kerenyahan kerupuk sagu goreng. Walaupun secara statistik kadar air awal kerupuk sagu putih dan merah goreng menunjukkan perbedaan yang tidak nyata (kadar air awal kerupuk sagu putih goreng sebesar  $0,0315 \text{ g H}_2\text{O.g solid}^{-1}$  dan kerupuk sagu merah goreng  $0,0360 \text{ g H}_2\text{O.g solid}^{-1}$ ), namun adanya perbedaan RH dengan lingkungan menyebabkan kerupuk sagu goreng mampu menyerap uap air untuk mencapai kondisi kritis dan selanjutnya mencapai kesetimbangan. Nilai kadar air kritis serta waktu tercapainya titik kritis kerupuk sagu putih dan merah goreng dipengaruhi oleh keberadaan air dalam bahan pangan, yang juga berpengaruh terhadap adsorpsi dan desorpsi bahan pangan. Nilai aktivitas air (aw) berpengaruh terhadap kerenyahan produk pangan dan bergantung pada karakteristik produknya (Alfiyanti et al., 2019).

#### Kurva isoterm sorpsi air

Selama proses penyimpanan, terjadi peningkatan kadar air kerupuk hingga mencapai kondisi setimbang seiring semakin tinggi penggunaan RH penyimpanan dalam toples modifikasi. Hal ini terkait dengan proses adsorpsi yang terjadi, yaitu penyerapan uap air dari lingkungan di dalam toples modifikasi ke permukaan kerupuk sagu goreng hingga mencapai kondisi kesetimbangan yang dikenal sebagai fenomena hidrasi. Fenomena ini dapat menyebabkan peningkatan kadar air dan menurunkan kerenyahan kerupuk seiring semakin lama penyimpanan. Sejalan dengan Maku et al. (2014) dalam

penelitiannya mengenai keripik pisang keju Gorontalo yang diduga umur simpannya menggunakan pendekatan kurva ISA, menghasilkan peningkatan kadar air kesetimbangan berkisar 3,49-16,83% pada RH penyimpanan 6,5-90,3%. Penggunaan RH penyimpanan yang semakin tinggi maka kadar air kerupuk sagu goreng juga semakin tinggi setelah mencapai kondisi kesetimbangan.

Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan antara Me Hasley kerupuk sagu putih goreng dengan  $a_w$  (a) dan Me GAB kerupuk sagu merah goreng dengan  $a_w$  (b). Kedua grafik mempunyai pola hampir sama yaitu seperti huruf S (Sigmoid) atau tipe II yang tidak sempurna, pola ini adalah kekhasan kurva ISA untuk makanan kering kaya karbohidrat. Interaksi antara permukaan kerupuk sagu dengan molekul air menyebabkan pembentukan ikatan hidrogen yang mempengaruhi bentuk kurva isotherm sorpsi air tipe II. Menurut Wijaya et al., (2014), sebagian besar bahan pangan kering memperlihatkan pola sigmoid pada kurva ISA tipe II, pola penyerapan atau masuknya uap air jenis bahan pangan ini dipengaruhi oleh kumulatif efek fisika-kimiawi sehingga menunjukkan tampak seperti lengkungan yaitu pada  $a_w$  0,2-0,7. Konsep ini diperkuat oleh temuan Sunyoto et al. (2017), yang mengindikasikan bahwa kurva ISA kerupuk ikan menunjukkan satu lengkungan pada rentang nilai  $a_w$  antara 0,2 hingga 0,9. Begitu pula, kurva ISA pada kerupuk sagu putih dan merah yang digoreng juga menunjukkan satu lengkungan pada nilai  $a_w$  yang berkisar antara 0,1 hingga 0,9.



**Gambar 4.** Grafik hubungan Me Hasley kerupuk sagu putih goreng (◇) dengan  $a_w$  (A) dan Me GAB kerupuk sagu merah goreng (●) dengan  $a_w$  (B)

Ketepatan kurva ISA diukur dengan menggunakan model persamaan kurva ISA berdasarkan perhitungan *Mean Relative Determination* (MRD). Persamaan kurva ISA dan nilai MRD kerupuk sagu goreng disajikan Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan setiap model persamaan kurva ISA memiliki persamaan liniernya masing-masing. Hasil perhitungan nilai MRD menyatakan persamaan GAB dan Hasley memiliki nilai  $MRD < 5$ , paling rendah diantara Chen Clayton, Henderson, Caurie, serta Oswin. Persamaan GAB merupakan model terpilih untuk menggambarkan keadaan sebenarnya dari fenomena kurva ISA kerupuk sagu merah goreng dengan persamaan  $Me = (0.5157a_w) / (1 - 0.9632a_w)(1 + 15.578a_w)$  dan persamaan Hasley untuk kerupuk sagu putih goreng dengan persamaan  $\log(\ln(1/a_w)) = -1,82 - 1,31 \log Me$ . Beberapa penelitian juga menggunakan nilai  $MRD < 5$  untuk menentukan model persamaan kurva ISA yang tepat, yaitu model GAB untuk keripik kentang (Alfiyani et al., 2019) dan kerupuk tapioka mentah (Pakpahan et al., 2017), sedangkan Persamaan Hasley untuk *cracker* jagung (Sugiyono et al., 2013) dan kerupuk bawang kentang (Murni et al., 2017).



**Tabel 2.** Persamaan kurva ISA kerupuk sagu goreng

| Model Persamaan | Kerupuk Sagu Putih Goreng                           |           | Kerupuk Sagu Merah Goreng                            |           |
|-----------------|-----------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------|-----------|
|                 | Persamaan Linier                                    | Nilai MRD | Persamaan Linier                                     | Nilai MRD |
| GAB             | $Me = 0,5041a_w / (1 - 0,9641a_w) (1 + 15,8192a_w)$ | 3,60      | $Me = (0,5157a_w) / (1 - 0,9632a_w) (1 + 15,578a_w)$ | 3,28      |
| Hasley          | $\log (\ln (1/a_w)) = -1,82 - 1,31 \log Me$         | 3,03      | $\log (\ln (1/a_w)) = -1,81 - 1,31 \log Me$          | 3,76      |
| Chen Clayton    | $\ln (\ln (1/a_w)) = 0,79 - 15,80 Me$               | 39,18     | $\ln (\ln (1/a_w)) = 0,81 - 15,62 Me$                | 37,19     |
| Henderson       | $\log (\ln (1/(1-a_w))) = 1,41 + 1,38 \log Me$      | 20,74     | $\log (\ln (1/(1-a_w))) = 1,40 + 1,39 \log Me$       | 18,18     |
| Caurie          | $\ln Me = -4,21 + 2,79 a_w$                         | 94,46     | $\ln Me = -4,18 + 2,78 a_w$                          | 94,33     |
| Oswin           | $\ln Me = -2,75 + 0,51 \ln (a_w / (1-a_w))$         | 94,52     | $\ln Me = -2,73 + 0,51 \ln (a_w / (1-a_w))$          | 94,51     |

Kedua model terpilih tersebut dapat dipergunakan untuk menetapkan kadar air kesetimbangan dalam beberapa kondisi penyimpanan RH, antara lain 70, 75, 80, dan 90% (Tabel 3).

**Tabel 3.** Kadar air kesetimbangan kerupuk sagu goreng pada berbagai RH penyimpanan

| Kerupuk                   | Kadar Air Kesetimbangan (Me) |        |        |        |
|---------------------------|------------------------------|--------|--------|--------|
|                           | RH 70%                       | RH 75% | RH 80% | RH 90% |
| Kerupuk sagu putih goreng | 0,0931                       | 0,1098 | 0,1698 | 0,2321 |
| Kerupuk sagu merah goreng | 0,0896                       | 0,1056 | 0,1282 | 0,2274 |

Nilai b kurva ISA adalah komponen yang dibutuhkan guna menghitung umur simpan bahan pangan kering berdasarkan pada kadar air kritis (Bell & Labuza, 2000). Untuk menentukan nilai b pada kurva ISA terpilih, daerah linear diambil dari titik kadar air awal ( $M_o$ ) hingga kadar air kritis ( $M_c$ ) pada model kurva ISA, seperti yang dijelaskan oleh Sugiyono et al., (2013). Berdasarkan grafik kurva ISA, nilai *slope* kurva ISA kerupuk sagu putih goreng sebesar 0,0937 dan kerupuk sagu merah goreng sebesar 0,1073, ditunjukkan pada Tabel 5.

### **Permeabilitas uap air kemasan**

Hasil menunjukkan bahwa tekanan uap jenuh suhu 30°C sebesar 28.7631 mmHg, serta karakteristik kemasan polietilen dan polipropilen, termasuk luas, selisih pertambahan berat, kecepatan transmisi uap air, dan konstanta permeabilitas uap air (Tabel 4). Kemasan polietilen memiliki nilai selisih pertambahan berat, laju transmisi uap air, dan konstanta permeabilitas lebih tinggi dibandingkan kemasan polipropilen karena keduanya memiliki karakteristik yang berbeda.

**Tabel 4.** Permeabilitas uap air kemasan polietilen dan polipropilen

| Jenis Kemasan | Tekanan Uap Jenuh (mmHg) | Luas Kemasan (m <sup>2</sup> ) | Selisih Pertambahan Berat per Jam (g.jam <sup>-1</sup> ) | Laju Transmisi Uap Air (g.m <sup>-2</sup> .jam <sup>-1</sup> ) | Konstanta Permeabilitas Uap Air (g.m <sup>-2</sup> .jam.mmHg <sup>-1</sup> ) |
|---------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Polietilen    | 28,7631 <sup>a</sup>     | 0,1256 <sup>a</sup>            | 0,0265 <sup>a</sup>                                      | 0,0235 <sup>a</sup>                                            | 0,0008 <sup>a</sup>                                                          |
| Polipropilen  | 28,7631 <sup>a</sup>     | 0,1256 <sup>a</sup>            | 0,0184 <sup>b</sup>                                      | 0,0163 <sup>b</sup>                                            | 0,0006 <sup>b</sup>                                                          |

Menurut Mareta & Awami (2011), kemasan polipropilen memiliki sifat lebih kuat serta kokoh dibandingkan kemasan polietilen. Kemasan polietilen memiliki rantai cabang polimerasi etilen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) yang mencegah rantai plastik saling menumpuk, mengurangi kerapatan, dan memudahkan zat lain seperti uap air untuk dilewati. Kemasan polipropilen merupakan hasil polimerasi propilen/propan (CH<sub>3</sub>CH=CH<sub>2</sub>) yang memiliki struktur kimia molekul penyusun lebih rapat sehingga lebih sulit dilewati gas atau uap air dan titik lunak yang lebih tinggi. Semakin rapat penyusun struktur kimia molekulnya,

kecepatan transmisi uap air dan permeabilitas kemasan akan semakin rendah. Hal ini sejalan dengan Murni et al. (2017) yang menyatakan bahwa kemasan polietilen kerupuk bawang kentang memiliki lebih tinggi yaitu mencapai permeabilitas  $0,46 \text{ g.m}^{-2}\text{jam.mmHg}^{-1}$  dan kemasan polipropilen 0,08 mencapai  $\text{g.m}^{-2}\text{jam.mmHg}^{-1}$ .

### Umur simpan

Pendugaan umur simpan untuk mengamati rentang waktu produk pangan selama penyimpanan sebelum mengalami penurunan mutu, sedangkan data yang diperlukan untuk melakukan perhitungan umur simpan kerupuk sagu goreng berdasarkan pendekatan kurva ISA disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Data perhitungan umur simpan kerupuk sagu goreng berdasarkan pendekatan kurva ISA

| Parameter                                                            | Kerupuk Sagu Putih Goreng |                      | Kerupuk Sagu Merah Goreng |                      |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|
|                                                                      | Kemasan Polietilen        | Kemasan Polipropilen | Kemasan Polietilen        | Kemasan Polipropilen |
| Kadar air awal kerupuk ( $M_0$ , g $\text{H}_2\text{O/g}$ padatan)   | 0,0315                    | 0,0315               | 0,0360                    | 0,0360               |
| Kadar air kritis kerupuk ( $M_c$ , g $\text{H}_2\text{O/g}$ padatan) | 0,0434                    | 0,0434               | 0,0455                    | 0,0455               |
| Nilai b kurva ISA                                                    | 0,0973                    | 0,0973               | 0,1073                    | 0,1073               |
| Berat kering dalam kemasan (g)                                       | 62,1268                   | 71,8190              | 62,8592                   | 72,9316              |
| Luas kemasan ( $\text{m}^2$ )                                        | 0,0556                    | 0,0556               | 0,0556                    | 0,0556               |
| Tekanan uap air murni ( $P_0$ , mmHg, $30^\circ\text{C}$ )           | 28.7631                   | 28.7631              | 28.7631                   | 28.7631              |

Perhitungan umur simpan kerupuk sagu putih dan merah goreng ditentukan untuk RH penyimpanan 70, 75, 80, dan 90% dengan kemasan polietilen dan polipropilen menggunakan kurva ISA terpilih dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Umur simpan kerupuk sagu goreng berdasarkan pendekatan kurva ISA

| Sampel                    | Kemasan      | RH  | Umur simpan |       |
|---------------------------|--------------|-----|-------------|-------|
|                           |              |     | Jam         | Hari  |
| Kerupuk sagu putih goreng | Polietilen   | 70% | 1013.03     | 42.21 |
|                           |              | 75% | 777.24      | 32.38 |
|                           |              | 80% | 424.53      | 17.69 |
|                           |              | 90% | 288.50      | 12.02 |
|                           | Polipropilen | 70% | 1676.02     | 69.83 |
|                           |              | 75% | 1285.91     | 53.58 |
|                           |              | 80% | 702.37      | 29.27 |
|                           |              | 90% | 477.30      | 19.89 |
| Kerupuk sagu merah goreng | Polietilen   | 70% | 1014.37     | 42.27 |
|                           |              | 75% | 763.37      | 31.81 |
|                           |              | 80% | 565.65      | 23.57 |
|                           |              | 90% | 264.92      | 11.04 |
|                           | Polipropilen | 70% | 1678.24     | 69.93 |
|                           |              | 75% | 1262.97     | 52.62 |
|                           |              | 80% | 935.85      | 38.99 |
|                           |              | 90% | 438.30      | 18.26 |

Hasil perhitungan menunjukkan kerupuk sagu putih goreng dengan kemasan polietilen memiliki umur simpan 12,02-42,21 hari, sedangkan kemasan polipropilen berkisar 19,89-69,83 hari pada RH 70-

90%, seperti diperlihatkan pada Tabel 6. Umur simpan kerupuk sagu merah goreng dengan kemasan polietilen memiliki umur simpan 11,04-42,27 hari, sedangkan kemasan polipropilen pada RH 70-90% berkisar 18,26-69,93 hari. Kerupuk sagu goreng memiliki umur simpan lebih singkat dengan kemasan polietilen dibandingkan kemasan polipropilen. Perbedaan itu disebabkan dari perbedaan nilai konstanta permeabilitas kedua kemasan yaitu pada kemasan polietilen  $0,0008 \text{ g.m}^{-2}.\text{jam.mmHg}^{-1}$ , sedangkan pada kemasan polipropilen  $0,0006 \text{ g.m}^{-2}.\text{jam.mmHg}^{-1}$ , konstanta permeabilitas kemasan yang semakin besar nilainya maka umur simpan kerupuk menjadi semakin singkat. Murni et al. (2017) menyatakan bahwa kemasan polietilen dan polipropilen memiliki permeabilitas berturut-turut sebesar 0,0145 dan  $0,0002 \text{ g.m}^{-2}.\text{jam.mmHg}^{-1}$ .

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jika kelembaban relatif (RH) tempat penyimpanan semakin tinggi, maka uap air yang masuk ke permukaan kerupuk dari lingkungan semakin banyak, dan akhirnya memperpendek masa simpan kerupuk. Hasil penelitian oleh Murni et al., (2017) menunjukkan bahwa kerupuk bawang kentang memiliki masa simpan yang berbeda tergantung pada tingkat kelembapan penyimpanan. Pada kemasan polietilen, kerupuk dapat bertahan selama 15 hari pada RH 70%, 11 hari pada RH 80%, dan 7 hari pada RH 85%. Namun, pada kemasan polipropilen, kerupuk dapat bertahan hingga 86 hari pada RH 70%, 63 hari pada RH 80%, dan 44 hari pada RH 85%. Hal ini berarti bahwa produk pangan lokal seperti kerupuk sagu goreng dapat dikemas dalam kemasan polipropilen untuk memperpanjang masa simpannya.

## Kesimpulan

Berdasarkan pendugaan umur simpan menggunakan metode akselerasi pendekatan kurva ISA menunjukkan bahwa penggunaan kemasan polipropilen mampu memperpanjang umur simpan kerupuk sagu goreng yang lebih baik dibandingkan kemasan polietilen. Kurva ISA terpilih untuk kerupuk sagu putih goreng adalah model Hasley dengan persamaan  $\log(\ln(1/a_w)) = -1,82 - 1,31 \log M$ , sedangkan untuk kerupuk sagu merah goreng adalah model GAB, adapun persamaannya  $Me = (0.5157a_w)/(1 - 0.9632a_w)(1 + 15.578a_w)$ . Kerupuk sagu putih goreng dengan kemasan polipropilen memiliki umur simpan 19,89–69,83 hari, sedangkan kemasan polietilen 12,02–42,21 hari pada RH 70-90% dengan kadar air kritis sebesar  $0,0434 \text{ g H}_2\text{O.g solid}^{-1}$ . Kerupuk sagu merah goreng dengan kemasan polipropilen memiliki umur simpan 18,26–69,93 hari, sedangkan untuk kemasan polietilen 11,04–42,27 hari pada kelembaban (RH) 70-90%, dengan kadar air kritis sebesar  $0,0455 \text{ g H}_2\text{O.g solid}^{-1}$ . Hasil penelitian ini menunjukkan potensi ekonomi produk pangan lokal berupa kerupuk sagu goreng yang lebih tahan lama jika dikemas dalam kemasan plastik polipropilen.

## Ucapan terima kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Universitas Riau yang sudah memberikan dana penelitian melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) dengan Nomor Kontak: 752 /UN.19.5.1.3/PT.01.03/2020 dalam Skema Hibah Penelitian Bidang Ilmu tahun 2020.

## Daftar pustaka

- Al-Muhtaseb, A. H., McMinn, W. A. M., & Magee, T. R. A. (2002). Moisture sorption isotherm characteristics of food products: A review. *Food and Bioprocess Processing*, 80(2), 118–128. <https://doi.org/10.1205/09603080252938753>
- Alfiyani, N., Wulandari, N., & Adawiyah, D. R. (2019). Validasi metode pendugaan umur simpan produk pangan renyah dengan metode kadar air kritis. *Jurnal Mutu Pangan*, 6(1), 1–8. <https://doi.org/10.29244/jmpi.2019.6.1.1>
- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of The Association of Official Analytical Chemist 18th Edition*.

- Gaithersburg, Maryland (18th ed.).
- Badan Standardisasi Nasional. (2009). *Standar Nasional Indonesia 2713.1-2009 Kerupuk ikan – Bagian 1; Spesifikasi*.
- Bell, L. N., & Labuza, T. P. (2000). *Moisture Sorption: Practical Aspects of Isotherm Measurement and Use*. The American Association of Cereal Chemists.
- Cahyanti, M. N., Hindarto, J., & Lestario, L. N. (2016). Pemodelan isoterm sorpsi air biskuit coklat menggunakan persamaan Caurie. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 5(2), 51–53. <https://doi.org/10.17728/jatp.170>
- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2019). Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Sagu 2018-2020. *Direktorat Jenderal Perkebunan*.
- Hidayati, S., Sartika, D., & Sutoyo. (2021). Pendugaan umur simpan coklat instan kemasan plastik propilen menggunakan model Arrhenius. *Jurnal Teknologi & Industri Hasil Pertanian*, 26(1), 1–10. <http://dx.doi.org/10.23960/jtihp.v26i1.1-10>
- Idayanti, D., Darmawati, E., & Sutrisno. (2021). Pembuatan dan pendugaan lama simpan bubuk asam sunti dalam kemasan dengan metode sorpsi. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 26(1), 2302–4399. <https://doi.org/10.19028/jtep.06.2.151-158>
- Ikasari, D., Suryaningrum, T. D., Mulyo, I., & Supriyadi. (2017). Pendugaan umur simpan kerupuk ikan lele dumbo (*Clarias gariepinus*) panggang dalam kemasan plastik metalik dan polipropilen. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 12(1), 55–70. <http://dx.doi.org/10.15578/jpbkp.v12i1.342>
- Juliana, R., Hasbullah, R., & Mardjan, S. S. (2020). Models of moisture sorption isotherm and the estimation of red ginger powder shelf life in various packaging materials. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 8(1), 23–28. <https://doi.org/10.19028/jtep.08.1.23-28>
- Maku, M., Mamuaja, C. F., & Tooy, D. (2014). Penentuan umur simpan kripik pisang keju Gorontalo dengan pendekatan kurva sorpsi isotermis. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*, 2(2), 13–20. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/itp/article/view/7229/6731>
- Mandriali, B., Pato, U., & Johan, V. S. (2016). Penambahan tepung daun singkong dalam pembuatan kerupuk sagu. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Pertanian*, 3(2), 1–12. <http://www.tjybjb.ac.cn/CN/article/downloadArticleFile.do?attachType=PDF&id=9987>
- Mareta, D. T., & Awami, S. N. (2011). Pengemasan produk sayuran dengan bahan Kemas plastik pada penyimpanan suhu ruang dan suhu dingin. *MEDIAGRO Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 7(1), 26–40. <http://dx.doi.org/10.31942/mediagro.v7i1.530>
- Masita, H. I., & Sukesu. (2015). Pengaruh penambahan rumput laut terhadap kekerasan nugget ikan. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 4(1), 29–31. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v4i1.9365>
- Murni, A., Rusmarilin, H., & Ridwansyah. (2017). Pendugaan umur simpan kerupuk bawang kentang dengan metode akselerasi berdasarkan pendekatan kadar air kritis. *Jurnal Rekayasa Pangan Dan Pertanian*, 5(1), 11–25. <https://www.e-jurnal.com/2018/01/pendugaan-umur-simpan-kerupuk-bawang.html>
- Nendissa, S. J. (2012). Pemanfaatan tepung sagu molat (*M. sagus* Rottb) dan udang sebagai bahan baku campuran pembuatan kerupuk. *Ekosains*, 1(1), 53–64.
- Pakpahan, N., Kusnandar, F., & Syamsir, E. (2017). Perilaku isoterm sorpsi air dan perubahan fisik kerupuk tapioka pada suhu penyimpanan yang berbeda. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 28(2), 91–101. <https://doi.org/10.6066/jtip.2017.28.2.91>
- Pangawikan, A. D., Mukti, R. C., Sari, D. I., & Ridhowati, S. (2022). Prediksi masa simpan kerupuk ikan Palembang melalui pendekatan angka total oksidasi (totox) dengan metode Accelerated Self-life Test (ASLT). *Jurnal Teknologi & Industri Hasil Pertanian*, 27(2), 81. <https://doi.org/10.23960/jtihp.v27i2.81-89>

- Pertiwi, C., Ginting, S., & Ridwansyah. (2017). Pendugaan umur simpan cookies nenas dengan metode akselerasi berdasarkan pendekatan kadar air kritis. *Jurnal Rekayasa Pangan Dan Pertanian*, 5(1), 51–65. <https://www.e-jurnal.com/2018/01/pendugaan-umur-simpan-cookies-nenas.html>
- Sara, N. E. M. (2015). *Karakteristik edible film berbahan dasar whey dangke dan agar dengan penambahan konsentrasi sorbitol*. (Skripsi). Universitas Hasanuddin.
- Setyowati, A., & Kanetro, B. (2015). Kondisi kritis dan umur simpan oyek berprotein tinggi yang dikemas dalam polipropilen dan polietilen. *AgriSains*, 6(1), 61–72. <http://ejurnal.mercubuana-yogya.ac.id/index.php/Agrisains/article/viewFile/197/174>
- Siswanto, Rahardjo, B., Bintoro, N., & Hastuti, P. (2012). Pemodelan matematik perubahan parameter mutu selama penyimpanan dan sorpsi-isotermi kerupuk goreng pasir. *AgriTECH*, 32(3), 265–274. <https://doi.org/10.22146/agritech.9615>
- Subagya, A. W., Tamrin, T., Sugianti, C., & Suhandy, D. (2018). Mempelajari karakteristik pengeringan kerupuk sayur. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 6(2), 172–180. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v6i2.79>
- Sugiyono, Mariana, E., & Yulianto, A. (2013). Pembuatan crackers jagung dan pendugaan umur simpannya dengan pendekatan kadar air kritis. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 24(2), 129–137. <https://doi.org/10.6066/jtip.2013.24.2.129>
- Sugiyono, S., Satyagraha, H., Joelijani, W., & Syamsir, E. (2012). Pendugaan umur simpan produk granula ubi kayu menggunakan model isoterm sorpsi air. *Pangan*, 21(3), 233–244. <https://www.jurnalpangan.com/index.php/pangan/article/view/167>
- Sunyoto, M., Djali, M., & Syafaah, M. (2017). Estimation of shelf life of fish crackers in various types of packaging with the acceleration method through the critical moisture approach. *Jurnal Penelitian Pangan*, 2(1), 55–63. <https://doi.org/10.24198/jp2.2017.vol2.1.08>
- Taewee, T. K. (2011). Cracker “Keropok”: A review on factors influencing expansion. *International Food Research Journal*, 18(3), 855–866.
- Wijaya, I. M. A. S., Suter, I. K., & Yusa, N. M. (2014). Karakteristik isotermis sorpsi air dan umur simpan ledok instan. *Agritech*, 34(1), 29–35. <https://doi.org/10.22146/agritech.9519>