

# Formulasi Serbuk Wedang Tahu dan Pendugaan Umur Simpan Menggunakan Metode Kadar Air Kritis

## Powdered Silken Tofu Dessert Formulation and Shelf-Life Estimation Using Critical Moisture Content Method

Aliya Husna<sup>1)</sup>, Nurheni Sri Palupi<sup>1,2)\*</sup>, Feri Kusnandar<sup>1,2)</sup>, Azis Boing Sitanggang<sup>1,2)</sup>

<sup>1)</sup>Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Bogor

<sup>2)</sup>South-East Asia Food & Agricultural Science and Technology (SEAFAST) Center, IPB University, Bogor

**Abstract.** Indonesia silken tofu dessert is a traditional dish made from silken tofu and ginger sauce. To enhance its shelf life, this study explored the development of silken tofu dessert into a powdered form. Traditionally, silken tofu is coagulated using calcium sulfate ( $\text{CaSO}_4$ ), but there has been little research on the optimal concentration of  $\text{CaSO}_4$  necessary for forming curd in powdered silken tofu comparable to the traditional version. This study aimed to identify the ideal concentration of  $\text{CaSO}_4$  as a coagulant to be added to powdered silken tofu and to estimate its shelf life using the critical moisture method. Sensory testing was conducted to select the appropriate concentration of  $\text{CaSO}_4$ , comparing different levels to a control method. The results revealed significant differences between the powdered silken tofu dessert and the traditional counterpart. Among the three  $\text{CaSO}_4$  concentrations tested (3, 5, and 7%), the dessert prepared with 3%  $\text{CaSO}_4$  exhibited the closest resemblance to the traditional silken tofu dessert. A single serving of this powdered silken tofu dessert provides 125 kcal of total energy, accounting for 12% of the recommended daily allowance (RDA) for protein, 3% for total fat, and 6% for carbohydrates. When packaged in metallized plastic and stored at a relative humidity of 78% and a temperature of 30 °C, the shelf life of the powdered silken tofu dessert is extended up to 12 months.

**Keywords:** calcium sulfate, critical moisture content, powdered silken tofu dessert, shelf life, silken tofu dessert

**Abstrak.** Wedang tahu merupakan pangan tradisional yang terdiri dari tahu sutra dan kuah jahe. Pengembangan wedang tahu menjadi produk bubuk dilakukan untuk meningkatkan umur simpan wedang tahu. Secara tradisional, tahu sutera pada wedang tahu dikoagulasi dengan kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ). Namun, belum adanya penelitian mengenai konsentrasi  $\text{CaSO}_4$  yang ditambahkan pada serbuk wedang tahu untuk membentuk curd tahu sutera yang sama seperti wedang tahu tradisional. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) sebagai koagulan dalam pembuatan serbuk wedang tahu, serta memprediksi umur simpan serbuk wedang tahu dengan metode kadar air kritis. Penentuan konsentrasi  $\text{CaSO}_4$  terpilih dilakukan dengan uji sensori dengan metode beda dari kontrol. Hasilnya menunjukkan bahwa serbuk wedang tahu berbeda signifikan terhadap wedang tahu tradisional. Dari tiga konsentrasi  $\text{CaSO}_4$  yang diujikan (3, 5, dan 7%), wedang tahu dengan penambahan  $\text{CaSO}_4$  3% memiliki skor beda dari kontrol (wedang tahu tradisional) paling kecil dibandingkan yang lainnya. Satu sajian serbuk wedang tahu mengandung energi total (125 kkal), protein (12% AKG), lemak total (3% AKG), dan karbohidrat (6% AKG). Umur simpan serbuk wedang tahu dengan kemasan metalized plastic, kelembapan relatif (RH) 78% dan suhu 30 °C memiliki umur simpan selama 12 bulan.

**Kata kunci:** kadar air kritis, kalsium sulfat, serbuk wedang tahu, tahu sutra, umur simpan

**Aplikasi Praktis:** Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah dari wedang tahu tradisional dengan menjadikannya sebagai produk serbuk yang memiliki umur simpan dan jangkauan penjualannya yang lebih besar. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan ide pengembangan produk serbuk wedang tahu bagi industri maupun UMKM.

### PENDAHULUAN

Wedang tahu merupakan makanan tradisional dengan bahan baku tahu sutra dan kuah jahe. Wedang tahu umumnya dijual dengan cara dipikul oleh pedagang keliling, hal ini menyebabkan saat ini wedang tahu sulit

ditemui khususnya di daerah Bogor. Wedang tahu memiliki lingkup penjualan yang kurang meluas dikarenakan kadar airnya yang tinggi (92,38%) (Palupi *et al.* 2019). Oleh karena itu, dengan menjadikannya sebagai produk serbuk diharapkan dapat meningkatkan umur simpannya. Serbuk wedang tahu terdiri dari tiga komponen yang

\*Korespondensi: hnpalupi@apps.ipb.ac.id

dikemas dalam kemasan berbeda, yaitu serbuk kedelai, koagulan, dan serbuk kuah jahe. Alasan dari pemisahan kemasan adalah masing-masing komponen akan diberikan perlakuan yang berbeda saat proses rehidrasi. Serbuk kedelai diperoleh dari sari kedelai yang dikeringkan dengan pengering semprot (*spray dryer*). Koagulan tahu yang umum digunakan adalah GDL,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgCl}_2$ , dan  $\text{MgSO}_4$  (Widjajaseputra *et al.* 2020). Pembuatan serbuk kuah jahe dilakukan dengan teknik kristalisasi, yaitu memanfaatkan sifat gula pasir yang dapat membentuk kristal kembali setelah dicairkan bersama ekstrak jahe. Proses kristalisasi dilakukan dengan cara pemasakan sari jahe dengan gula hingga mendidih, disertai pengadukan secara cepat hingga terbentuknya kristal (Rifkowitz dan Martanto 2016).

Penelitian tentang wedang tahu telah dilaporkan oleh peneliti sebelumnya, diantaranya optimasi penggunaan kalsium sulfat dan karaginan pada pembuatan tahu lembut (Widyanto *et al.* 2018; Palupi *et al.* 2020), optimasi formula, dan proses rehidrasi tahu lembut dalam pengembangan produk wedang tahu instan (Palupi *et al.* 2019) dan optimasi kuah jahe dalam pengembangan wedang tahu sebagai pangan fungsional (Palupi *et al.* 2016; Widyanto *et al.* 2018). Karakterisasi fungsional wedang tahu juga telah dilaporkan, yaitu kapasitasnya sebagai antioksidan (Palupi dan Widyanto 2020). Namun, dalam pengembangan serbuk wedang tahu, penggunaan  $\text{CaSO}_4$  sebagai koagulan masih perlu diteliti lebih lanjut, dikarenakan penelitian sebelumnya menggunakan hidrokolloid sebagai koagulan (Palupi *et al.* 2019), sedangkan secara tradisional wedang tahu hanya menggunakan koagulan garam atau asam. Wedang tahu dengan koagulan hidrokolloid (karaginan) memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan wedang tahu dengan koagulan  $\text{CaSO}_4$  (Widyanto 2018; Palupi *et al.* 2019).

Pada pengembangan produk serbuk, kerusakan yang utama terjadi adalah penggumpalan. Kejadian ini menyebabkan penurunan mutu sensori dan perubahan kelarutan (Kusnandar *et al.* 2016). Masa kedaluwarsa perlu diketahui sebagai penanda adanya perubahan penampakan, cita rasa, maupun kandungan gizi produk (Swadana dan Yuwono 2014). Tingginya kadar air dan protein tahu seringkali menjadi penyebab kerusakan pada tahu. Pengolahan wedang tahu menjadi bentuk serbuk dapat menurunkan kadar air secara drastis, yaitu dari 92,38 menjadi 5,34% bk (Palupi *et al.* 2019; Palupi *et al.* 2020). Berkurangnya kadar air akan mengakibatkan aktivitas mikroorganisme yang menyebabkan kerusakan menjadi terhambat (Agustiana *et al.* 2021). Dalam pengembangan serbuk wedang tahu diharapkan dihasilkan kualitas sensori yang menyerupai produk tradisionalnya, oleh sebab itu tujuan dari penelitian ini adalah menentukan konsentrasi koagulan  $\text{CaSO}_4$  yang memberikan kualitas sensori menyerupai wedang tahu tradisional yang dianalisis menggunakan uji sensori metode beda dari kontrol. Selain itu, produk serbuk wedang tahu akan diduga umur simpannya dengan pendekatan kadar air kritis untuk memperkirakan ketahanannya ketika dikomersialisasikan.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain kacang kedelai non-GMO dari perusahaan Lingkar Organik,  $\text{CaSO}_4$  dari PT Karya Muda Indochem, jahe emprit dan jahe merah dari Jahe Merah Nusantara, gula pasir, dan gula merah komersial. Wedang tahu tradisional diperoleh dari pedagang keliling di daerah Tangerang Selatan, serta bahan-bahan kimia yang digunakan pada analisis proksimat (seluruhnya *analytical grade*). Bahan kimia untuk membuat kurva isotherm sorpsi air (ISA) dalam pendugaan umur simpan adalah larutan garam jenuh NaOH ( $a_w = 0,0758$ ), K-asetat ( $a_w = 0,2161$ ), NaBr ( $a_w = 0,5603$ ), NaCl ( $a_w = 0,7509$ ), KBr ( $a_w = 0,8027$ ), dan KCl ( $a_w = 0,8362$ ) (*analytical grade*, Merck).

### Pelaksanaan penelitian

Penelitian ini terbagi menjadi tiga tahapan. Tahap pertama adalah penentuan konsentrasi  $\text{CaSO}_4$  dalam pembuatan serbuk wedang tahu. Tahapan ini terdiri dari proses pembuatan serbuk kedelai, pembuatan serbuk kuah jahe, proses rehidrasi serbuk wedang tahu, dan uji sensori. Penentuan konsentrasi  $\text{CaSO}_4$  pada serbuk wedang tahu. Tahap kedua adalah analisis komposisi kimia untuk produk terpilih dari tahap pertama yang digunakan untuk penyusunan informasi nilai gizi (ING). Tahap terakhir adalah pendugaan umur simpan serbuk wedang tahu dengan pendekatan kadar air kritis.

### Pembuatan serbuk kedelai

Pembuatan serbuk kedelai mengikuti proses pembuatan serbuk tahu sutra (Palupi *et al.* 2019). Pembuatan serbuk kedelai diawali dengan pencucian kacang kedelai dilanjutkan dengan perendaman di dalam wadah yang berisikan air (perbandingan kedelai:air sebesar 1:3, (b/v)) pada suhu ruang (30 °C) selama 9 jam. Setelah kacang kedelai mengembang, kulit ari kedelai dipisahkan dan digiling menggunakan *blender* dengan penambahan air sebanyak tiga kali dari bobot kedelai. *Slurry* yang diperoleh kemudian disaring dan dipisahkan dari ampasnya. Sari kedelai kemudian dimasak pada suhu 90 °C selama 5 menit. Suhu sari kedelai diturunkan hingga 50 °C dan dikeringkan menggunakan *spray dryer* pada suhu inlet 185 °C dan suhu outlet 82 °C hingga terbentuk serbuk sari kedelai.

### Pembuatan serbuk kuah jahe

Pembuatan serbuk kuah jahe didasarkan pada pembuatan serbuk jahe instan yang dilakukan oleh Rifkowitz dan Martanto (2016). Jenis jahe yang digunakan adalah jahe merah dan jahe emprit. Jahe merah digunakan sebanyak 50% dan jahe emprit sebesar 50%. Kedua jahe dilakukan pencucian, pamarutan, dan penyaringan. Hasil filtrat yang diperoleh ditambahkan gula pasir (1:1 (b/v)) dan gula merah 10% (b/v). Semua campuran bahan dimasak hingga mendidih dengan pengadukan konstan, pengadukan dilakukan dari kecepatan lambat hingga cepat sampai terbentuknya serbuk jahe kasar. Serbuk jahe kasar

diayak menggunakan ayakan 40 mesh untuk menghasilkan serbuk jahe yang seragam.

### Proses rehidrasi serbuk wedang tahu

Dalam penyajiannya, serbuk wedang tahu perlu dilakukan rehidrasi terlebih dahulu. Rehidrasi dilakukan untuk mengubah serbuk wedang tahu yang semula dalam bentuk bubuk menjadi *curd tahu* dan kuah jahe seperti pada bentuk wedang tahu tradisional. Teknik rehidrasi yang digunakan merupakan kombinasi dari cara rehidrasi puding wedang tahu komersial dan cara pembuatan wedang tahu tradisional. Sari kedelai dibuat dengan mencampurkan serbuk kedelai dan air pada perbandingan serbuk kedelai:air sebesar 1:10 (b/v) dan campuran kedua bahan tersebut dimasak pada suhu 90 °C. Suhu sari kedelai diturunkan hingga 60 °C, lalu dituangkan pada mangkuk berisi CaSO<sub>4</sub> yang sebelumnya telah dilarutkan dalam 20 mL air (3, 5, dan 7%) terhadap volume sari kedelai, dan didiamkan selama 30 menit hingga tahu sutera memadat. Serbuk jahe bubuk ditambahkan air dengan rasio volume air:serbuk jahe sebesar 1:10 (b/b) dengan suhu air 70–90 °C. Wedang tahu disajikan dengan menuangkan kuah jahe sampai memenuhi permukaan tahu sutra.

### Uji sensori (beda dari kontrol)

Uji beda dari kontrol dilakukan untuk melihat ada atau tidaknya perbedaan antara sampel dengan kontrol serta mengukur tingkat perbedaannya (Meilgaard *et al.* 2007). Sampel yang digunakan adalah serbuk wedang tahu setelah direhidrasi. Dalam penyajiannya, panelis diberikan empat sampel serbuk wedang tahu setelah direhidrasi dengan penambahan CaSO<sub>4</sub> (3, 5, 7%) dan satu *blind control* (wedang tahu tradisional). *Blind control* merupakan kontrol yang dijadikan sebagai salah satu sampel uji pada sampel pengujian. Keempat sampel harus dibandingkan dengan kontrol yang ada dengan skala kategori 0 sampai 6. Skor 0 menunjukkan tidak adanya perbedaan antara sampel dan kontrol, sedangkan skor 6 menunjukkan respon sangat berbeda. Uji sensori menggunakan 30 panelis tidak terlatih yang berasal dari civitas IPB.

### Karakterisasi kimia dan nilai gizi serbuk wedang tahu dengan konsentrasi CaSO<sub>4</sub> terpilih

Karakterisasi kimia serbuk wedang tahu dilakukan dengan analisis kadar air metode oven, kadar abu metode pengabuan kering, kadar lemak metode Soxhlet, kadar protein metode Kjeldahl, dan kadar karbohidrat metode *by difference* (AOAC 2012). Hasil uji proksimat dijadikan referensi dalam penyusunan tabel informasi nilai gizi (ING) dengan mengacu pada Peraturan BPOM Nomor 26 Tahun 2021 tentang Informasi Nilai Gizi pada Label Pangan Olahan.

### Pengujian umur simpan

Serbuk wedang tahu terdiri dari serbuk kedelai, koagulan, dan serbuk kuah jahe. Namun, pengujian umur simpan hanya dilakukan pada serbuk kedelai dan serbuk

kuah jahe saja. Hal ini disebabkan koagulan yang digunakan merupakan produk komersial yang telah diketahui umur simpannya. Pengujian umur simpan dilakukan pada masing-masing serbuk kedelai dan serbuk kuah jahe dan umur simpannya ditentukan dari umur simpan terpendek antara kedua komponen tersebut.

### Pengujian umur simpan serbuk kedelai

Umur simpan serbuk kedelai dilakukan dengan menentukan kadar air awal (AOAC 2012), total solid per kemasan (Labuza 1982), kadar air kritis, pembuatan kurva ISA dan penentuan *slope* kurva ISA, penentuan permeabilitas uap air kemasan ( $k/x$ ) dan tekanan uap air jenuh ( $P_o$ ), penentuan luas kemasan, serta perhitungan umur simpan (Labuza 1982).

### Total solid per kemasan

Perhitungan total solid per kemasan dilakukan berdasarkan Labuza (1982). Berat produk ( $W$ ) mengacu pada produk puding wedang tahu, yang serbuk kedelainya sebesar 53,35 g dan serbuk jahe sebesar 65 g. Total solid per kemasan ( $W_s$ ) dihitung berdasarkan Persamaan (1) dan (2).

$$W_s = W \times \frac{\% \text{solid}}{100} \dots \dots \dots (1)$$

$$\% \text{Solid} = \left[ 1 - \frac{M_o}{1+M_o} \right] \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:  $W_s$ = berat solid per kemasan;  $M_o$ = kadar air awal (g H<sub>2</sub>O/g solid (bk));  $W_o$ = berat produk awal (g)

### Penetapan kadar air kritis serbuk kedelai

Penetapan kadar air kritis serbuk kedelai dilakukan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Kurniawan *et al.* (2011). Kadar air kritis ditentukan berdasarkan kondisi ketika serbuk wedang tahu mulai ditolak oleh panelis secara sensori (Labuza 1982). Uji sensori menggunakan delapan orang panelis terlatih dengan metode uji perbedaan terhadap kontrol. Kadar air kritis ditentukan dengan menyimpan sampel pada kondisi kelembapan tinggi, yaitu pada wadah tertutup yang diisi air (RH air 100%,  $a_w=1$ ). Pada serbuk kedelai, sampel didiamkan pada wadah berisi air selama 60, 90, 120, 150, dan 180 menit. Sampel yang disimpan pada beberapa waktu tersebut digunakan pada pengujian sensori.

Uji sensori dilakukan dengan metode uji perbedaan terhadap kontrol. Sebanyak delapan panelis terlatih memberi penilaian tingkat perbedaan sampel dengan kontrol (sampel yang tidak disimpan pada kondisi kelembapan tinggi) dalam skala kategori 1–7. Skala 1 menunjukkan tidak adanya perbedaan, sedangkan skala 7 menunjukkan respon sangat berbeda. Kriteria penolakan ditetapkan pada skor 3. Waktu penyimpanan yang menyebabkan produk tidak dapat diterima dilakukan

analisis kadar airnya dan ditetapkan sebagai kadar air kritis (Alfiyani *et al.* 2019).

**Kurva isoterm sorpsi air (ISA) serbuk kedelai**

Pembuatan kurva isoterm sorpsi air (ISA) dilakukan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Ropiudin dan Syska (2023). Sebanyak 5 g serbuk wedang tahu di dalam cawan aluminium diletakkan pada 6 desikator yang masing-masing berisi larutan garam jenuh yang berbeda pada rentang RH 7,58–83,62% (Tabel 1). Sampel disimpan pada suhu ruang (30 °C) hingga diperoleh bobot konstan (kisaran waktunya 5–7 hari, tergantung dari jenis garam yang digunakan). Kriteria bobot konstan atau setimbang menurut Aini *et al.* (2014) adalah selisih bobot selama tiga kali penimbangan <2 mg/g untuk sampel RH <90% dan <10 mg/g untuk sampel RH >90%. Sampel diukur kadar airnya setelah mencapai kondisi kesetimbangan dan dinyatakan sebagai kadar air kesetimbangan (dinyatakan dalam basis kering).

Kurva isoterm sorpsi air (ISA) diperoleh dengan memplotkan nilai *a<sub>w</sub>* atau kelembapan relatif dan kadar air kesetimbangan masing-masing desikator. Penentuan model persamaan ISA dilakukan untuk mendapatkan kurva dengan kemulusan terbaik. Penelitian ini menggunakan enam model persamaan, yaitu model Caurie, Chen Clayton, Hasley, Henderson, Oswin, dan GAB (Ayu *et al.* 2023), persamaan keenam model ini dapat dilihat pada Tabel 2. Keenam model persamaan sorpsi isotermis dibandingkan dengan sorpsi isotermis hasil percobaan. Uji ketepatan pemodelan dievaluasi dengan menggunakan nilai *mean relative determination* (MRD) (Persamaan (3)).

$$MRD = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{M_i - M_{pi}}{M_i} \right| \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan: *M<sub>i</sub>*= kadar air kesetimbangan percobaan; *M<sub>pi</sub>*= kadar air kesetimbangan pemodelan; *n*= jumlah data

Nilai MRD <5 menunjukkan model sorpsi isotermis sangat tepat dalam menggambarkan kurva ISA produk pangan, nilai 5<MRD<10 maka model tersebut agak tepat, dan nilai MRD>10 maka model tersebut tidak tepat

dalam menggambarkan kurva sorpsi isotermis produk pangan. Nilai *slope* ditentukan dari kurva ISA pemodelan yang terpilih (Labuza 1982).

**Tabel 1.** Nilai aktivitas air larutan garam jenuh pada suhu 30 °C (Bell dan Labuza 2000)

Jenis Garam	Aktivitas Air ( <i>a<sub>w</sub></i> )
NaOH	0,0758
K-asetat	0,2161
NaBr	0,5603
NaCl	0,7509
KBr	0,8027
KCl	0,8362

**Parameter pendukung**

Permeabilitas uap air kemasan dan tekanan uap air jenuh diperoleh dari literatur. Kemasan yang digunakan adalah *polypropylene* (PP) dengan ketebalan 0,08 mm dan *metalized-plastic* dengan ketebalan 0,05 mm, masing-masing nilai permeabilitas uap air sebesar 0,0124 g/m<sup>2</sup>.hari.mmHg dan 0,0065 g/m<sup>2</sup>.hari.mmHg (Sunyoto *et al.* 2017). Tekanan uap jenuh (*P<sub>o</sub>*) diperoleh dari tabel tekanan uap air jenuh (Bell dan Labuza 2000). Luas kemasan (*A*) ditentukan dari luas area kedua sisi kemasan. Luas kemasan serbuk kedelai adalah 0,384 m<sup>2</sup>, sedangkan luas kemasan serbuk jahe adalah 0,024 m<sup>2</sup>.

**Perhitungan umur simpan serbuk kedelai**

Perhitungan umur simpan serbuk kedelai berdasarkan model persamaan Labuza (Labuza 1982) pada kondisi penyimpanan RH 78 dan 82% dengan suhu 30 °C. Model Labuza yang digunakan adalah sebagai berikut (Persamaan (4)).

$$t = \frac{\ln \left[ \frac{M_e - M_i}{M_e - M_c} \right]}{\left( \frac{k}{x} \right) \left( \frac{A}{W_s} \right) \left( \frac{P_o}{b} \right)} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan: *t*= umur simpan (hari); *M<sub>e</sub>*= kadar air kesetimbangan (g H<sub>2</sub>O/g padatan); *M<sub>o</sub>*= kadar air awal (g H<sub>2</sub>O/g padatan); *M<sub>c</sub>*= kadar air kritis (g H<sub>2</sub>O/g padatan); *k/x*= permeabilitas uap air kemasan (g/m<sup>2</sup> hari.mmHg); *A*= luas permukaan kemasan (m<sup>2</sup>); *W<sub>s</sub>*= total padatan per kemasan (g); *P<sub>o</sub>*= tekanan uap jenuh (mmHg); *b*= kemiringan kurva ISA

**Tabel 2.** Persamaan model kurva isoterm sorpsi air

Model	Persamaan Non-Linear	Persamaan Linier
Hasley	$a_w = \exp \left[ \frac{-P1}{M_e^{P2}} \right]$	$\log [\ln(1/a_w)] = \log P1 - P2 \log M_e$
Henderson	$1 - a_w = \exp[-KM_e^n]$	$\log [\ln(1/1 - a_w)] = \log k + n \cdot \log M_e$
Caurie	$\ln M_e = \ln P1 - (P2 \cdot a_w)$	$\ln M_e = \ln P1 + P2 a_w$
Oswin	$M_e = P1 \left[ \frac{a_w}{1 - a_w} \right]^{P2}$	$\ln M_e = \ln P1 + P2 \ln [a_w / (1 - a_w)]$
Chen Clayton	$a_w = \exp \left[ \frac{-P1}{\exp(P2 \cdot M_e)} \right]$	$\ln[\ln(1/a_w)] = \ln P1 - P2 M_e$
GAB	$a_w/M_e = \alpha \cdot a_w^2 + \beta \cdot a_w + \gamma$	-

Keterangan: *M<sub>e</sub>*= kadar air kesetimbangan, *a<sub>w</sub>* = aktivitas air, *K* dan *n*= konstanta, *P1* dan *P2*= konstanta

### Pengujian umur simpan serbuk kuah jahe

Serbuk kuah jahe tidak dapat dibuat kurva isoterm sorpsi air (ISA) disebabkan sifatnya yang higroskopis, sehingga penentuan umur simpannya menggunakan model pendekatan kadar air kritis termodifikasi (Kusnandar *et al.* 2016). Pada sampel yang memiliki kadar gula dan garam tinggi sulit mencapai kondisi kesetimbangan dikarenakan akan mencair pada  $a_w$  diatas 0,65 (Fan dan Roos 2016). Model kadar air kritis termodifikasi ini menggantikan variabel kadar air kesetimbangan ( $M_e$ ) dan *slope* ( $b$ ) dalam perhitungan umur simpan dengan perbedaan tekanan di dalam serta di luar kemasan ( $\Delta P$ ) untuk mengetahui pola penyerapan uap air dari lingkungan ke dalam produk pangan. Hal ini berdasarkan prinsip terjadinya perpindahan uap air dari lingkungan ke dalam produk yang diakibatkan adanya perbedaan tekanan udara antara luar dan dalam kemasan. Perhitungan umur simpan model kadar air kritis termodifikasi menggunakan Persamaan (5) (Labuza 1982).

$$t = \frac{(M_c - M_o)W_s}{\left(\frac{k}{x}\right) \times A \times \Delta P} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan:  $\Delta P$ = selisih antara tekanan udara di luar dan di dalam kemasan produk;  $M_o$ = kadar air awal (g H<sub>2</sub>O/g padatan);  $M_c$ = kadar air kritis (g H<sub>2</sub>O/g padatan);  $k/x$ = per-meabilitas uap air kemasan (g/m<sup>2</sup> hari.mmHg);  $A$  = luas permukaan kemasan (m<sup>2</sup>);  $W_s$ = total padatan per kemasan (g)

### Penentuan nilai $\Delta P$

Nilai  $\Delta P$  selisih antara tekanan udara lingkungan ( $P_{out}$ ) dengan tekanan udara di dalam kemasan ( $P_{in}$ ).  $P_{out}$  dan  $P_{in}$  diperoleh dengan Persamaan (6) dan (7).

$$P_{out} = P_o \times RH \dots \dots \dots (6)$$

$$P_{in} = P_o \times a_w \dots \dots \dots (7)$$

### Penetapan kadar air kritis serbuk jahe

Kadar air kritis serbuk jahe dianalisis dengan tahapan yang sama dengan kadar air kritis serbuk kedelai. Namun pada serbuk jahe sampel didiamkan dalam desikator selama 30, 60, 90, dan 120 menit. Penentuan komponen komponen lain seperti kadar air awal, bobot sampel ( $W_s$ ), luas kemasan ( $A$ ), dan permeabilitas uap air kemasan ( $k/x$ ) menggunakan metode yang sama seperti dengan serbuk kedelai.

### Analisis data

Rancangan penelitian terdiri dari satu faktor yaitu konsentrasi CaSO<sub>4</sub> dengan tiga taraf yaitu konsentrasi CaSO<sub>4</sub> 3, 5, dan 7% dengan satu ulangan. Pengolahan data hasil uji sensori beda dari kontrol dianalisis menggunakan *software* SPSS 25 (IBM, USA) melalui *analysis of variance* (ANOVA) dan uji lanjut Dunnett's *Multiple Comparison Test* (Meilgaard *et al.* 2007). Sementara data hasil pendugaan umur simpan diolah menggunakan

Microsoft Excel 2016 dengan perhitungan Labuza (1982).

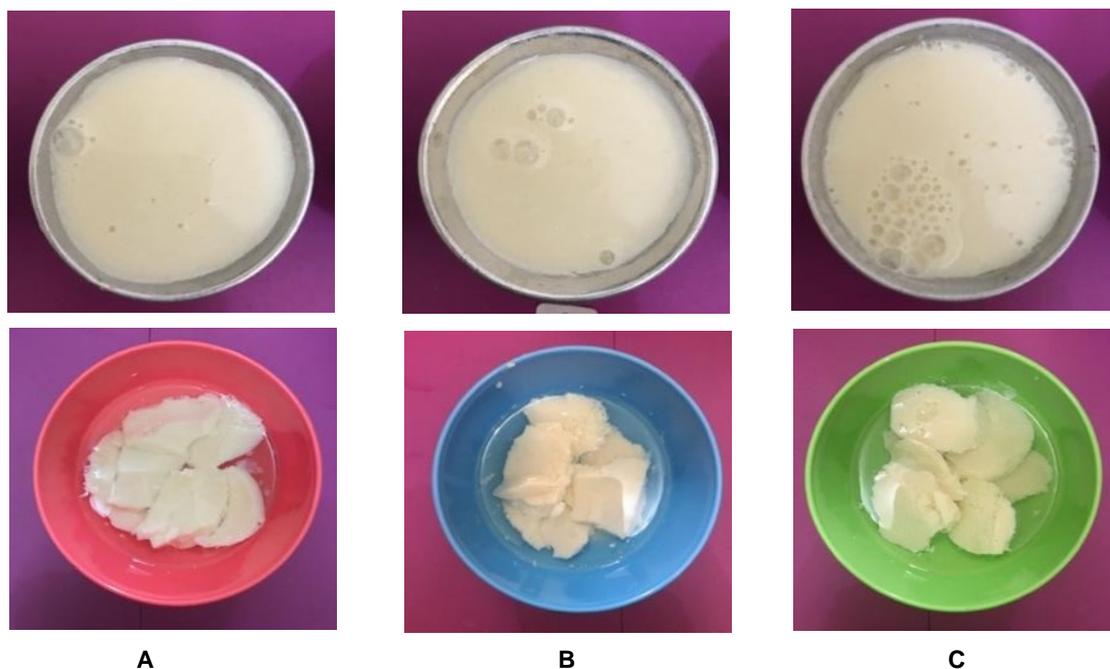
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh penambahan CaSO<sub>4</sub> terhadap serbuk wedang tahu

Kalsium sulfat (CaSO<sub>4</sub>) ditambahkan dalam proses pembuatan wedang tahu sebagai bahan penggumpal (koagulan). Berdasarkan pengamatan secara visual, penggunaan CaSO<sub>4</sub> kurang dari 3% belum dapat mengkoagulasikan tahu sutra dengan sempurna. Tahu sutra masih mudah sekali hancur saat disendok. Pada penambahan CaSO<sub>4</sub> dengan konsentrasi yang lebih tinggi, tahu sutra akan lebih padat dan kokoh, namun pada konsentrasi lebih dari 7% menyebabkan terjadinya sineresis dari tahu sutra. Pada konsentrasi yang terlalu rendah, CaSO<sub>4</sub> tidak mampu membentuk *curd* tahu yang kompak, sedangkan akan terjadi sineresis apabila konsentrasi yang diberikan terlalu tinggi (Kim dan Cheong 2016). Berdasarkan pengamatan secara visual dan pertimbangan dari hasil literatur, dipilih konsentrasi CaSO<sub>4</sub> yang mampu membentuk tahu sutra yang kokoh, namun tidak mengakibatkan sineresis yang berlebihan pada tahu sutra, yaitu pada konsentrasi 3, 5, dan 7%. Tahu sutra yang dibuat dengan konsentrasi CaSO<sub>4</sub> yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Pemilihan konsentrasi CaSO<sub>4</sub> dilakukan melalui uji sensori beda dari kontrol. Metode ini membandingkan sampel serbuk wedang tahu dengan kontrol yaitu wedang tahu tradisional. Hasil yang dianalisis adalah tingkat kemiripan serbuk wedang tahu setelah direhidrasi dengan wedang tahu tradisional. Tabel 3 menunjukkan menunjukkan perbedaan yang signifikan antara formula wedang tahu dengan pemberian CaSO<sub>4</sub> 3, 5, dan 7% dengan kontrol. Hasil dari uji sensori menunjukkan serbuk wedang tahu yang telah direhidrasi cukup berbeda dengan wedang tahu tradisional, hal ini disebabkan belum optimalnya kondisi rehidrasi dari serbuk wedang tahu dan dibutuhkan penelitian berikutnya dengan memperhatikan aspek lain seperti kelarutan, suhu koagulasi, dan jumlah air yang ditambahkan. Namun, dari ketiga konsentrasi CaSO<sub>4</sub> yang diujikan, konsentrasi CaSO<sub>4</sub> 3% mendapatkan tingkat perbedaan yang paling kecil walaupun masih termasuk kategori perbedaan cukup besar, sehingga konsentrasi CaSO<sub>4</sub> ini yang digunakan untuk tahap penelitian yang selanjutnya.

Dalam pembuatan tahu terjadi interaksi yang kompleks antara koagulan dengan molekul lemak dan protein yang terperangkap dalam jaringan gelnya. Terdapat beberapa hal yang berpengaruh terhadap *curd* tahu yang terbentuk, diantaranya adalah genotipe kedelai, waktu pemanenan kedelai, kondisi koagulasi tahu, dan kandungan protein 7S dan 11S pada kedelai. Kekerasan tahu tergantung pada jumlah protein 11S yang lebih tinggi daripada 7S (Syah *et al.* 2014). Komposisi 7S dan 11S ini ditentukan dari genotipe kedelai dan proses pengolahan, seperti pada proses pemanasan.



Gambar 1. Konsentrasi CaSO<sub>4</sub> 3% (A), 5% (B), dan 7% (C)

Tabel 3. Skor sensori wedang tahu dengan penambahan CaSO<sub>4</sub> 3, 5, dan 7% dibandingkan dengan kontrol wedang tahu tradisional

Konsentrasi CaSO <sub>4</sub> (%)	Rataan Beda dari Kontrol
Kontrol	0,73±0,94 <sup>a</sup>
3	4,83±1,05 <sup>b</sup>
5	5,33±1,06 <sup>c</sup>
7	5,67±0,66 <sup>c</sup>

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada parameter yang sama berarti tidak berbeda nyata hasil uji DMRT ( $\alpha > 0,05$ ), 0= tidak berbeda/sama; 1= sedikit berbeda; 2= agak berbeda; 3= moderat; 4= cukup besar; 5= besar; 6= sangat besar

Proses pemanasan dengan suhu tinggi dapat mengubah struktur dari protein (Zhang *et al.* 2022). Serbuk wedang tahu dibuat dengan proses *spray drying* menggunakan suhu tinggi, hal ini dapat menjadi penyebab serbuk wedang tahu yang telah direhidrasi memiliki perbedaan yang cukup signifikan dari wedang tahu tradisional yang tidak melalui proses pemanasan dengan suhu yang tinggi.

**Karakter kimia dan informasi nilai gizi serbuk wedang tahu**

Komposisi serbuk tahu sutra dan serbuk kuah jahe disesuaikan dengan perbandingan dan takaran saji produk puding wedang tahu komersial, yaitu 46% serbuk tahu sutra dan 54% serbuk kuah jahe. Karakterisasi kimia meliputi analisis proksimat serbuk wedang tahu dengan konsentrasi CaSO<sub>4</sub> terpilih (3%) yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4. Kandungan air serbuk wedang tahu konsentrasi CaSO<sub>4</sub> terpilih (3%) adalah sebesar 1,21% bb. Kadar air tersebut lebih rendah dari puding serbuk wedang tahu (Palupi *et al.* 2019) dan memenuhi syarat mutu SNI (BSN 2011), yaitu maksimal 10%. Kadar abu serbuk wedang tahu 4,39% bk, sedikit lebih kecil dari literatur dan memenuhi batas maksimal syarat mutu SNI (BSN 2011), yaitu 6%. Kadar protein dan kadar lemak

serbuk wedang tahu konsentrasi CaSO<sub>4</sub> terpilih sebesar 23,60 dan 7,64% bk, kedua nilai tersebut lebih rendah dari puding wedang tahu instan (Palupi *et al.* 2019). Hal ini disebabkan oleh perbedaan dari komposisi formula dari tahu sutra maupun kuah jahe. Kandungan karbohidrat ditentukan dengan metode *by difference*, yaitu 64,37% bk. Tingginya karbohidrat pada serbuk wedang tahu diakibatkan dari kandungan sukrosa yang tinggi pada serbuk kuah jahe.

Tabel 4. Komposisi kimia serbuk wedang tahu dibandingkan dengan puding wedang tahu instan penelitian sebelumnya (Palupi *et al.* 2019)

Parameter	Serbuk Wedang Tahu	Puding Wedang Tahu*
Kadar air (%bb)	1,21±0,07	4,54±0,21
Kadar abu (%bk)	4,39±0,43	5,34±0,07
Kadar protein (%bk)	23,60±0,25	31,05±0,16
Kadar lemak (%bk)	7,64±0,40	16,80±0,19
Kadar karbohidrat (%bk)	64,37±0,21	46,99±0,16

Keterangan: \*= Palupi *et al.* (2019)

Data analisis proksimat digunakan dalam pembuatan ING. Informasi nilai gizi pada label pangan mencakup takaran saji, zat gizi yang terkandung, total energi dan persentase angka kecukupan gizi. Perhitungan nilai gizi serbuk wedang tahu dibandingkan dengan puding wedang tahu komersial. Konsumsi serbuk wedang tahu dengan takaran saji 30 g menghasilkan energi total sebesar 125 kkal, sedangkan puding wedang tahu komersial menghasilkan energi total 130 kkal. Informasi nilai gizi serbuk wedang tahu dan puding wedang tahu komersial dapat dilihat pada Tabel 5. Perhitungan informasi nilai gizi pada Tabel 5 menjadi acuan untuk menyusun tabel ING pada label kemasan serbuk wedang tahu. Format pelabelan informasi nilai gizi serbuk wedang tahu konsentrasi CaSO<sub>4</sub> terpilih dan puding wedang tahu komersial dapat dilihat pada Gambar 2.

**Tabel 5.** Informasi nilai gizi (ING) serbuk wedang tahu dan puding wedang tahu komersial

Sampel		Protein	Lemak	Karbohidrat
Serbuk wedang tahu	%bk (g/30 g)	7	2	19
Puding wedang tahu komersial		2	3,5	23
Serbuk wedang tahu	AKG (%)	12	3	6
Puding wedang tahu komersial		3	5	7

### Umur simpan serbuk wedang tahu

Kadar air awal ( $M_0$ ) merupakan parameter awal yang perlu diukur dalam pendugaan umur simpan metode kadar air kritis. Kadar air suatu bahan pangan memengaruhi daya simpan produk pangan tersebut. Semakin tinggi kadar airnya, semakin tinggi pula resiko bahan pangan tersebut mengalami kerusakan baik secara kimia, fisik, dan mikrobiologi. Serbuk kedelai yang dikeringkan dengan *spray dryer* memiliki kadar air sebesar 4,0% bk. Nilai kadar air produk sesuai dengan standar serbuk minuman kedelai (BSN 2011), yaitu maksimal 10%.

Kadar air serbuk kedelai mendekati nilai kadar air yang dikeringkan dengan teknik *foam mat drying* pada suhu 60 °C yaitu sebesar 4,47% (Purbasari 2019), namun lebih rendah jika dibandingkan dengan serbuk kedelai yang dikeringkan menggunakan *freeze dryer* dan *vacuum dryer*, yaitu sebesar 11,72 dan 12,54% (Erfandi *et al.* 2018). Kadar air awal serbuk jahe sebesar 0,81% bk. Nilai tersebut memenuhi standar serbuk minuman tradisional (BSN 1966), yaitu maksimal 3%. Kadar air awal serbuk kuah jahe lebih besar jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, yaitu sebesar 0,48% (Firdausni *et al.* 2017). Kadar air kritis ( $M_c$ ) merupakan kadar air ketika produk sudah tidak diterima oleh konsumen secara sensori (Faridah *et al.* 2013). Hasil uji sensori menunjukkan produk mencapai kondisi kritis setelah penyimpanan selama 120 menit pada kondisi RH 100%. Kadar air kritis serbuk kedelai sebesar 7,31% bk sedangkan serbuk kuah jahe sebesar 2,55% bk.

Kadar air kesetimbangan ( $M_e$ ) adalah kadar air bahan pangan ketika tekanan uap air bahan dalam kondisi setimbang dengan lingkungannya, ditandai ketika tidak ada lagi penambahan dan pengurangan bobot pada bahan pangan (bobot konstan) (Alfiyani *et al.* 2019). Selama penyimpanan produk terjadi migrasi uap air dari lingkungan ke dalam produk atau sebaliknya yang berdampak pada peningkatan dan penurunan bobot sampai kondisi kesetimbangan. Hal ini menunjukkan adanya proses desorpsi dan adsorpsi. Proses desorpsi terjadi jika  $a_w$  bahan lebih tinggi dibandingkan RH penyimpanan, sedangkan adsorpsi terjadi jika  $a_w$  bahan lebih rendah dibandingkan RH penyimpanan. Proses ini terjadi sampai bahan mencapai kesetimbangan dengan jangka waktu yang berbeda-beda tergantung dari RH penyimpanannya.

INFORMASI NILAI GIZI		
Takaran saji	: 30 g	
4 sajian per kemasan		
JUMLAH PER SAJIAN		
Energi total	125 kkal	%AKG*
Lemak Total	2 g	3 %
Protein	7 g	12 %
Karbohidrat	19 g	6 %

\*Persen AKG berdasarkan kebutuhan energi 2150 kkal. Kebutuhan energi anda mungkin lebih tinggi atau lebih rendah

A

INFORMASI NILAI GIZI NUTRITION FACT		
Takaran Saji	30 g	
4 Sajian per Kemasan / Serving Size per Container		
JUMLAH PER SAJIAN / AMOUNT PER SERVING		
Energi Total / Total Calories	130 kkal	
Energi dari Lemak / Calories from Fat	35 kkal	
Energi dari Lemak Jenuh / Calories from Saturated Fat	20 kkal	
	%AKG / %DV*	
Lemak Total / Total Fat	3,5 g	5 %
Lemak Jenuh / Saturated Fat	2,5 g	12 %
Protein	2 g	3 %
Karbohidrat Total / Total Carbohydrate	23 g	7 %
Gula / Sugar	18 g	
Garam (Natrium) / Sodium	100 mg	7 %

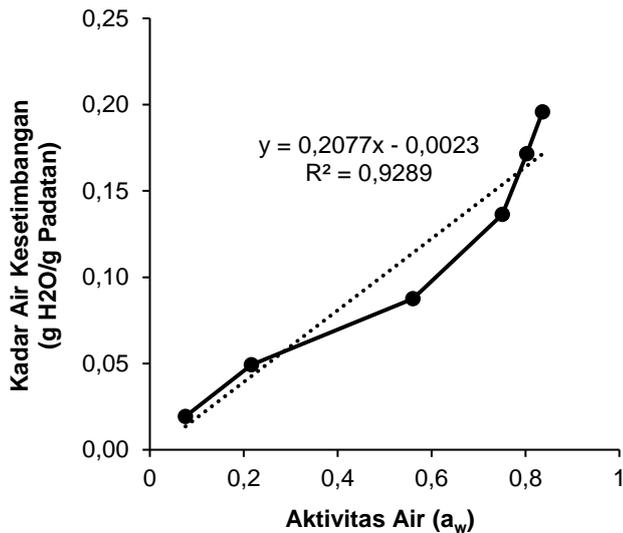
\* Persen AKG berdasarkan kebutuhan energi 2150 kkal. Kebutuhan energi Anda mungkin lebih tinggi atau lebih rendah.  
\* Percent Daily Values are based on 2150 kcal diet. Your daily values may be higher or lower depending on your calorie needs.

B

**Gambar 2.** Konsep label informasi nilai gizi kemasan serbuk wedang tahu (A) dan puding wedang tahu komersial (B)

Kadar air kesetimbangan serbuk kedelai tercapai setelah disimpan selama 5–7 hari. Semakin tinggi RH penyimpanan akan semakin lama tercapai kondisi kesetimbangan. Nilai kadar air kesetimbangan yang diperoleh diplotkan dengan nilai  $a_w$  atau RH lingkungan sehingga diperoleh kurva isoterm sorpsi air (ISA) yang dapat dilihat pada Gambar 3. Kurva ISA yang diperoleh membentuk huruf S (sigmoid). Aini *et al.* (2014) menyatakan bahwa produk makanan kering umumnya memiliki kurva isoterm sorpsi air yang berbentuk sigmoid. Untuk memperoleh kemulusan kurva yang lebih tinggi, data kadar air

kesetimbangan pada tiap kondisi RH penyimpanan dimasukkan dalam beberapa model sorpsi isoteremis. Pemodelan sorpsi isoteremis yang digunakan adalah persamaan yaitu Hasley, Henderson, Caurie, Oswin, Chen Clayton, dan GAB. Berdasarkan Gambar 4 kurva ISA pemodelan Oswin dan GAB hampir berhimpit pada kurva ISA hasil percobaan. Semakin berhimpit kurva ISA percobaan dengan kurva ISA pemodelan menunjukkan bahwa pemodelan tersebut semakin tepat dalam menggambarkan produk dalam keadaan sebenarnya (Sunyoto *et al.* 2017). Untuk membuktikan hal tersebut, dilakukan pengujian ketepatan model dengan menghitung nilai *mean relative determination* (MRD) pada setiap pemodelan.



Gambar 3. Kurva ISA serbuk kedelai

Nilai MRD pada Tabel 6 menunjukkan model persamaan yang terpilih adalah pemodelan GAB dengan nilai MRD yang paling kecil dibandingkan dengan nilai MRD pemodelan lainnya, yaitu sebesar 6,71. Pemodelan Henderson, Oswin, dan GAB mendapatkan nilai MRD yang berkisar antara  $5 < MRD < 10$  yang mengindikasikan model agak tepat, sedangkan pemodelan Hasley, Caurie, dan Chen Clayton mendapatkan nilai  $MRD > 10$  yang berarti model kurang tepat. *Slope* yang digunakan pada perhitungan umur simpan diperoleh dari regresi linier kurva ISA pemodelan terpilih, yaitu  $y = 0,2055x - 0,002$  dengan  $R^2 = 0,9617$ . Dari persamaan tersebut diperoleh nilai *b* (*slope*) sebesar 0,2055. Kurva ISA pemodelan terpilih dapat dilihat pada Gambar 5.

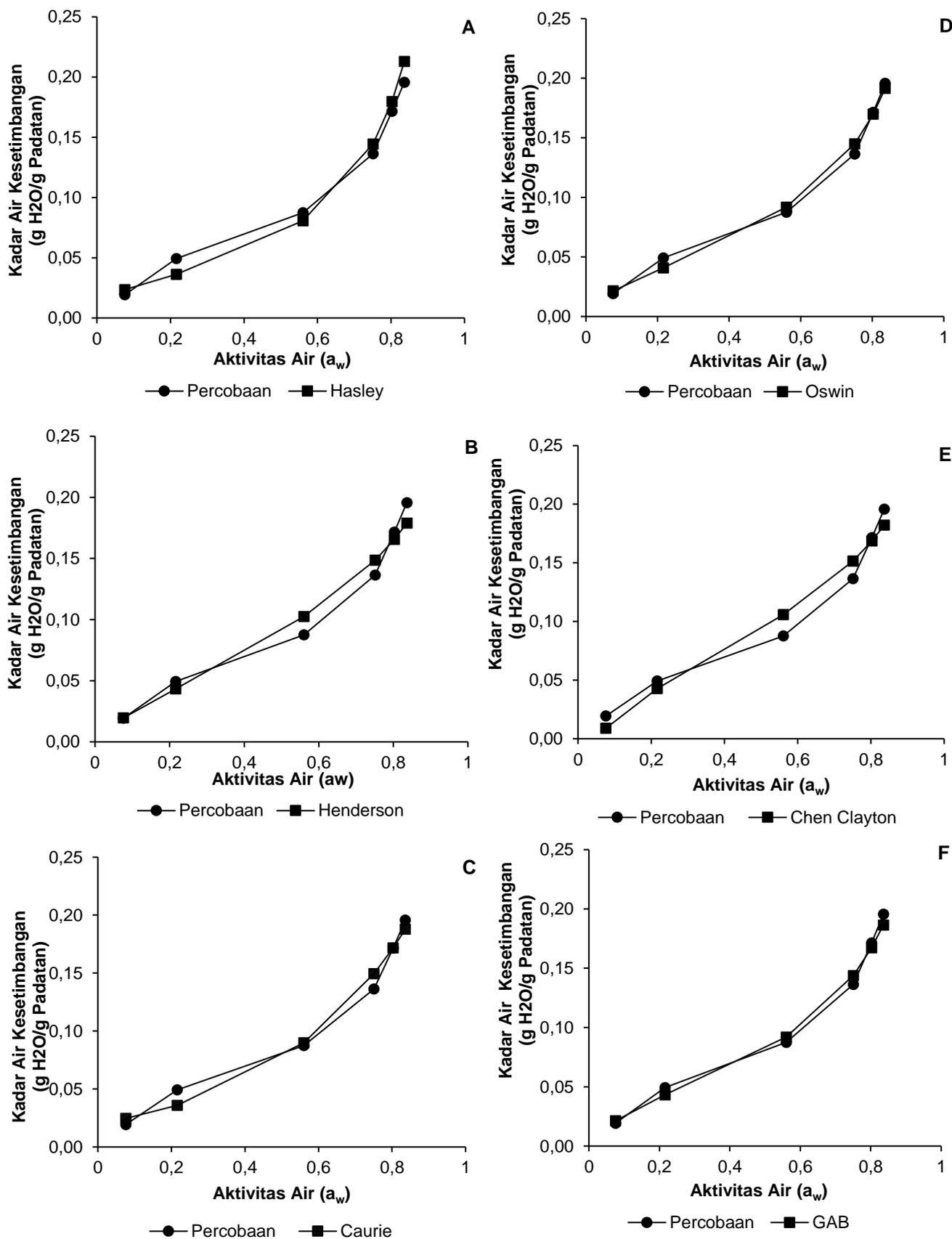
Serbuk kuah jahe memiliki kandungan sukrosa yang tinggi sehingga sulit untuk mencapai kondisi kadar air kesetimbangan (Kusnandar *et al.* 2016) sehingga dalam perhitungannya menggunakan formula termodifikasi. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa bahan yang memiliki kadar gula maupun kadar garam yang tinggi tidak membentuk kurva ISA yang sigmoid, hal ini disebabkan produk akan mencair dan tidak mencapai kondisi kesetimbangan bila disimpan pada kondisi  $a_w$  diatas 0,65 (Kusnandar *et al.* 2016; Fan dan Roos 2016). Formula termodifikasi menggantikan variabel kadar air kesetimbangan ( $M_e$ ) dan *slope* (*b*) dengan nilai perbedaan tekanan dalam dan luar kemasan. Semakin meningkatnya RH

lingkungan penyimpanan, semakin besar pula nilai ( $\Delta P$ ). Perbedaan tekanan ini menyebabkan perpindahan uap dari luar ke dalam kemasan berdampak pada meningkatnya kadar air produk dan umur simpan akan semakin singkat (Ayu *et al.* 2023). Pendugaan umur simpan dengan persamaan Labuza membutuhkan variabel pendukung lain, yaitu luas kemasan, permeabilitas uap air kemasan, berat padatan per kemasan, dan tekanan uap air murni pada ruang penyimpanan. Luas kemasan berpengaruh terhadap umur simpan bahan yang dihasilkan. Luas kemasan yang kecil menyebabkan masa simpan produk yang lebih lama (Jayadi *et al.* 2016). Semakin besarnya luas kemasan akan lebih banyak pori-pori plastik yang menjadi media masuknya molekul air ke dalam kemasan (Pakpahan *et al.* 2020).

Tabel 7 dan Tabel 8 menunjukkan bahwa kondisi RH penyimpanan memengaruhi umur simpan serbuk kedelai dan serbuk kuah jahe. Umur simpan serbuk kedelai dan serbuk kuah jahe yang disimpan pada kemasan *polypropylene* (PP) dengan kondisi RH 78% dan suhu 30 °C adalah 7,3 bulan dan 18,1 bulan. Apabila disimpan pada pada RH 82% umur simpan serbuk kedelai dan serbuk jahe adalah 6,8 bulan dan 15,3 bulan. Bila serbuk kedelai dan serbuk kuah jahe disimpan pada kemasan *metalized plastic* pada RH 78%, umur simpannya adalah 12,4 dan 34,6 bulan, dan pada RH 82% umur simpannya sebesar 11,6 dan 29,2 bulan. Berdasarkan kemasan  $CaSO_4$  komersial, umur simpannya adalah 2 tahun.

Berdasarkan kedua jenis kemasan bahan yang digunakan, kemasan bahan *metalized plastic* mendapatkan umur simpan yang paling lama. Hal ini dikarenakan rendahnya permeabilitas uap air kemasan bahan *metalized plastic* dibandingkan *polypropylene* (PP). Nilai permeabilitas kemasan uap air menentukan kecepatan perpindahan uap air yang masuk ke dalam bahan pangan (Pakpahan *et al.* 2020). Serbuk kedelai maupun serbuk jahe yang disimpan pada RH 82% memiliki umur simpan yang lebih pendek dibandingkan pada RH 78%. Hal ini disebabkan kadar air dapat meningkat seiring meningkatkan kelembapan relatif dan suhu penyimpanan (Luampon dan Charmongkolpradit 2019). Serbuk wedang tahu terdiri atas serbuk kedelai, serbuk kuah jahe, dan koagulan  $CaSO_4$  yang dikemas dalam kemasan yang berbeda.

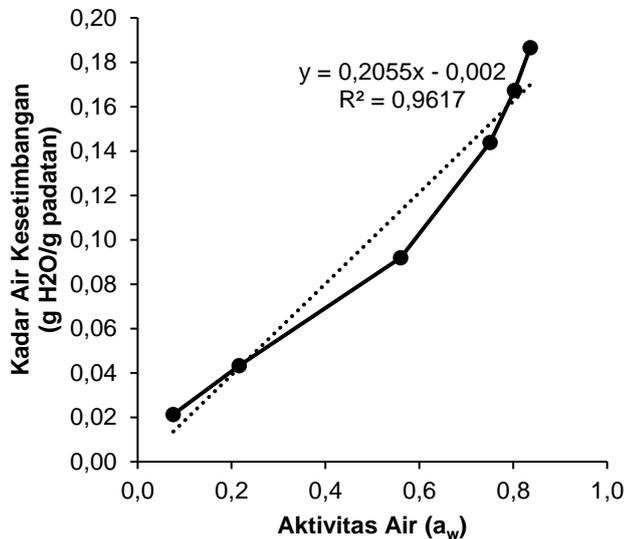
Pertimbangan ketiga komponen yang digunakan dalam produk serbuk wedang tahu, digunakan umur simpan serbuk kedelai sebagai umur simpan serbuk wedang tahu dikarenakan memiliki umur simpan paling pendek dari komponen lainnya. Berdasarkan Tabel 7 dan 8 diketahui bahwa kemasan yang cocok untuk serbuk wedang tahu adalah jenis kemasan *polypropylene*. Namun, lama umur simpan yang didapatkan perlu pengujian lebih lanjut dengan metode umur simpan model arrhenius dikarenakan terdapat komponen lemak pada serbuk wedang tahu yang berpotensi menyebabkan oksidasi. Dibandingkan dengan produk kering lain yang ditentukan dengan metode kadar air kritis seperti bandrek instan (Faridah *et al.* 2013) dan bumbu kuah bakso serbuk (Kusnandar *et al.* 2016), umur simpan serbuk wedang tahu pada kondisi penyimpanan yang sama memiliki umur simpan yang lebih panjang.



**Gambar 4.** Kurva ISA pemodelan Hasley (A), Henderson (B), Caurie (C), Oswin (D), Chen Clayton (E), dan GAB (F)

**Tabel 6.** Persamaan model kurva ISA serbuk kedelai

Model	Persamaan Bentuk Linier	Mean Relative Determination (MRD)
Hasley	$\log [\ln(1/a_w)] = -1.562 - 1.2126 \log M_e$	12,625
Henderson	$\log [\ln(1/1-a_w)] = 1.3145 + 1.4144 \log M_e$	8,500
Caurie	$\ln M_e = -3.9083 + 2.6744a_w$	11,863
Oswin	$\ln M_e = -2.5153 + 0.5291 \ln[a_w/(1-a_w)]$	7,147
Chen Clayton	$\ln[\ln(1/a_w)] = 1.0842-15.406 M_e$	18,009
GAB	$a_w/M_e = -14.589 a_w^2 + 14.525 a_w + 2,5418$	6,708



**Gambar 5.** Kurva ISA pemodelan terpilih (model GAB)

**KESIMPULAN**

Formula wedang tahu instan dengan penambahan tiga konsentrasi CaSO<sub>4</sub> yang berbeda belum dapat menghasilkan wedang tahu yang menyerupai wedang tahu tradisional. Namun, dari ketiga konsentrasi tersebut dipilih konsentrasi CaSO<sub>4</sub> sebesar 3% untuk digunakan pada tahap selanjutnya. Nilai ini dipilih dikarenakan memiliki tingkat perbedaan paling kecil bila dibandingkan dengan konsentrasi lainnya. Dalam satu takaran saji wedang tahu instan (30 g) menghasilkan menghasilkan energi total sebesar 125 kkal, protein 12% AKG, lemak total 3% AKG, dan karbohidrat 6% AKG. Berdasarkan pendekatan kadar air kritis, diketahui umur simpan wedang tahu instan yang disimpan pada kemasan *polypropylene* pada suhu 30 °C dan RH 78% adalah sebesar 7,3 bulan dan bila disimpan pada RH 82% memiliki umur simpan sebesar 6,8 bulan. Apabila disimpan di suhu yang sama pada kemasan *metalized plastic* pada RH 78 dan 82% memiliki umur simpan sebesar 12,4 dan 11,6 bulan.

**Tabel 7.** Pendugaan umur simpan serbuk kedelai

Variabel	Kelembapan Relatif ( <i>Relative Humidity</i> /RH) (%)	
	78	82
Kadar air awal/M <sub>o</sub> (H <sub>2</sub> O/g padatan)	0,0400	0,0400
Kadar air kritis/M <sub>c</sub> (H <sub>2</sub> O/g padatan)	0,0731	0,0731
Kadar air kesetimbangan/M <sub>e</sub> (H <sub>2</sub> O/g padatan)	0,1623	0,1705
Bobot padatan per kemasan/W <sub>s</sub> (g)	51,2981	51,2981
Tekanan uap air jenuh/P <sub>o</sub> (mmHg)	31,8240	31,8240
<i>Slope</i> /b	0,2055	0,2055
Luas kemasan/A (m <sup>2</sup> )	0,0384	0,0384
PP/k/x (g/m <sup>2</sup> .hari.mmHg)	0,0124	0,0124
<i>Metalized plastic</i> /k/x (g/m <sup>2</sup> .hari.mmHg)	0,0065	0,0065
Umur simpan (hari) pada kemasan:		
<i>Polypropylene</i> (PP)	218,8	202,8
<i>Metalized plastic</i>	373,5	346,7

**Tabel 8.** Pendugaan umur simpan serbuk kuah jahe

Variabel	Kelembapan Relatif ( <i>Relative Humidity</i> /RH) (%)	
	78	82
Kadar air awal/M <sub>o</sub> (H <sub>2</sub> O/g padatan)	0,0081	0,0081
Kadar air kritis/M <sub>c</sub> (H <sub>2</sub> O/g padatan)	0,0395	0,0395
Bobot padatan per kemasan/W <sub>s</sub> (g)	64,4777	64,4777
Luas kemasan/A (m <sup>2</sup> )	0,0275	0,0275
ΔP	6,9264	8,1994
PP/k/x (g/m <sup>2</sup> .hari.mmHg)	0,0124	0,0124
<i>Metalized plastic</i> /k/x (g/m <sup>2</sup> .hari.mmHg)	0,0065	0,0065
Umur simpan (hari) pada kemasan:		
<i>Polypropylene</i> (PP)	544,3	459,8
<i>Metalized plastic</i>	1038,3	877,1

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustiana, Adawyah R, Syifa M, Habibie R. 2021. Pengaruh lama fermentasi terhadap karakteristik kimia, organoleptik dan *total plate count* (TPC) cumi kering (*Loligo* sp.). *J Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* 24(2): 160–166. DOI: 10.17844/jphpi.v24i2.32911.
- Alfiyani N, Wulandari W, Adawiyah DR. 2019. Validasi metode pendugaan umur simpan produk pangan renyah dengan metode kadar air kritis. *J Mutu Pangan* 6(1): 1–8. DOI: 10.29244/jmpi.2019.6.1.1.
- [AOAC] Association of Official Analytical Chemist. 2012. Official Method of Analysis. AOAC International, Washington DC.
- Aini N, Prihananto V, Wijonarko G. 2014. Karakteristik kurva isotherm sorpsi air tepung jagung instan. *Agritech* 34(1): 50–55. DOI: 10.22146/agritech.9522.
- Ayu DF, Nurmadhona, Efendi R. 2023. Pendugaan umur simpan keripik nanas dengan pendekatan kurva isotherm sorpsi air. *Agrointek* 17(2): 365–373. DOI: 10.21107/agrointek.v17i2.14686.
- Bell LN, Labuza TP. 2000. Moisture Sorption Practical Aspects of Isotherm Measurement and Use. The American Association of Cereal Chemist, Nashville.
- [BPOM] Badan Pengawasan Obat dan Makanan Republik Indonesia. 2021. Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 26 Tahun 2021 Informasi Nilai Gizi pada Label Pangan Olahan. Jakarta: Badan Pengawas Obat dan Makanan.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2011. SNI 7612: 2011: Bubuk Minuman Kedelai. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Erfandi W, Zainal, Salengke. 2018. Karakteristik susu kedelai bubuk yang diproses dengan pengeringan beku dan pengeringan vakum. *J Agrisistem* 14(2): 113–124.
- Faridah DN, Yasni S, Suswantinah A, Aryani GW. 2013. Pendugaan umur simpan dengan metode *accelerated shelf-life testing* pada produk bandrek instan dan sirup buah pala (*Myristica fragrans*). *J Ilmu Pertanian Indonesia* 18(3): 144–153.
- Firdausni F, Hermianti W, Kumar R. 2017. Pengaruh penggunaan sukrosa dan penstabil karboksi metil selu-losa (CMC) terhadap mutu dan gingerol jahe Instan. *J Litbang Industri* 7(2): 137–146. DOI: 10.24960/jli.v7i2.3364.137-146.
- Fan F, Roos YH. 2016. Crystalization and structural relaxation times in structural strength analysis of amorphous sugar or whey protein systems. *J Food Hydrocolloids* 60: 85–97. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2016.03.019.
- Jayadi A, Anwar B, Sukainah A. 2016. Pengaruh suhu penyimpanan dan jenis kemasan terhadap mutu abon ikan terbang. *J Pendidikan Teknol Pertanian* 2(1): 62–69.
- Kim J-B, Cheong S-H. 2016. Physicochemical characteristics of functional tofu fortified with garlic (*Allium sativum*) and calcium lactate as coagulant. *Res J Pharmaceutical, Biological, Chem Sci* 7(1): 243–250.
- Kusnandar F, Hemeninasari A, Adawiyah DR. 2016. Pendugaan umur simpan bumbu kuah bakso dengan metode akselerasi. *J Mutu Pangan* 3(1): 10–17.
- Kurniawan YR, Pakpahan N, Purwanto YA, Purwanti N, Budijanto S. 2021. Stabilitas beras analog berdasarkan pola kadar air kesetimbangan. *Pangan* 30(2): 87–98. DOI: 10.33964/jp.v30i2.522.
- Labuza TP. 1982. Shelf Life Dating of Foods. Food and Nutrition Press Inc, Westport. ISBN: 978-0-91-767814-1.
- Luampon R, Charmongkolpradit. 2019. Temperature and relative humidity effect on equilibrium moisture content of cassava pulp. *Res Agr Eng* 65(1): 13–19. DOI: 10.17221/112/2017-RAE.
- Meilgaard M. 2007. Sensory Evaluation Technique Fourth Edition. CRC Press, Boca Raton. ISBN: 978-0-42-919514-3.
- Pakpahan N, Kusnandar F, Syamsir E, Maryati S. 2020. Pendugaan umur simpan kerupuk mentah tapioka dalam kemasan plastik polypropylene dan low density polyethylene menggunakan metode kadar air kritis. *J Teknol Pangan* 14(2): 52–62. DOI: 10.33005/jtp.v14i2.2454.
- Palupi NS, Wardiani LI, Nurtama B. 2016. Optimasi formula kuah jahe dalam pengembangan wedang tahu sebagai pangan fungsional. *J Teknol dan Industri Pangan* 27(1): 95–104. DOI: 10.6066/jtip.2016.27.1.95.
- Palupi NS, Zhafira NR, Nurtama B. 2019. Optimasi formula tahu lembut instan dan rasio rehidrasi dalam pengembangan wedang tahu sebagai pangan fungsional. *J Mutu Pangan* 6(2): 63–71. DOI: 10.29244/jmpi.2019.6.63.
- Palupi NS, Indrastuti NA, Uju, Syamsir E. 2020. Optimasi penggunaan karagenan dan kalsium sulfat pada pembuatan tahu sutra dalam pengembangan pangan fungsional. *J Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* 23(2): 272–285. DOI: 10.17844/jphpi.v23i2.30973.
- Palupi NS, Widyanto R. 2020. Pengujian kapasitas antioksidan wedang tahu dalam rangka meningkatkan mutu fungsionalnya. *J Mutu Pangan* 7(1): 46–51. DOI: 10.29244/jmpi.2020.7.1.46.
- Purbasari D. 2019. Aplikasi metode *foam-mat drying* dalam pembuatan bubuk susu kedelai instan. *J Agroteknologi* 13(1): 52–61. DOI: 10.19184/j-agt.v13i01.9253.
- Rifkowitz EE, Martanto. 2016. Minuman fungsional serbuk instan jahe dengan variasi penambahan bawang merah sebagai pewarna alami. *J Teknik Pertanian Lampung* 4(4): 315–324.

- Ropiudin, Syska K. 2023. Pemodelan sorpsi isotermik dan pendugaan umur simpan gula kelapa kristal dalam kemasan plastik. *J Agric Biosystem Eng Res* 4(1): 23–24. DOI: 10.20884/1.jaber.2023.4.18462.
- Syah D, Sitanggang AB, Faradilla RHF, Trisna V, Karsono Y, Septianita DA. 2014. The influences of coagulation conditions and storage protein on the textural pro-perties of soy-curd (tofu). *J Food* 13(2): 259–263. DOI: 10.1080/19476337.2014.948071.
- Sunyoto M, Djali M, Syafaah M. 2017. Pendugaan umur simpan kerupuk ikan dalam berbagai jenis kemasan dengan metode akselerasi melalui pendekatan kadar air kritis. *J Penelitian Pangan* 2(1): 55–63. DOI: 10.24198/jp2.2017.vol2.1.08.
- Swadana AE, Yuwono SS. 2014. Pendugaan umur simpan minuman berperisa apel menggunakan metode *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) dengan pendekatan *Arrhenius*. *J Pangan Agroindustri* 2(3): 203–213.
- Widjajaseputra AI, Widyastuti TEW, Suprijono MM, Trisnawati CY. 2020. Peran jenis dan konsentrasi koagulan pada karakteristik tahu dan tingkat penerimaan konsumen. *J Teknol Pangan Gizi* 19(2): 114–122. DOI: 10.33508/jtph.v19i2.2871.
- Widyanto R, Palupi NS, Refli R, Kahfi J, Prangdimurti E. 2018. Optimization of soft tofu and ginger drink formula as component of soft tofu dessert using response surface methodology (RSM). *Int Food Res J* 25(2): 1818–1828.
- Zhang J, Wang J, Li M, Guo S, Lv Y. 2022. Effects of heat treatment on protein molecular structure and *in vitro* digestion in whole soybeans with different moisture content. *Food Res Int* 155: 111115. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.111115.

---

JMP-01-24-03-Naskah diterima untuk ditelaah pada 9 Januari 2024. Revisi makalah disetujui untuk dipublikasi pada 18 Juli 2024. Versi Online: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jmpi>