

Optimasi Proses Produksi Biskuit Tinggi Protein Berbasis Soy Protein Concentrate (SPC)

Process Optimization of Soy Protein Concentrate (SPC)-Based High Protein Biscuits

Zahidah Khairina¹⁾, Mohamad Djali²⁾, Robi Andoyo^{2)*}

¹⁾ Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran, Bandung

²⁾ Departemen Teknologi Industri Pangan, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran, Bandung

Abstract. Most biscuits contain an unbalanced macronutrient composition, high in carbohydrates and fat but low in protein. Additional protein sources can be incorporated to enhance their protein content. Soy protein concentrate is a highly digestible plant-based protein source. However, adding high amounts of protein can result in a harder biscuit texture, which may reduce consumer acceptance. The increased hardness caused by the natural properties of protein can be modified by altering its structure through preheating treatment. This study aimed to determine the optimal formulation based on the protein concentration and preheating temperature of soy protein concentrate to produce high-protein biscuits with good acceptability. Optimization was performed using response surface methodology (RSM) with a central composite design (CCD), evaluating biscuit hardness, stiffness, porosity, and fractal dimension. According to the RSM design, 13 experimental runs with 5 center points were conducted using Design Expert 13 software. Based on biscuit attributes such as hardness, stiffness, fractal dimension, and porosity, the optimal formulation was achieved with a protein content of 12.614% and a preheating treatment at 72.93 °C.

Keywords: biscuit, protein, soy protein concentrate

Abstrak. Sebagian besar biskuit mengandung makronutrien yang tidak seimbang, yaitu tinggi karbohidrat dan lemak, tetapi rendah protein. Kandungan protein dalam biskuit dapat ditingkatkan dengan menambahkan sumber protein. Salah satu sumber protein nabati yang memiliki tingkat kecernaan sangat baik adalah konsentrat protein kedelai. Namun, penambahan protein dalam jumlah tinggi dapat menyebabkan tekstur biskuit menjadi keras, sehingga menurunkan tingkat penerimaan konsumen. Peningkatan kekerasan biskuit akibat sifat alami protein dapat dimodifikasi dengan mengubah struktur protein melalui perlakuan pemanasan awal (preheating). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan formula optimum berdasarkan konsentrasi protein dan suhu pemanasan awal konsentrat protein kedelai untuk menghasilkan biskuit tinggi protein dengan penerimaan yang baik. Optimasi dilakukan dengan *response surface methodology* (RSM) dengan metode *central composite design* (CCD) berdasarkan parameter kekerasan (*hardness*), ketegaran (*stiffness*), porositas, dan dimensi fraktal. Rancangan optimasi dilakukan dengan *Design Expert 13* (DX13), menghasilkan 13 kombinasi percobaan (*run*), termasuk 5 titik pusat (*center points*). Berdasarkan hasil pengujian *hardness*, *stiffness*, dimensi fraktal, dan porositas, diperoleh biskuit dengan kandungan protein sebesar 12,614% dan perlakuan pemanasan awal pada suhu 72,93 °C.

Kata kunci: biskuit, konsentrat protein kedelai, protein

Aplikasi Praktis: Penelitian ini dapat memberikan informasi pada industri pangan dalam upaya untuk meningkatkan kandungan protein. Pengembangan produk biskuit tinggi protein berbasis konsentrat protein kedelai dengan modifikasi pemanasan konsentrat protein kedelai pada suhu 73 °C akan menghasilkan biskuit tinggi protein (12,6%) dengan tekstur yang tidak keras menyerupai karakteristik biskuit pada umumnya.

PENDAHULUAN

Biskuit merupakan makanan ringan yang banyak dikonsumsi oleh berbagai kalangan karena variasi bentuk, rasa, tekstur dan kegunaannya yang beragam. Berdasarkan data konsumsi pangan penduduk Indonesia konsumsi biskuit meningkat hingga 26%, sejak tahun 2015 sebesar 1,45 kg/kapita/tahun dan menjadi

1,83 kg/kapita/tahun pada tahun 2020 (BKP 2021). Sebagian besar kandungan biskuit adalah karbohidrat dan lemak dengan total kalori tinggi, namun memiliki kandungan protein yang rendah (Nadhifah *et al.* 2020). Pola konsumsi karbohidrat, lemak, dan protein yang tidak seimbang dapat menyebabkan masalah kesehatan seperti diabetes melitus, dan dislipidemia (Devi *et al.* 2019). Biskuit dengan kandungan tinggi protein masih

sulit ditemukan di pasaran. Sehingga perlu dikembangkan produk biskuit tinggi protein agar dapat menjadi makanan tambahan yang menyehatkan untuk memenuhi kebutuhan protein tubuh.

Protein merupakan salah satu makronutrien yang memiliki peran penting dan tidak dapat digantikan sebagai zat pembangun dan pengatur dalam tubuh. Kekurangan protein dapat berpengaruh terhadap kekuatan tulang, kuku dan rambut, kemampuan kognitif, kekebalan, dan imunitas tubuh, hingga tumbuh kembang anak (Aisyah *et al.* 2022). Agar metabolisme dan reaksi kimia dalam tubuh dapat berjalan dengan optimal maka kebutuhan protein harus terpenuhi. Salah satunya melalui konsumsi makanan dan minuman tinggi protein, terutama protein dengan susunan asam amino esensial yang lengkap karena tidak dapat disintesis oleh tubuh. Selain fungsinya dalam metabolisme tubuh, protein dalam bahan pangan memiliki sifat fungsional sebagai emulsifier, stabilisator, dan pembentuk busa (*foaming agent*) karena adanya gugus hidrofilik dan hidrofobik (amfipatik), sehingga berpengaruh terhadap tekstur produk pangan (Fellows 2017). Dengan adanya sifat fungsional tersebut maka penambahan protein dalam jumlah tertentu dapat berpengaruh terhadap karakteristik biskuit.

Kandungan protein pada biskuit dapat ditingkatkan dengan menambahkan bahan baku sumber protein, salah satunya yaitu kacang kedelai yang merupakan sumber protein nabati utama di Indonesia. Kedelai termasuk dalam protein nabati dengan profil asam amino terbaik karena mengandung sebagian besar asam amino esensial kecuali metionin (Farzana dan Mohajan 2015). Kandungan protein yang tinggi menjadikan konsentrasi protein kedelai sering digunakan sebagai bahan substitusi atau fortifikasi untuk meningkatkan kandungan protein dan sifat fungsional produk pangan. Penambahan protein dalam jumlah tinggi pada makanan dapat menyebabkan tekstur biskuit menjadi keras. Gugus karboksil pada protein menyebabkan daya serap air yang tinggi (hidrofilik), sehingga selama pemanasan kandungan air dalam adonan akan semakin sulit diuapkan yang menyebabkan tekstur biskuit semakin keras (Lestari *et al.* 2018; Puspita *et al.* 2021).

Sifat fungsional alami protein yang dapat menurunkan kualitas biskuit tersebut dapat dikurangi maupun diubah dengan memodifikasi struktur protein, salah satunya yaitu melalui proses pemanasan awal (*pre-heating*). Proses pemanasan akan mengubah struktur protein karena ikatan intramolekul yang terganggu sehingga lipatan terbuka dan terjadi agregasi molekul protein (Kitabatake *et al.* 2014). Struktur protein tersebut berkaitan langsung dengan beberapa atribut mutu tekstur seperti kerapuhan, penyebaran,

dan viskositas produk pangan (Fellows 2017). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui konsentrasi protein biskuit dan suhu *preheating* konsentrasi protein kedelai yang optimal untuk menghasilkan biskuit tinggi protein dengan tekstur yang tidak keras, sehingga memiliki daya terima baik. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka diperlukan optimasi proses produksi biskuit tinggi protein agar dapat menghasilkan biskuit dengan kandungan tinggi protein namun memiliki tekstur yang tidak keras dengan karakteristik seperti biskuit pada umumnya.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan biskuit tinggi protein diantaranya adalah konsentrasi protein kedelai dengan kandungan protein 42,02% yang diperoleh dari CV Intan Alami, Indonesia. Bahan tambahan lain di antaranya yaitu tepung terigu, maizena, gula halus, margarin, telur, *baking powder*, *Calcium Lactate* (Ca), *Zinc Gluconate* (Zn), *Iron Polymaltose Complex* (Fe).

Optimasi rancangan *response surface methodology*

Rancangan dan optimasi pada penelitian ini dilakukan dengan perangkat lunak *Design Expert* 13 menggunakan metode *Response surface methodology* (RSM) dengan pendekatan *central composite design* (CCD). Metode ini dapat menentukan rentang variabel bebas (X) yang diinginkan untuk memperoleh respon (Y) yang optimal. Penelitian ini menggunakan 2 variabel bebas yaitu konsentrasi protein terhadap total formula (X1) dan suhu preheating konsentrasi protein kedelai (X2), serta respon (Y) nilai *hardness*, *stiffness*, dimensi fraktal, dan porositas. Batas atas dan batas bawah variabel bebas yaitu konsentrasi protein biskuit dengan rentang 7–16%, serta suhu *preheating* (pemanasan awal) konsentrasi protein kedelai pada rentang 70–90 °C. Nilai variabel faktor formulasi dan proses produksi biskuit tinggi protein hasil rancangan RSM-CCD dapat dilihat pada Tabel 1. Penelitian ini menggunakan metode *single objective* sehingga dari masing-masing respon akan menghasilkan persamaan untuk dievaluasi. Berdasarkan rancangan percobaan tersebut design penelitian ini memiliki 13 *running* dengan 5 *center point* sebagai pengulangan yaitu pada *run* 2, 3, 5, 9, dan 10. *Software* menganalisis dan memberikan model yang paling sesuai berdasarkan bentuk tiga dimensi (3D) hubungan antara variabel dengan respon yang ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi tertinggi dan nilai *p*-value yang signifikan.

Tabel 1. Nilai variabel rancangan optimasi RSM-CCD

Variabel	Low	- α	High	+ α
Konsentrasi protein (%)	8,31802	7	14,682	16
Suhu <i>preheating</i> (°C)	72,9289	70	87,0771	90

Model respon terpilih kemudian dianalisis dengan normalitas data respon serta ANOVA (*analysis of variance*) terutama berdasarkan nilai *lack of fit*, koefisien determinasi (R^2), *adequate precision*, dan VIF. Level optimum variabel akan disajikan dengan visualisasi *contour* plot dan 3D *Surface* untuk memudahkan melihat respon tertinggi. Setelah diperoleh model persamaan dari masing-masing respon kemudian dilakukan optimasi untuk menentukan faktor terbaik. Target pada optimasi kali ini diantaranya adalah konsentrasi protein *in range*, suhu *preheat* minimal, serta seluruh respon *in range*. Analisis kondisi optimum akan menghasilkan persamaan regresi yang dapat digunakan untuk memprediksi respon dengan nilai faktor tertentu. Kemudian biskuit dibuat menyesuaikan dengan nilai faktor tersebut dan diujikan untuk dilihat kesesuaian respon dengan hasil perhitungan *software*. Selain itu, untuk validasi model juga dilakukan dengan membuat biskuit sesuai dengan nilai faktor pada kondisi optimum kemudian hasil pengujian respon yang diperoleh dibandingkan dengan prediksi yang sebelumnya diberikan oleh *software*.

Preheat konsentrat protein kedelai

Konsentrat protein kedelai dan air dicampurkan dan diaduk dalam *beaker glass* hingga tercampur merata. Semakin tinggi suhu *preheat*, air yang ditambahkan semakin banyak. Pada suhu 70 °C dan 72,93 °C ditambahkan air sebanyak 150% dari berat konsentrat protein kedelai, suhu 80 °C ditambahkan air sebanyak 175%, sedangkan pada suhu 90 dan 87 °C menggunakan air sebanyak 200%. Campuran tersebut kemudian dipanaskan secara *double boiler* menggunakan *waterbath*. Setelah mencapai suhu yang diinginkan sesuai perlakuan (70; 72,93; 80; 87; dan 90 °C), pemanasan ditahan selama 30 menit sembari diaduk secara berkala. Selanjutnya dilakukan pendinginan hingga suhu konsentrat protein kedelai turun menjadi 25 °C atau suhu ruang. Konsentrat protein kedelai yang telah dingin kemudian dicampurkan ke dalam adonan sesuai dengan formulasi dan *run* yang telah ditentukan (Tabel 2) (Huda *et al.* 2023).

Tabel 2. Formulasi biskuit tinggi protein berbasis konsentrat protein kedelai

Run	Konsentrat Protein Kedelai (g)	Maizena (g)	Tepung Terigu (g)	Margarin (g)	Gula Halus (g)	Telur (g)	Baking Powder (g)	Ca (g)	Zn (g)	Fe (g)
1	16,83	33,00	22,00	27,27	20,00	14,00	0,35	0,30	0,10	0,30
2	26,60	27,60	18,40	27,27	20,00	14,00	0,35	0,30	0,10	0,30
3	26,60	27,60	18,40	27,27	20,00	14,00	0,35	0,30	0,10	0,30
4	26,60	27,60	18,40	27,27	20,00	14,00	0,35	0,30	0,10	0,30
5	40,32	19,20	12,80	27,27	20,00	14,00	0,35	0,30	0,10	0,30
6	27,42	26,70	17,80	27,27	20,00	14,00	0,35	0,30	0,10	0,30
7	12,16	36,00	24,00	27,27	20,00	14,00	0,35	0,30	0,10	0,30
8	26,60	27,60	18,40	27,27	20,00	14,00	0,35	0,30	0,10	0,30
9	27,19	27,30	18,20	27,27	20,00	14,00	0,35	0,30	0,10	0,30
10	37,46	20,70	13,80	27,27	20,00	14,00	0,35	0,30	0,10	0,30
11	16,96	33,30	22,20	27,27	20,00	14,00	0,35	0,30	0,10	0,30
12	37,61	20,88	13,92	27,27	20,00	14,00	0,35	0,30	0,10	0,30
13	26,60	27,60	18,40	27,27	20,00	14,00	0,35	0,30	0,10	0,30

Pembuatan biskuit tinggi protein

Formula biskuit dengan konsentrasi protein tertentu dihitung berdasarkan prinsip neraca massa protein, dengan menambahkan *preheated SPC* sesuai target konsentrasi yang telah diestimasi pada bahan-bahan lain yang telah dihitung jumlah kandungan proteininya. Proses pembuatan biskuit mengacu pada prosedur Huda *et al.* (2023) dengan modifikasi pada tahap pencampuran bahan dan pemanggangan. Tahap pertama yang dilakukan yaitu penimbangan bahan sesuai dengan formula pada Tabel 2. Perlakuan penambahan konsentrasi konsentrat protein kedelai yang diperoleh dari rancangan RSM-CCD kemudian dicampurkan dengan bahan lain (variabel tetap). Kemudian dilanjutkan dengan pencampuran tahap I yaitu untuk mencampurkan bahan-bahan kering seperti gula halus, maizena, tepung terigu, *baking powder*, Ca, Fe, dan Zn. Setiap bahan kering yang dicampurkan diayak terlebih dahulu agar tidak menggumpal. Pencampuran tahap II yaitu mencampurkan margarin dengan adonan hasil pencampuran I hingga seluruh margarin tercampur merata dalam adonan. Selanjutnya pencampuran tahap III yaitu menambahkan telur yang telah dikocok ke dalam adonan hasil pencampuran tahap II hingga seluruh campuran telur merata. Pencampuran tahap IV dilakukan dengan menambahkan *preheated SPC*, lalu adonan diuleni selama 5 menit hingga tercampur merata sehingga adonan dapat dibentuk dan dicetak dengan mudah. Selanjutnya biskuit dicetak menggunakan cetakan biskuit agar memiliki ukuran seragam. Biskuit yang telah dicetak kemudian diletakkan di atas loyang yang telah diolesi margarin atau diberi *baking paper*. Setelah itu adonan biskuit dipanggang menggunakan oven pada suhu 160 °C selama 18–25 menit. Biskuit yang telah matang kemudian didinginkan selama 20 menit atau hingga mencapai suhu ruang. Biskuit yang telah dingin dikemas menggunakan *standing pouch* dan diberi *silica gel*, lalu ditutup menggunakan *sealer*.

Analisis tekstur

Tekstur bisikuit diukur menggunakan *texture analyzer* TA.XT Express (Stable Micro Systems, Inggris) dengan mengukur puncak maksimum sebagai daya tahan bisikuit pada tekanan yang diberikan. Sampel tersebut diletakkan di atas dua buah *plate* dengan ketinggian yang seragam. *Probe* yang digunakan pada pengujian ini yaitu P/6 dengan menggunakan *project biscuit bending*. Nilai *hardness* (kekerasan) akan ditampilkan pada aplikasi *exponent lite express* yang telah dihubungkan dengan *texture analyzer*. Adapun pengaturan untuk *texture analyzer* adalah, *pre-test speed* 1 mm/s, *test speed* 4 mm/s, *post-test speed* 10 mm/s, dan *distance* 10 mm. Kemudian nilai *stiffness* diperoleh dari *slope* grafik *force* (g) vs *time* (s) pada tanjakan pertama hingga mencapai puncak (*peak force*) berdasarkan *raw data* pengujian *hardness* (Pradipta dan Andoyo 2020).

Analisis gambar

Perhitungan porositas diperoleh berdasarkan persentase luas area bagian berpori dibandingkan luas total area. Analisis gambar bisikuit dilakukan dengan cara pengambilan gambar penampang melintang bisikuit menggunakan lensa kamera (Saberi *et al.* 2021). Gambar yang dihasilkan kemudian diolah menggunakan aplikasi *ImageJ*. Bagian *crumb* bisikuit yang terdapat pada gambar dipotong dengan bentuk segi empat berukuran 220x1500 pixel dan dikonversi menjadi *grayscale* (*Image>Type>8 bit*). Proses gambar *grayscale* dilanjutkan menggunakan *image segmentation* menggunakan metode Otsu *thresholding* (*Image>Adjust>Threshold>Otsu>Apply*). Analisis porositas dilakukan menggunakan menu yang tersedia pada aplikasi *ImageJ* (*Analyze>Analyze Particles> OK*).

Analisis dimensi fraktal dengan metode *box counting* melanjutkan proses gambar, setelah gambar disegmentasi (*Analyze>Tools>Fractal Box Counter>OK*). Dimensi fraktal dianalisis menggunakan metode *Box Counting* dan dihitung berdasarkan nilai *slope* dari grafik *log box size (L)* dan *log count (N)*. Nilai dimensi fraktal yang dihasilkan yaitu dua dimensi (D) karena diperoleh dari gambar dua dimensi, oleh karena itu

perlu dilakukan penambahan dimensi pada nilai D untuk merepresentasikan bentuk tiga dimensi dengan cara seperti pada persamaan 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik tekstur (*hardness* dan *stiffness*)

Berdasarkan hasil analisis *hardness* pada Tabel 3 menunjukkan bahwa variasi konsentrasi protein dan suhu *preheat* konsentrat protein kedelai menghasilkan biskuit dengan tingkat kekerasan berbeda. Kombinasi antara faktor kandungan protein dan suhu *preheat* memengaruhi tingkat kekerasan biskuit yang dihasilkan. Secara keseluruhan biskuit *run* 10 yang mengandung 14,68% protein dan *preheat* dengan suhu 87,07 °C memiliki nilai *hardness* tertinggi yaitu 2176,49 gf. Nilai *hardness* terendah yaitu 747,56 gf dimiliki oleh biskuit *run* 7 yang mengandung 7% protein dengan *preheat* pada suhu 80 °C. Berdasarkan konsentrasi protein nilai *hardness* meningkat seiring dengan penambahan konsentrat protein kedelai. Dapat dilihat pada suhu *preheat* 72,93 °C biskuit dengan kandungan protein 8,32% memiliki *hardness* lebih rendah (1185,07 gf) dibandingkan dengan konsentrasi 14,68% (1244,35 gf). Pada suhu *preheat* 80 °C biskuit dengan konsentrasi 7% memiliki nilai *hardness* terendah yaitu 747,56 gf, diikuti dengan konsentrasi 11,5% dan nilai *hardness* tertinggi pada konsentrasi protein 16% yaitu sebesar 1654,32 gf. Kemudian pada suhu 87,07 °C biskuit dengan konsentrasi protein 8,32% memiliki *hardness* 1079,53 gf, lebih rendah dibandingkan biskuit yang mengandung 14,68% protein yaitu sebesar 2176,49 gf. Huda *et al.* (2023) menyatakan bahwa dengan *preheat* pada suhu 80 °C, biskuit dengan kandungan 11% protein memiliki *hardness* 1512,17 gf, sedangkan pada konsentrasi protein 15% meningkat menjadi 1750,16 gf. Nilai *hardness* tersebut berbeda dengan rata-rata pada *center point* dengan kandungan protein sedikit lebih besar (11,5%) namun memiliki *hardness* lebih rendah (1215,54 gf).

Tabel 3. Nilai rata-rata *hardness* dan *stiffness* biskuit tinggi protein

Sampel	Konsentrasi Protein (%)	Suhu Preheat (°C)	Hardness (gf)	Stiffness (gf/s)
Run 1	8,32	72,93	1185,07	6399,93
Run 2	11,50	80,00	1548,44	5344,59
Run 3	11,50	80,00	1349,33	7448,52
Run 4	11,50	80,00	1159,07	8158,29
Run 5	16,00	80,00	1654,32	9249,66
Run 6	11,50	90,00	1057,73	5762,35
Run 7	7,00	80,00	747,56	5734,53
Run 8	11,50	80,00	857,14	5694,53
Run 9	11,50	70,00	932,50	5571,15
Run 10	14,68	87,07	2176,49	8403,28
Run 11	8,32	87,07	1079,53	6123,76
Run 12	14,68	72,93	1244,35	5510,08
Run 13	11,50	80,00	1163,73	5343,64

Hardness yang lebih rendah walaupun pada suhu sama (80 °C) diduga karena proses *preheat* yang lebih lama 10 menit dibandingkan dengan penelitian oleh Huda *et al.* (2023). Namun jika dilihat berdasarkan suhu *pre-heat* saja tidak terdapat kecenderungan nilai *hardness*. Dapat dilihat pada konsentrasi 11,5% dengan suhu *preheat* 70 °C memiliki *hardness* terendah, namun suhu 90 °C memiliki *hardness* lebih rendah dibandingkan dengan rata-rata suhu 80 °C. Hal tersebut dapat terjadi diduga karena tebal biskuit yang tidak seragam. Ketebalan biskuit yang semakin rendah berpengaruh terhadap nilai *hardness* yang lebih rendah, begitu juga sebaliknya (Tang dan Liu 2017).

Kandungan protein berpengaruh terhadap *hardness* biskuit yang dihasilkan. Hasil penelitian sesuai dengan pernyataan Lestari *et al.* (2018) bahwa biskuit dengan penambahan tepung kedelai yang mengandung 18,91% protein memiliki nilai *hardness* lebih tinggi (3306,49 gf) dibandingkan dengan biskuit tanpa penambahan tepung kedelai dengan kandungan protein 8,61% (1788,9 gf). Gugus karboksil pada protein menyebabkan daya serap air yang tinggi (hidrofilik), sehingga selama pemanasan kandungan air dalam adonan akan semakin sulit diuapkan yang menyebabkan tekstur biskuit semakin keras (Lestari *et al.* 2018; Puspita *et al.* 2021). Protein akan mengikat air bebas yang terdapat dalam bahan sehingga hidrasi bahan semakin kecil. Penambahan protein akan menurunkan kadar air bebas dan aktivitas air sehingga menyebabkan tingkat kekerasan biskuit semakin meningkat (Komeroski dan Oliveira 2023; Leiva-Valenzuela *et al.* 2018; Yang *et al.* 2022). Sifat hidrofilik gugus karboksil protein tersebut dapat dikurangi dengan modifikasi struktur, salah satunya melalui pemanasan yang menyebabkan gugus hidrofobik akan terbuka keluar dan gugus hidrofilik terlipat masuk ke dalam. Denaturasi protein akibat pemanasan tersebut menyebabkan kelarutan protein menurun sekaligus terjadi agregasi molekul yang menyebabkan jaringan protein melemah. *Preheat whey protein concentrate* (WPC) dapat menurunkan *hardness* biskuit secara signifikan, pada konsentrasi protein 15% tanpa *preheat* memiliki *hardness* 2164,37 gf, sedangkan pada konsentrasi protein yang sama dengan modifikasi *preheat* nilai *hardness* menurun menjadi 1650,75 gf (Andoyo *et al.* 2023).

Berdasarkan hasil analisis *stiffness* pada Tabel 3 dapat dilihat nilai *stiffness* tertinggi yaitu 9249,66 gf/s yang merupakan biskuit dengan kandungan protein 16% dengan suhu *preheat* 80 °C, biskuit tersebut memiliki kandungan protein tertinggi dibandingkan dengan *run* lainnya. Biskuit dengan nilai *stiffness* terendah (5343,64 gf/s) berada pada *run* 13 dengan kandungan protein 11,5% dan *preheat* pada suhu 80 °C, *run* 13 merupakan salah satu dari 5 *center point* namun hasil *stiffness* pada *center point* lainnya bervariasi. *Stiffness* biskuit dipengaruhi berbagai faktor di antaranya, kandungan biskuit seperti protein, kadar

abu, serat, kadar air, dan sifat gelatinisasi pati, serta proses pembuatan biskuit (Azaripour dan Abbasi 2019). Kadar air berbanding terbalik dengan *stiffness* biskuit, sehingga menurunnya kadar air pada saat pemanggangan akan menghasilkan biskuit yang lebih kaku (Nandiyanto *et al.* 2022). Berdasarkan hal tersebut jika protein ditambahkan kemudian akan menurunkan kadar air bebas pada adonan sehingga *stiffness* biskuit meningkat. *Stiffness* yang merupakan kekakuan biskuit juga berhubungan dengan ketebalan yang dipengaruhi oleh berbagai reaksi dalam adonan biskuit seperti gelatinisasi pati, denaturasi protein dan penurunan kadar air (González *et al.* 2018). Nilai *hardness* dan *stiffness* biskuit tidak berhubungan secara langsung karena *stiffness* juga dipengaruhi oleh waktu biskuit mencapai *peak force*. Walaupun biskuit memiliki nilai *hardness* yang tinggi namun semakin lama waktu yang diperlukan untuk mencapai *peak force*, maka nilai *stiffness* akan semakin rendah.

Porositas dan dimensi fraktal biskuit

Hasil analisis nilai rata-rata porositas dan dimensi fraktal biskuit tinggi protein berbasis konsentrasi protein kedelai dapat dilihat pada Tabel 4. Jika dilihat berdasarkan konsentrasi proteinnya, semakin tinggi kandungan protein maka porositas semakin rendah, seperti pada suhu *preheat* 80 °C biskuit dengan konsentrasi protein 7% memiliki porositas 60,85%, lalu konsentrasi protein 11,5% memiliki rata-rata porositas 51,93% dan konsentrasi protein 16% memiliki porositas 51,51%.

Penurunan porositas seiring dengan penambahan konsentrasi protein juga sesuai dengan penelitian Huda *et al.* (2023), yaitu konsentrasi 15% memiliki jumlah pori lebih sedikit dengan ukuran yang lebih kecil sehingga penampang biskuit lebih padat. Kemudian jika dilihat berdasarkan suhu *preheat* porositas biskuit memiliki kecenderungan semakin meningkat seiring dengan peningkatan suhu *preheat*. Seperti yang dapat dilihat pada konsentrasi 11,5% pada suhu 70 °C memiliki porositas sebesar 50,20%, kemudian pada suhu 80 °C meningkat menjadi 51,93% dan pada suhu 90 °C menjadi 74,14%. Namun pada konsentrasi 8,32% *preheat* dengan suhu 72,93°C memiliki porositas jauh lebih tinggi dibandingkan dengan suhu *preheat* 87,07°C. Biskuit tinggi protein berbasis WPC yang mengandung 11, 13, dan 15% protein memiliki porositas 18,94; 16,14; dan 19,66% (Andoyo *et al.* 2023). Rata-rata porositas biskuit yang jauh berbeda dengan penelitian ini diduga karena adanya perbedaan bahan dan proses pembuatan. Pada penelitian Andoyo *et al.* (2023) menggunakan bahan baku WPC dan tepung terigu, kemudian *preheat* dilakukan pada suhu 90 °C selama 15 menit. Pada penelitian ini *preheat* dilakukan selama 30 menit dan terdapat substitusi tepung terigu dengan maizena.

Tabel 4. Nilai rata-rata porositas dan dimensi fraktal biskuit tinggi protein

Sampel	Konsentrasi Protein (%)	Suhu Preheat (°C)	Porositas (%)	Dimensi Fraktal
Run 1	8,32	72,93	84,53	2,701
Run 2	11,50	80,00	70,02	2,705
Run 3	11,50	80,00	53,81	2,722
Run 4	11,50	80,00	43,83	2,771
Run 5	16,00	80,00	51,51	2,753
Run 6	11,50	90,00	74,14	2,713
Run 7	7,00	80,00	60,85	2,734
Run 8	11,50	80,00	57,58	2,743
Run 9	11,50	70,00	50,20	2,772
Run 10	14,68	87,07	52,24	2,761
Run 11	8,32	87,07	44,92	2,760
Run 12	14,68	72,93	42,11	2,795
Run 13	11,50	80,00	34,40	2,781

Kecenderungan hasil yang berbeda diduga dapat terjadi akibat pemotongan penampang melintang (*crumb*) yang kurang merata sehingga bagian yang tertutup bayangan menjadi dianggap sebagai pori-pori yang meningkatkan nilai porositas. Selain itu beberapa gambar yang diambil memiliki tingkat kecerahan lebih tinggi sehingga berpengaruh terhadap segmentasi gambar. Berbeda dengan hasil pengujian porositas, nilai dimensi fraktal (Df) dari 13 *run* memiliki rentang yang sangat kecil yaitu antara 2,701–2,795. Nilai Df tersebut dimiliki oleh biskuit dengan suhu *preheat* yang sama yaitu 72,93 °C, pada konsentrasi 8,32% memiliki Df 2,701 sedangkan biskuit dengan kandungan protein lebih tinggi (14,68%) memiliki nilai Df 2,795. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa pada suhu *preheat* yang sama, semakin tinggi kandungan protein maka nilai Df semakin tinggi. Rentang dimensi fraktal yang sempit juga serupa dengan penelitian Huda *et al.* (2023), biskuit dengan kandungan protein 11, 13, dan 15% memiliki nilai Df secara berturut-turut 2,54; 2,55; dan 2,50. Namun kecenderungan data yang dimiliki berbeda, yaitu nilai Df menurun seiring dengan penambahan konsentrasi protein kedelai. Hal tersebut diduga dapat terjadi karena perbedaan waktu dan suhu *preheat* serta adanya substitusi bahan yang berbeda. Nilai Df merupakan tingkat ketidakteraturan pori-pori atau kekasaran (*roughness*) pori-pori biskuit, semakin tinggi nilai Df maka pori biskuit semakin tidak seragam. Hasil pengujian ini sesuai dengan pernyataan Yang *et al.* (2022) bahwa biskuit kontrol memiliki pori yang lebih seragam, kemudian dengan penambahan tepung kedelai hitam menyebabkan munculnya rongga besar sehingga struktur pori menjadi kurang homogen. Nilai Df yang tinggi juga dapat diartikan porositas yang semakin rendah atau rongga biskuit yang semakin pejal. Hal tersebut sesuai dengan karakteristik *hardness* biskuit tinggi protein yang dihasilkan, semakin tinggi kandungan protein maka porositas biskuit semakin rendah sehingga menyebabkan biskuit semakin keras.

Formula biskuit tinggi protein tervalidasi

Model optimasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu *central composite design*. Analisis data dari

respon yang diinputkan akan menghasilkan persamaan matematis yang ditampilkan dalam grafik sebagai permukaan respon. Berdasarkan ANOVA yang diperoleh keempat respon (*hardness*, *stiffness*, porositas, dan dimensi fraktal) terpilih model interaksi 2 faktor (2FI). Model interaksi 2 faktor menggunakan bentuk persamaan 2, y merupakan respon, β_0 adalah *intercept*, kemudian x_1 dan x_2 adalah faktor.

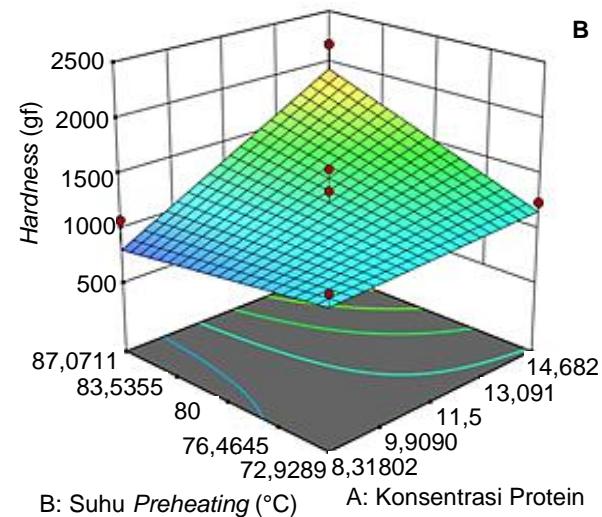
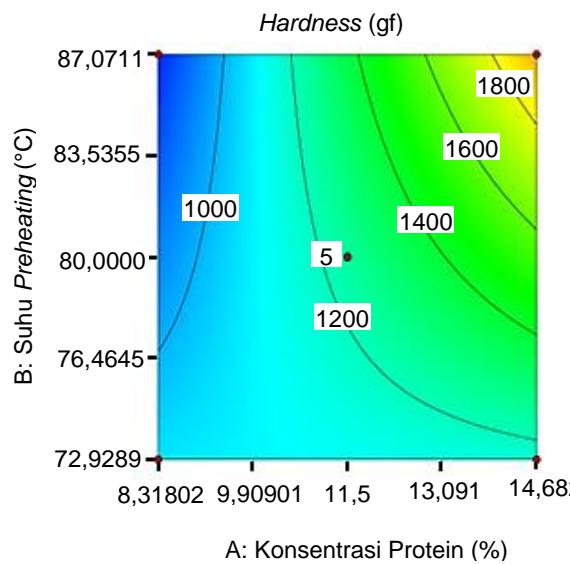
Model untuk respon *stiffness*, porositas, dan dimensi fraktal tidak signifikan karena memiliki $p-value > (\alpha)$ 0,05. Berdasarkan nilai p tersebut dapat diketahui model yang tidak signifikan disebabkan oleh *noise*, sehingga terdapat peluang nilai F yang besar. Pada respon *stiffness* terdapat 17,88% peluang, respon porositas memiliki 20,23% peluang, dan respon dimensi fraktal memiliki 17,40% peluang. Hubungan antara respon *stiffness*, dimensi fraktal, dan porositas biskuit terhadap konsentrasi protein dan suhu *preheat* juga dinilai tidak signifikan berdasarkan $p-value > (\alpha)$ 0,05. Nilai *lack of fit* dari keempat model menunjukkan hasil yang tidak signifikan sehingga model tetap dapat digunakan karena ketidaktepatan model tidak signifikan. Model tersebut menghasilkan persamaan respon yang dapat digunakan untuk memprediksi nilai respon dengan mengondisikan faktor konsentrasi protein dan suhu *preheat*. Berikut ini merupakan model persamaan yang diperoleh, dengan A= konsentrasi protein (%), dan B= suhu *preheating* (°C).

Hardness= 9328,90508-826,57627A-114,84821B
+11,52967AB (3)

Porositas= 579,63132-46,12347A-6,28016B
 +0,552822AB (5)

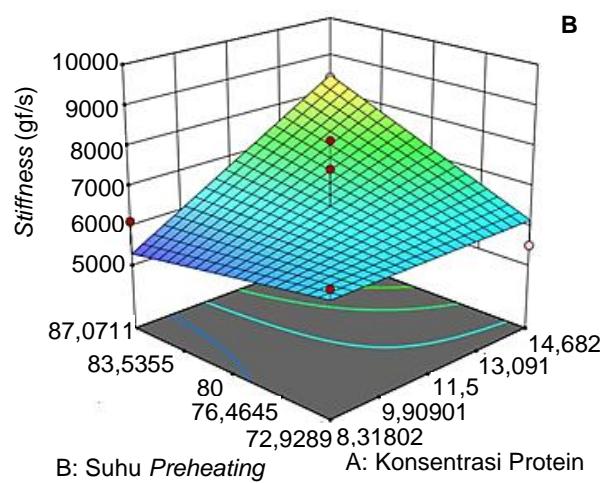
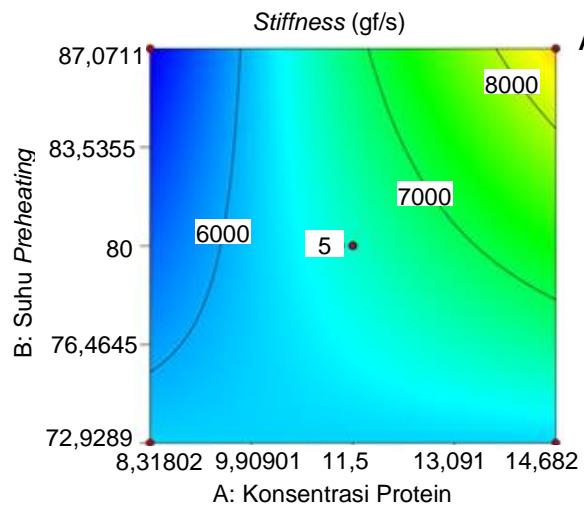
Masing-masing respon akan menghasilkan kurva hubungan antara pengaruh dua faktor (konsentrasi protein dan suhu *preheat*) terhadap respon yang dihasilkan. Kode warna mengindikasikan tingkat nilai respon, warna biru menunjukkan respon minimal dan warna merah menunjukkan respon yang maksimal. Hubungan antara konsentrasi protein dan suhu *pre-heating* terhadap masing-masing respon dapat ditampilkan dalam bentuk kurva tiga dimensi dan kontur seperti pada Gambar 1, 2, 3, dan 4.

Berdasarkan analisis optimasi yang dilakukan *software* memberikan 72 jenis solusi dengan nilai *desirability* 1. Solusi dipilih berdasarkan konsentrasi protein yang cukup tinggi namun bukan kadar paling tinggi dari *range* yang dimasukkan karena kadar protein sangat berpengaruh terhadap tekstur biskuit. Suhu *preheat* yang direkomendasikan merupakan suhu terendah karena ketika optimasi dipilih kriteria suhu terendah untuk menghemat energi yang diperlukan dalam proses produksi. Untuk mengetahui validitas respon dari model yang diberikan, kemudian respon diujikan kembali dengan mengondisikan faktor sesuai dengan formula optimum yang direkomendasikan oleh *Design Expert*.



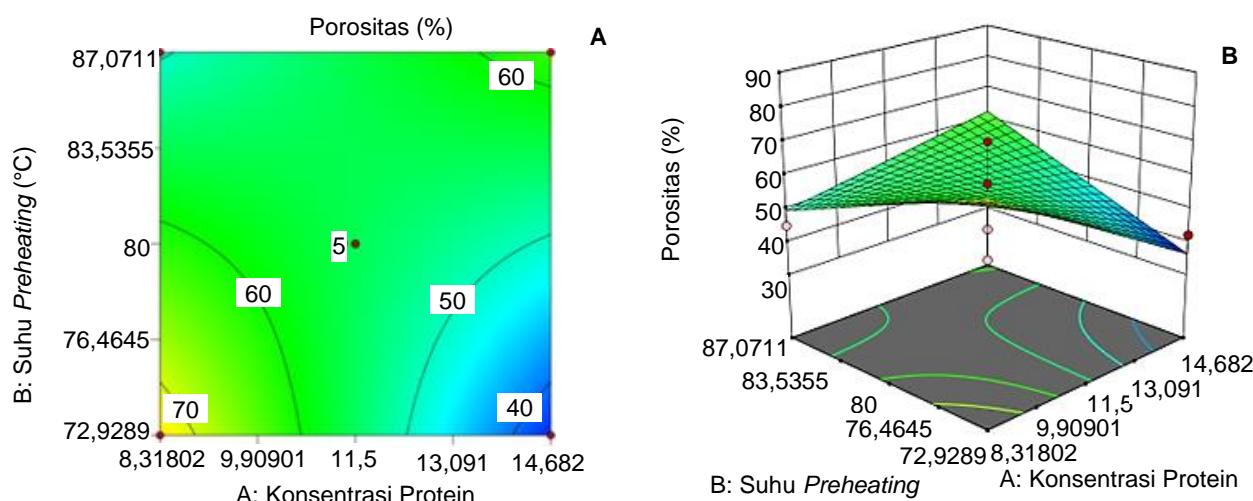
Keterangan: A= grafik kontur, B= grafik 3D

Gambar 1. Grafik 3D dan kontur respon *hardness* berdasarkan konsentrasi protein dan suhu *preheating* konsentrat protein kedelai



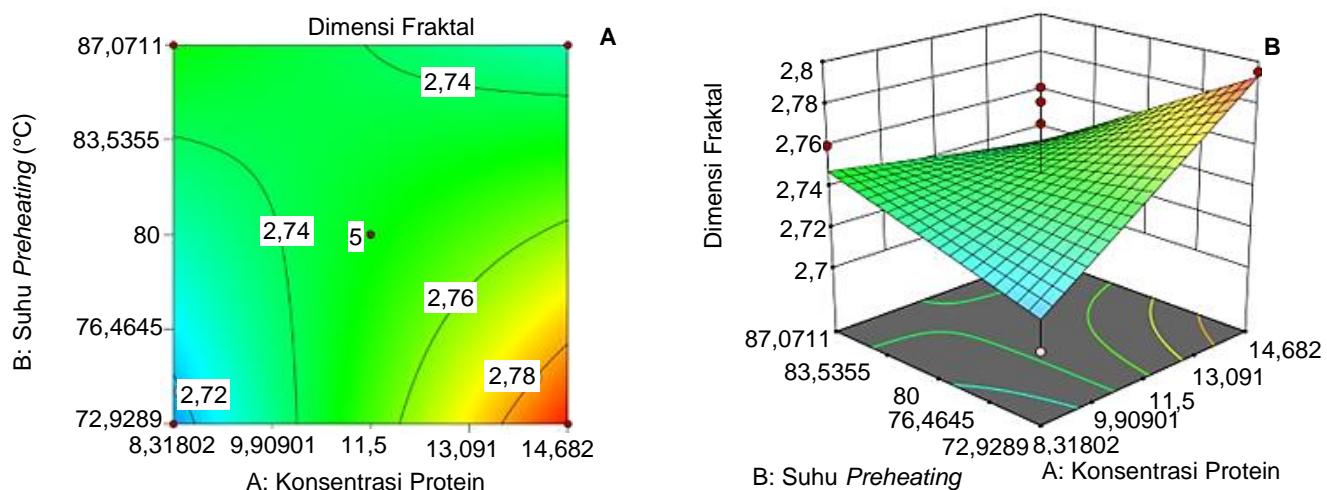
Keterangan: A= grafik kontur, B= grafik 3D

Gambar 2. Grafik 3D dan kontur respon *stiffness* berdasarkan konsentrasi protein dan suhu *preheating* konsentrat protein kedelai



Keterangan: A= grafik kontur, B= grafik 3D

Gambar 3. Grafik 3D dan kontur respon porositas berdasarkan konsentrasi protein dan suhu *preheating* konsentrat protein kedelai



Keterangan: A= grafik kontur, B= grafik 3D

Gambar 4. Grafik 3D dan kontur respon dimensi fraktal berdasarkan konsentrasi protein dan suhu *preheating* konsentrat protein kedelai

Berdasarkan persentase validitas pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa tingkat keakuratan model dalam memprediksi respon cukup tinggi sehingga model dapat digunakan untuk rancangan optimasi biskuit tinggi protein serta memprediksi nilai respon dengan mengondisikan konsentrasi protein dan suhu *preheating*. Hasil penelitian ini dapat dijadikan rujukan untuk proses pengembangan atau produksi biskuit tinggi protein dengan mempertimbangkan karakteristik fisik, khususnya tekstur biskuit (*hardness*, *stiffness*, dimensi fraktal, porositas), sehingga dapat digunakan untuk menghasilkan biskuit dengan karakteristik fisik tertentu sekaligus mengoptimalkan kandungan protein pada biskuit.

KESIMPULAN

Optimasi menghasilkan biskuit tinggi protein berbasis konsentrasi protein kedelai dengan konsentrasi 12,61% protein dan *preheating* konsentrasi protein kedelai pada suhu 72,93 °C. Biskuit formula optimum tersebut memiliki nilai *hardness* sebesar 1075,07 gf, *stiffness* 5891,33 gf/s, porositas 44,73% dan dimensi fraktal 2,8016. Berdasarkan nilai prediksi RSM dan nilai aktual hasil analisis model masing-masing respon memiliki nilai validitas cukup tinggi (>90%), sehingga model dapat digunakan untuk memprediksi nilai respon *hardness*, *stiffness*, dimensi fraktal, atau porositas biskuit dengan mengondisikan konsentrasi protein biskuit dan suhu *preheat* konsentrasi protein kedelai.

Tabel 5. Hasil validasi respon prediksi RSM terhadap respon aktual

Konsentrasi Protein (%)	Suhu Preheat (°C)	Respon	Prediksi	Aktual	Validitas (%)
12,61	72,93	Hardness	1133,14	1075,07	94,87
		Stiffness	6157,4	5891,33	95,68
		Porositas	48,3817	44,73	92,45
		Dimensi fraktal	2,76786	2,8016	98,80

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah IS, Kamaruddin I, Siburian, UD, Wahyuni LET, Amanda E, Agustina M, Astuti ID, Rahmawati, Kartikasari MND. 2022. Gizi Kesehatan. Sari M, Sahara RM, editor. Padang: PT. Global Eksekutif Teknologi.
- Andoyo R, Rahmasari SD, Moody SD, Nurhasanah S. 2023. The Effect of Preheated Whey Protein Concentrate Addition on High Protein Biscuit. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. doi:10.1088/1755-1315/1230/1/012167
- Azaripour A, Abbasi H. 2019. Effect of type and amount of modified corn starches on qualitative properties of low-protein biscuits for phenylketonuria. *Food Sci Nutr.* 8 (1): 281–290. doi: 10.1002/fsn3.1304
- [BKP] Badan Ketahanan Pangan Kementerian Pertanian. 2021. Direktori Perkembangan Konsumsi Pangan Tahun 2021. ISBN: 9788578110796.
- Devi IC, Ardiningsih P, Idiawati N. 2019. Kandungan gizi dan organoleptik cookies tersubstitusi tepung kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca* Linn). *J Kimia Khatulistiwa.* 8 (1): 71–77.
- Farzana T, Mohajan S. 2015. Effect of incorporation of soy flour to wheat flour on nutritional and sensory quality of biscuits fortified with mushroom. *Food Sci Nutr.* 3 (5): 363–369. doi:10.1002/fsn3.2228
- Fellows PJ. 2017. Properties of food and principles of processing. Food Processing Technology, hal. 3–200. Elsevier. doi:10.1016/B978-0-08-100522-4.00001-8
- González JDT, Gallo RT, Correa DA, Gallo-García LA, Castillo PM. 2018. Instrumental assessment of textural parameters of colombian lemon biscuits. *Contemp Eng Sci.* 11 (22): 1085–1102. doi: 10.12988/ces.2018.8391
- Huda S, Taira Y, Rahimah S, Nurhasanah S. 2023. The effect of modified (preheated) soybean concentrate powder on high protein biscuit. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. doi:10.1088/1755-1315/1230/1/012166
- Kitabatake N, Tahara M, Doi E. 2014. Thermal denaturation of soybean protein at low water contents. *Agric Biol Chem.* 54 (9): 2205–2212. doi:10.1080/00021369.1990.10870318
- Komeroski MR, de Oliveira VR. 2023. Influence of the amount and type of whey protein on the chemical, technological, and sensory quality of pasta and bakery products. *Foods.* 12 (14): 2801. doi:10.3390/foods12142801
- Leiva-Valenzuela GA, Quilaqueo M, Lagos D, Estay D, Pedreschi F. 2018. Effect of formulation and baking conditions on the structure and development of non-enzymatic browning in biscuit models using images. *J Food Sci Technol.* 55 (4): 1234–1243. doi:10.1007/s13197-017-3008-7
- Lestari TI, Nurhidajah, Yusuf M. 2018. Kadar protein, tekstur, dan sifat organoleptik cookies yang disubstitusi tepung ganyong (*Canna edulis*) dan tepung kacang kedelai (*Glycine max* L.). *J Pangan Gizi.* 8(6): 53–63.
- Nadhifah EI, Suhartiningsih, Afifah CAN, Purwidiani N. 2020. Pengaruh proporsi tepung garut dan tepung beras merah terhadap kesukaan sifat organoleptik biskuit durian. *e-Journal Boga.* 9 (2): 736–744.
- Nandiyanto ABD, Ragadhita R, Ana A, Hammouti B. 2022. Effect of starch, lipid, and protein components in flour on the physical and mechanical properties of indonesian biji ketapang cookies. *Int J Technol.* 13 (2): 432–443. doi:10.14716/ijtech.v13i2.5208
- Pradipta DRE, Andoyo R. 2020. Optimization formulation of high protein biscuit made from denatured whey protein concentrate and sweet potato flour supplemented with mineral as emergency food. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. doi:10.1088/1755-1315/443/1/012066
- Puspita D, Harini N, Winarsih S. 2021. Karakteristik kimia dan organoleptik biskuit dengan penambahan tepung kacang kedelai (*Glycine max*) dan tepung kulit buah naga merah (*Hylocereus costaricensis*). *Food Technol Halal Sci J.* 4(1): 52–65. doi:10.22219/fths.v4i1.15627
- Saberi F, Kouhsari F, Abbasi S, Rosell CM, Amini M. 2021. Effect of baking in different ovens on the quality and structural characteristics of saltine crackers. *Int J Food Sci Technol.* 56 (12): 6559–6571. doi:10.1111/ijfs.15372

Tang X, Liu J. 2017. A comparative study of partial replacement of wheat flour with whey and soy protein on rheological properties of dough and cookie quality. *J Food Qual.* 1: 1–10. doi:10.1155/2017/2618020

Yang L, Wang S, Zhang W, Zhang H, Guo L, Zheng S, Du C. 2022. Effect of black soybean flour particle size on the nutritional, texture and phy-

sicochemical characteristics of cookies. *LWT-Food Sci Technol.* 164: 1–10. doi: 10.1016/j.lwt.2022.113649

JMP-08-23-29-Naskah diterima untuk ditelaah pada 11 Agustus 2023. Revisi makalah disetujui untuk dipublikasi pada 22 Juni 2024. Versi Online: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jmpi>