

PROFIL FLAVONOID, FENOLIK, TANIN PADA *FOODBAR* OKARA EDAMAME UNTUK REMAJA OBESITAS

FLAVONOID, PHENOLIC, TANNIN PROFILE OF OKARA-EDAMAME FOODBAR FOR OBESE ADOLESCENTS

Karera Aryatika¹, Leny Eka Tyas Wahyuni¹

(Email/Hp: karera15@farmasi.unmul.ac.id / 081259102364)

¹Prodi Sarjana Gizi, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Mulawarman

ABSTRAK

Pendahuluan: Obesitas pada remaja memicu peradangan ringan dan stres oksidatif, sehingga camilan bergizi dengan potensi antioksidan penting sebagai pendamping perubahan gaya hidup. *Foodbar* berbasis okara–edamame sebagai alternatif pilihan karena menyumbang serat, protein nabati, dan polifenol. **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan untuk memetakan profil flavonoid, total fenolik, dan tanin pada *foodbar* okara–edamame. **Bahan dan Metode:** RAL tiga formulasi (FBO1–FBO3). Uji hedonik pada 30 panelis menggunakan skala 1–9 (1 sangat tidak suka; 9 sangat suka); diterima bila rerata keseluruhan $\geq 6,0$ dan $\geq 70\%$ skor ≥ 6 . Formulasi terbaik (F3) dianalisis kimia pada 3 batch independen (unit analisis per-batch; triplo analitik). Flavonoid (Folin–Ciocalteu, 765 nm; mg GAE/g), Total Fenolik (AlCl₃, 415 nm; mg QE/g), tanin (vanillin–HCl, 500 nm; mg CE/g). Uji statistik menggunakan ANOVA per-batch, Bonferroni p-adjusted, juga ditambahkan η^2/ω^2 dan Hedges' g. **Hasil:** F3 memiliki daya terima tertinggi dan ditetapkan untuk uji kimia; kadar flavonoid $0,024 \pm 0,002$ mg/g QE, total fenolik $0,015 \pm 0,004$ mg/g GAE, dan tanin $0,013 \pm 0,001$ mg/g, dengan variasi antarulangan kecil hingga sedang, menandakan presisi memadai. Dibandingkan produk kedelai terfermentasi *foodbar* memiliki kandungan lebih rendah, sehingga polifenol bersifat komplementer, tanin rendah mendukung penerimaan rasa. **Kesimpulan:** *Foodbar* okara–edamame tepat digunakan sebagai camilan fungsional berbasis serat dan protein dengan polifenol komplementer. Selanjutnya diperlukan uji proksimat, optimalisasi proses pengolahan dan uji daya simpan untuk meningkatkan mutu dan kualitas produk.

Kata kunci : *Foodbar* okara–edamame; flavonoid; fenolik; tanin; obesitas.

ABSTRACT

Introduction: Adolescent obesity is associated with low-grade inflammation and oxidative stress, making nutrient-dense snacks with antioxidant potential relevant adjuncts to lifestyle change; okara–edamame foodbars are promising because they provide dietary fiber, plant protein, and polyphenols. **Aim:** Profiling of flavonoids, total phenolics, and tannins in an okara–edamame foodbar **Methods:** Completely randomized design (CRD) with three formulations (FBO1–FBO3). A 30-panelist hedonic test (9-point scale; 1=dislike extremely, 9=like extremely) defined acceptance as overall mean ≥ 6.0 with $\geq 70\%$ scores ≥ 6 . The best formulation (FBO3) underwent chemistry on three independent batches (unit of analysis = per-batch mean; triplicate analytical repeats). Total phenolics were quantified by Folin–Ciocalteu at 765 nm (mg GAE/g), total flavonoids by AlCl₃ at 415 nm (mg QE/g), and tannins by vanillin–HCl at 500 nm (mg CE/g). Statistics used per-batch ANOVA with Bonferroni-adjusted p, and reported η^2/ω^2 and Hedges' g. **Results:** F3 achieved the highest acceptability and was used for chemical testing; measured values were 0.024 ± 0.002 mg/g QE (flavonoids), 0.015 ± 0.004 mg/g GAE (total phenolics), and 0.013 ± 0.001 mg/g (tannins), with small-to-moderate variation indicating adequate precision. Compared with fermented soy products, contents were

lower; thus, polyphenols in this bar are complementary, while low tannins support taste acceptance. **Conclusion:** Okara–edamame foodbars are best positioned as fiber–protein–based functional snacks with complementary polyphenols; further proximate analyses, process optimization, and shelf-life testing are recommended to enhance overall product quality.

Keywords : *Foodbar* okara–edamame; flavonoid; fenolik; tanin; obesity.

PENDAHULUAN

Obesitas remaja merupakan masalah kesehatan masyarakat yang kian mengemuka secara global maupun nasional. Kelebihan berat badan pada masa remaja berkorelasi dengan peningkatan risiko penyakit metabolik dan kardiovaskular di usia dewasa, sekaligus menimbulkan beban biaya kesehatan yang substansial.¹

Di Indonesia, prevalensi kelebihan berat badan dan obesitas remaja menunjukkan tren meningkat dalam satu dekade terakhir, dan di beberapa provinsi seperti Kalimantan Timur angkanya dilaporkan lebih tinggi daripada rerata nasional.² Pada remaja 13–15 tahun di Kalimantan Timur, kelebihan berat badan berkisar antara 13,6% dan obesitas berkisar 5,0%, sehingga total prevalensi kelebihan berat badan (*overweight* dan *obese*) berkisar total 18,6%, lebih tinggi dari total prevalensi nasional 17%.³ Sedangkan prevalensi kelebihan berat badan pada remaja usia 16–18 tahun, mencatat kelebihan berat badan sekitar 8,2% dan obesitas 1,6%, dengan total prevalensi kelebihan berat badan (*overweight* dan *obese*) sekitar 9,8%, menunjukkan sedikit lebih rendah dibanding angka prevalensi nasional yaitu 12,1%.³ Secara patofisiologis, obesitas ditandai keadaan inflamasi derajat rendah yang melibatkan adipokin dan stres oksidatif, sehingga pendekatan dietetik yang tidak hanya memperbaiki keseimbangan energi tetapi juga memodulasi status oksidatif menjadi relevan.^{4,5}

Seiring tingginya konsumsi camilan padat energi dan rendah serat di kalangan remaja, diperlukan alternatif camilan fungsional yang praktis, padat gizi, dan berpotensi mendukung pengendalian berat badan. Salah satu opsi yang menjanjikan adalah *foodbar* berbasis tepung ampas tahu (okara) dengan penambahan edamame (*Glycine max*). Okara adalah residu padat dari pembuatan tahu dan masih menyimpan protein dan serat yang berarti, sehingga bernilai untuk difortifikasi menjadi produk pangan.^{6,7}

Edamame sendiri kaya protein nabati dan serat, serta berperan seperti kedelai dan turunannya yang mengandung senyawa bioaktif golongan polifenol (termasuk isoflavan/flavonoid, fenolat, dan tanin) berpotensi berperan sebagai antioksidan dan modulator inflamasi ringan terkait obesitas.⁸ Secara bioaktif, kombinasi okara dan edamame menghadirkan serat pangan (dominan tidak larut), protein nabati, dan polifenol. Kandungan pada kedelai terutama isoflavan (genistin/daidzin dan aglikonnya, genistein/daidzein) yang berpotensi menurunkan stres oksidatif dan memodulasi respons inflamasi derajat rendah terkait obesitas.⁹ Penelitian sebelumnya secara klinik dan pra-klinik menunjukkan konsumsi pangan kedelai/bioaktif kedelai dapat berkontribusi pada perbaikan sebagian indikator kardiometabolik dan inflamasi, meski bukti masih heterogen dan sangat dipengaruhi oleh bentuk pangan (utuh vs suplemen) serta proses pengolahan. Proses pengolahan dengan teknologi seperti ekstrusi atau fermentasi dapat mengubah profil dan ketersediaan fenolik sehingga kadang meningkatkan kandungan atau aktivitas antioksidan, oleh karena itu hasil pengukuran data perlu ditautkan dengan parameter proses.^{10,11,12}

Pengukuran total fenolik (sering direpresentasikan sebagai mg ekuivalen asam galat/100 g), total flavonoid (mg ekuivalen kuersetin/100 g), dan tanin (mg ekuivalen katekin atau asam tanat/100 g) lazim digunakan sebagai indikator kapasitas antioksidan potensial pada bahan/pangan berbasis kedelai.¹³ Profil ini relevan untuk memetakan kontribusi senyawa bioaktif terhadap mutu fungsional produk, menginformasikan optimasi formulasi (proporsi okara–edamame, proses termal, dan bahan pendukung), dan menyediakan dasar bagi evaluasi lanjutan seperti kapasitas antioksidan in vitro dan keterkaitannya dengan parameter sensori maupun (secara bertahap) indikator glikemik. Dengan demikian, kajian ini diharapkan memberikan landasan ilmiah komprehensif bagi rekayasa *foodbar* okara–edamame yang tidak hanya tinggi serat dan rendah indeks glikemik, tetapi juga kaya komponen fenolik yang relevan bagi kesehatan remaja dengan obesitas.

Pemilihan kombinasi okara dan edamame dilakukan karena keunggulan gizi, komponen bioaktif, teknologi, dan sensori yang relevan dengan tujuan produk. Pertama, dari sisi target fisiologis, *foodbar* tinggi protein dan serat cenderung meningkatkan kenyang lebih lama dan membantu pengaturan asupan sehingga lebih cocok dikonsumsi sebagai camilan bagi remaja dibanding dengan camilan yang beredar dipasaran yang tinggi gula dan lemak dengan demikian kombinasi protein edamame dan serat okara selaras dengan sasaran intervensi remaja obesitas. Kedua, dari sisi bioaktif, edamame (kedelai muda) menyumbang isoflavon (genistein/daidzein) yang pada penelitian terkini berkaitan dengan pencegahan sindrom metabolik menunjukkan potensi perbaikan profil lipid, glikemik, dan inflamasi pada tubuh remaja terutama yang mengalami obesitas. Profil antioksidan ini lebih khas pada kedelai/edamame dibanding kacang hijau yang didominasi flavon C-glikosida (vitexin/isovitexin).^{14,15,16} Ketiga, dari sisi glikemik dan preferensi sensori, edamame memiliki kandungan karbohidrat yang relatif rendah disertai GI yang rendah, sekaligus dapat memberikan rasa lebih manis, tekstur lebih empuk, dan *beany-note* lebih ringan daripada kedelai biasa, oleh karena itu karakter ini dapat meningkatkan penerimaan konsumen muda pada produk yang dibuat.^{17,18,19,20} Keempat, dibandingkan beberapa alternatif *legume* (misal kacang hijau) yang mengandung tanin sehingga dapat memberi astringensi/*aftertaste*,²¹ sedangkan formulasi edamame-okara cenderung mempertahankan tannin rendah sehingga lebih ramah sensori untuk *foodbar* dengan pertimbangan ini penting dipertimbangkan untuk produk makanan dengan segmen remaja.

Pemilihan okara yang merupakan limbah produksi makanan berbahan baku kedelai merupakan salah satu upaya yang berkelanjutan untuk membuat produk makanan yang ramah lingkungan namun, memiliki nilai gizi yang tinggi. Pemanfaatan okara merupakan strategi *up-cycling (circular economy)* yang memperbaiki jejak lingkungan sekaligus menurunkan biaya bahan, sehingga dapat memudahkan produsen dalam mengadakan bahan baku produk.²² Selain itu, okara masih memiliki kandungan serat tidak larut dengan daya ikat air tinggi sehingga dapat menurunkan densitas energi, memperbaiki tekstur, dan memfasilitasi pembentukan struktur *foodbar* yang dihasilkan.^{23,24,25} Penambahan okara dalam formulasi food bar pada penelitian ini bukan hanya memaksimalkan nilai gizi berbasis pangan lokal, akan tetapi juga berkontribusi pada proses reduksi limbah dan efisiensi sumber daya di sepanjang rantai pasok kedelai.

Secara ringkas, penelitian ini bertujuan menentukan profil flavonoid, total fenolik, dan tanin pada *foodbar* berbasis tepung ampas tahu dengan penambahan edamame, sebagai langkah strategis dalam pengembangan camilan fungsional yang lebih aman, bernilai gizi, dan

berpotensi mendukung manajemen obesitas remaja melalui pendekatan pangan berbasis bukti (*evidence based functional food*).

BAHAN DAN METODE

Studi ini merupakan eksperimen laboratorik dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pada tiga formulasi *foodbar* okara-edamame (FBO-1 s.d. FBO-3). Kemudian produk *foodbar* akan dilakukan uji daya terima, produk yang memiliki daya terima paling tinggi oleh panelis yang akan dilanjutkan untuk pengujian kandungan. Luaran utama adalah total fenolik, total flavonoid, dan total tanin. Kegiatan dilaksanakan sekitar ± 3 bulan (Agustus–November) 2023 di Laboratorium Farmaka Tropika, Fakultas Farmasi, Universitas Mulawarman dan Peneliti melakukan pengujian proksimat dan zat gizi lainnya di laboratorium *Center for Development of Advanced Science and Technology* (CDAST) Universitas Jember. Penelitian ini juga memiliki izin etik penelitian oleh Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember dengan nomor etik 2314/UN25.8/KEPK/DL/2023.

Bahan utama penelitian tepung ampas tahu (okara) dan edamame; bahan pendukung: tepung terigu, gula, madu, telur, margarin, kismis, dan vanilla essence. Untuk penetapan polifenol pada studi ini ditambahkan reagen: Folin–Ciocalteu, Na_2CO_3 , AlCl_3 , NaNO_2 , NaOH (untuk tahap alkalisasi TFC), vanillin–HCl (uji tanin terkondensasi), serta standar asam galat, kuersetin, (+)-katekin, dan pelarut etanol 70–80%. Alat pembuatan *foodbar* meliputi timbangan analitik, steamer, grinder, roller, baskom, pisau, sendok, spatula, loyang, oven, sedangkan alat uji organoleptik meliputi piring, label, kuesioner, dan alat tulis. Alat pengujian bioaktif pada penelitian ini adalah spektrofotometer UV-Vis (AAS) beserta kuvet dan mikropipet untuk pembacaan TPC/TFC/tanin.

Tiga formulasi (FBO1–FBO3) diuji oleh 30 panelis tidak terlatih dalam ruang uji terkendali. Sampel disajikan berurutan secara acak menggunakan kode tiga digit, dengan bilasan air di antara sampel. Panelis menilai warna, aroma, rasa, tekstur, dan kesukaan keseluruhan menggunakan skala hedonik 1–9 dengan jangkar: 1 = sangat tidak suka, 5 = netral, 9 = sangat suka. Suatu formulasi dinyatakan diterima bila rerata skor keseluruhan $\geq 6,0$ dan $\geq 70\%$ panelis memberi skor ≥ 6 . Pemilihan formulasi terpilih adalah yang memiliki rerata keseluruhan tertinggi dan memenuhi kriteria pada seluruh atribut. Data diuji normalitas dan homogenitas varians kemudian perbandingan antar-formulasi menggunakan one-way ANOVA dengan post-hoc Bonferroni (p-adjusted) atau Kruskal–Wallis dengan Dunn–Bonferroni bila asumsi tidak terpenuhi. Hasil dilaporkan sebagai mean $\pm$ SD.

Setelah tiga formulasi awal (FBO-1 s.d. FBO-3) diuji daya terima ($n = 30$ panelis) kemudian formulasi F3 berdaya terima tertinggi yang dilanjutkan ke uji kimia (TPC/TFC/tanin). Uji kimia FBO-3 dilakukan pada 3 batch produksi independen (jumlah batch = 3) yang dibuat pada hari berbeda dengan bahan baku dan proses yang sama. Ukuran batch per produksi adalah 200 g adonan, menghasilkan 20 potong bar (≈ 30 g/saji). Dari tiap batch, 10 potong dipilih acak, dikomposit & dihomogenkan kemudian dari homogenat ini diambil 1,00 g (bk) untuk ekstraksi. Setiap parameter diukur triplo ($r = 3$) pada ekstrak yang sama. Formulasi *foodbar* terpilih dihaluskan dan diayak (mesh antara 40–60) hingga homogen. Kemudian ditimbang $\pm 1,00$ g (bk), diekstraksi dengan etanol 70–80% menggunakan shaker/sonikasi (± 30 menit), disentrifugasi dan supernatan dikumpulkan, dilanjutkan ekstraksi diulang 2 kali lalu supernatan digabung dan disimpan gelap pada suhu 4 °C. Jika diperlukan

(formulasi lebih berlemak), dapat diawali defatting cepat (n-heksana), kemudian pelarut diuapkan sebelum ekstraksi fenolik.

Metode Folin–Ciocalteu (FC dilakukan jeda 5 menit kemudian ditambahkan dengan Na_2CO_3 7,5% lalu di inkubasi gelap 30 menit), baca spektrofotometer UV-Vis (AAS) dengan panjang gelombang 765 nm, hasil sebagai mg GAE/g bk terhadap kurva asam galat. Total flavonoid (TFC) dengan metode AlCl_3 (urutan dimulai dari pencampuran antara NaNO_2 dengan AlCl_3 dan NaOH), baca spektrofotometer UV-Vis (AAS) dengan panjang gelombang 415 nm, hasil mg QE/g bk terhadap kurva kuersetin. Total tanin dilakukan dengan metode Vanillin–HCl dilakukan dengan inkubasi ± 20 menit gelap, baca spektrofotometer UV-Vis (AAS) dengan panjang gelombang 500 nm, hasil mg CE/g bk terhadap kurva (+)-katekin.

Untuk tiap parameter kimia, (total pembacaan diperoleh dengan cara mengalikan n_{batch} dengan $r = 3 \times 3 = 9$). Nilai rata-rata per batch (rerata dari triplo) digunakan sebagai unit analisis ($n = 3$) agar inferensi merefleksikan variabilitas antar-batch, bukan sekadar presisi alat. Blanko disertakan dan didapatkan kurva baku $R^2 \geq 0,99$ sehingga deviasi antar-ulangan analitik dipantau sebagai $\text{CV}_{\text{intra-batch}}$.

Seluruh analisis statistik menggunakan unit analisis per-batch dimana dalam penelitian ini terdapat 3 batch (rerata dari triplo analitik). Data dilaporkan sebagai rerata $\pm$ SD antar-batch, 95% CI, serta CV intra-batch dan CV inter-batch. Selanjutnya, prasyarat normalitas (Shapiro–Wilk) dan homogenitas varians (Levene) dievaluasi pada nilai per-batch. Perbandingan antar-parameter kimia (flavonoid, fenolik, tanin) dilakukan dengan one-way ANOVA. Ukuran efek omnibus dilaporkan sebagai eta-kuadrat (η^2) dan omega-kuadrat (ω^2). Kemudian uji lanjut (post-hoc) dilakukan pairwise melalui penyesuaian multiperbandingan dengan menggunakan Bonferroni ($\text{FWER} = 0,05$). Efek ukuran pairwise dilaporkan sebagai Hedges' g beserta interpretasinya yang meliputi kecil mendekati 0,2; sedang mendekati 0,5 dan besar mendekati 0,8. Analisis statistik menggunakan SPSS 25.0 dan hasil data dituliskan sebagai mean $\pm$ SD (rerata $\pm$ simpangan baku) antar-batch.

HASIL

Formulasi *foodbar* diperoleh berdasarkan hasil modifikasi dari resep standar pembuatan snack bar.⁷ Formulasi produk *foodbar* dilakukan berdasarkan hasil trial dan error dengan melakukan beberapa modifikasi dari resep standar. Modifikasi yang dilakukan yaitu mengganti bahan-bahan yang digunakan seperti tepung ampas, madu, edamame, dan kismis. Penentuan bahan-bahan yang digunakan tersebut berdasarkan pertimbangan bahan pangan tersebut memiliki kandungan serat yang tinggi dan rendah glukosa yang baik dikonsumsi oleh penderita obesitas. Produk *foodbar* akan dibuat tiga variasi formula pada tepung ampas tahu dan edamame. Berikut dibawah ini merupakan formulasi perbandingan tepung ampas tahu dan edamame.

Tabel 1. Formulasi *Foodbar*

Bahan	F1	F2	F3
Tepung ampas tahu	40 g	25 g	20 g
Tepung edamame	10 g	25 g	30 g
Gula jagung	20 g	20 g	20g
Margarin	16.8 g	16.8 g	16.8 g
Susu full cream	13.2g	13.2g	13.2g

Kismis	10g	10g	10g
Telur ayam	1 butir	1 butir	1 butir

Sumber : Data Primer, 2023

Proses pembuatan produk *foodbar* memiliki beberapa tahapan yaitu pencampuran bahan – bahan dasar *foodbar* sesuai dengan ukuran pada formulasi, kemudian dilanjutkan dengan pengadukan bahan – bahan dasar adonan dan peletakan pada loyang. Setelah itu dilakukan, pengovenan *foodbar* pada tahapan yang pertama selama 100⁰ C dalam waktu 40 menit. Lalu pemotongan *foodbar* setelah pengovenan pada tahapan yang pertama. Selanjutnya pengovenan pada tahap kedua, dilakukan dengan suhu 120⁰ C dan lama waktu 20 menit. *Foodbar* siap dihidangkan (Gambar 1).



Gambar 1. Produk *foodbar* okara–edamame sesuai formulasi (F1–F3) setelah pemotongan dengan ukuran panjang 2 cm (p) x 6 cm (l) x 1 (t) cm.

Produk *foodbar* berbahan tepung ampas tahu dengan penambahan tepung edamame yang sudah siap disajikan sesuai dengan formulasi (F1,F2,F3) kemudian dilakukan uji organoleptik. Panelis dalam uji organoleptik ini merupakan panelis tidak terlatih dengan jumlah sebanyak 30 panelis. Hasil analisis uji hedonic menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan (p value < 0.05) pada warna, aroma, rasa dan produk keseluruhan *foodbar* berbahan dasar tepung ampas tahu dengan penambahan edamame antara F1, F2 dan F3. F3 merupakan formula *foobar* yang memiliki daya terima warna, aroma, rasa dan produk keseluruhan paling tinggi dibandingkan dengan F1 dan F2. Berdasarkan uji organoleptik, ditetapkan bahwa formulasi terbaik dan terpilih dari ketiga formulasi adalah F3. F3 memiliki komposisi tepung edamame dengan tepung ampas tahu (3:2). F3 tersebut akan dilanjutkan dengan uji flavonoid, total fenolik, dan tanin. Dari hasil uji laboratorium didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Uji Flavonoid, Total Fenolik, dan Tanin pada Produk *Foodbar* Berbahan Okara-Edamame

No	Parameter	Hasil
1	Flavonoid	0,024 ± 0,002 mg/g QE
2	Total fenolik	0.015 ± 0,004 mg/g GAE
3	Tanin	0.013 ± 0,001 mg/g GAE

Sumber : Data Primer, 2023

Analisis fitokimia pada produk *foodbar* okara–edamame menunjukkan kadar flavonoid total sebesar 0,024 ± 0,002 mg/g QE, total fenolik 0,015 ± 0,004 mg/g GAE, dan tanin 0,013

$\pm 0,001$ mg/g GAE (Tabel 2). Jika dinyatakan per 100 g, nilai tersebut setara dengan $\pm 2,4$ mg/100 g (flavonoid), 1,5 mg/100 g (total fenolik), dan 1,3 mg/100 g (tanin). Seluruh pengukuran dilakukan triplo pada sampel serbuk *foodbar* yang telah dihomogenkan. Variabilitas antarulangan relatif kecil hingga sedang, tercermin dari koefisien variasi (CV) sekitar 8,3% untuk flavonoid, 26,7% untuk total fenolik, dan 7,7% untuk tanin, yang menandakan presisi pengukuran memadai terutama pada parameter flavonoid dan tanin.

Hasil pengujian *One way* ANOVA menunjukkan perbedaan rerata yang bermakna antar-parameter: $F(2,6)=14,71$; p value 0,0049; $\eta^2=0,83$ $\omega^2 \approx 0,75$ (*efek sangat besar*). Post-hoc Bonferroni (p -adjusted) menunjukkan flavonoid > total fenolik ($p_{\text{adj}}=0,017$) dan flavonoid > tanin ($p_{\text{adj}}=0,0067$), sedangkan total fenolik $\approx$ tanin ($p_{\text{adj}} > 0,05$). Uji lanjut mengindikasikan flavonoid secara signifikan lebih tinggi daripada total fenolik dan tanin, sementara total fenolik dan tanin (tidak berbeda nyata), sehingga secara umum dapat dijelaskan bahwa flavonoid menjadi kontributor utama pada profil polifenol/antioksidan yang terukur.

Berdasarkan hasil pengujian, mutu fungsional antioksidan terukur pada tingkat rendah sampai moderat secara kuantitatif untuk kategori polifenol dengan kadar flavonoid $0,024 \pm 0,002$ mg/g ($\approx 2,4$ mg/100 g bk) dan total fenolik $0,015 \pm 0,004$ mg/g ($\approx 1,5$ mg/100 g bk). Per porsi produk 30 g setara dengan $\pm 0,72$ mg flavonoid dan $\pm 0,45$ mg fenolik. Sebagai gambaran, angka ini lebih rendah dari kandungan flavonoid tempe kedelai (bk) sebesar 610–1.460 mg/100 g GAE, tempe non-kedelai sebesar 951 mg/100 g GAE, dan total fenolik tempe sebesar 3,78–24,68 mg/g¹⁴⁻¹⁷, akan tetapi produk *foodbar* berbasis okara–edamame tetap memberi nilai tambah sebagai komponen polifenol pendamping pada produk tinggi serat-protein. Selain itu, kadar tanin yang rendah cenderung tidak menimbulkan rasa sepat dan asing dan sedikit risiko pengikatan mineral, sehingga baik untuk daya terima.

PEMBAHASAN

Obesitas pada remaja berkaitan dengan inflamasi derajat rendah dan stres oksidatif. Hal ini dikarenakan makanan selingan dengan potensi antioksidan yang kurang, rendah serat dan protein sehingga bisa menimbulkan inflamasi pada tubuh dan berakibat pada timbulnya sindrom metabolic.^{4,5} Oleh karena itu, produk *foodbar* berbasis okara–edamame dipilih karena keduanya menyumbang serat tidak larut dan protein kedelai serta polifenol (isoflavon/flavonoid dan fenolat) yang secara biologis dapat memodulasi respons inflamasi dan oksidatif.^{1,4,10} Hasil pengujian laboratorium pada formulasi terpilih memberi gambaran kuantitatif awal terhadap adanya senyawa bioaktif utama (flavonoid, total fenolik, tanin) yang menjadi dasar penilaian mutu fungsional antioksidan produk.

Mutu fungsional produk dapat terlihat dari kadar polifenol yang terkandung dalam *foodbar* berbasis okara–edamame, hal ini menunjukkan adanya kontribusi antioksidan sebagai nilai tambahan pada produk yang dihasilkan tidak hanya berperan sebagai cemilan. Pada remaja obesitas, manfaat yang paling konsisten dari pangan kedelai justru datang dari kombinasi serat dan protein nabati yang berperan dalam mempertahankan rasa kenyang, pengaturan asupan, serta sebagian sebagai penanda kardiometabolik, sedangkan efek polifenol bersifat pelengkap dan sangat bergantung pada bentuk pangan dan prosesnya.^{1,8,10,11} Dengan demikian, karakteristik produk mendukung posisi sebagai camilan fungsional tinggi serat dan protein, dengan polifenol sebagai komponen bioaktif pendamping.

Pada hasil penelitian ini, kadar total flavonoid, total fenolik, dan tanin *foodbar* okara–edamame berturut-turut $0,024 \pm 0,002$ mg/g QE, $0,015 \pm 0,004$ mg/g GAE, dan $0,013 \pm 0,001$

mg/g (disetarakan menjadi 2,4, 1,5, dan 1,3 mg/100 g bk). Sebagai pembanding kuantitatif, okara terfermentasi (*Bacillus subtilis*) dilaporkan mengalami peningkatan total fenolik dari 16,84 menjadi 139,22 µg/g GAE ($\approx$ 1,684–13,922 mg/100 g).¹² Pada tempe kedelai (basis berat kering), penelitian terbaru menunjukkan total fenolik sebesar 6,1–14,6 mg/g GAE ($\approx$ 610–1.460 mg/100 g) dan pada sejumlah tempe non-kedelai total fenolik dapat mencapai $\geq$ 50 mg/g GAE DM (misal kacang hijau 137,5 mg/g GAE DM)²⁶. Studi lain sebelumnya, pada tempe alternatif non-kedelai juga melaporkan total fenolik hingga 9,51 mg/g GAE ($\approx$ 951 mg/100 g).¹⁵ Kandungan flavonoid dari beberapa formulasi tempe menunjukkan jauh lebih tinggi, misalnya tempe kedelai termodifikasi $\sim$ 24,68 mg/g QE,²⁸ dan tempe kombinasi kedelai hitam dengan kacang arab mengandung $\sim$ 3,78 mg/g QE,²⁹ lebih tinggi dibandingkan kandungan flavonoid pada produk kami yaitu sebesar 0,024 mg/g QE. Secara kuantitatif, total fenolik *foodbar* pada penelitian ini berada pada 1– $\geq$ 2 orde magnitudo lebih rendah dibanding dengan beberapa produk terfermentasi. Hal ini berkaitan dengan adanya ikatan fenolik dan serat pada okara yang membatasi fenolik terekstrak, serta pemanasan (dua tahap pengovenan) yang dapat menurunkan atau mentransformasi fenolik terukur. Penurunan total fenolik pada matriks terfermentasi dengan bahan baku produk yaitu okara sejalan dengan berbagai penelitian sebelumnya yang telah disebutkan diatas.^{26,27,28,29}

Kadar polifenol yang relatif tidak terlalu tinggi pada produk disebabkan oleh matriks okara kaya serat tidak larut sehingga proporsi polifenol terikat pada dinding sel sehingga metode ekstraksi hidro-etanol standar cenderung hanya menarik fraksi terlarut.^{9,12} Selanjutnya, proses termal pengovenan berulang (tahap suhu moderat diikuti suhu lebih tinggi) dapat menurunkan senyawa yang sensitif terhadap panas atau oksidasi sehingga mengubahnya menjadi bentuk terikat, oleh karena itu terukur lebih rendah dengan metode kolorimetri umum.^{8,9,11} Selain itu, perbedaan varietas/bagian biji edamame (kedelai muda) lazimnya memiliki profil dan kadar polifenol berbeda dibanding kedelai hitam atau bagian kulit ari, hal ini menyebabkan pemilihan bahan berpengaruh terhadap kandungan polifenol.^{7,9,11}

Selanjutnya, sebagai keterbatasan penelitian, penelitian lanjutan wajib untuk mengestimasi total fenolik pada matriks tinggi serat seperti okara, dengan melakukan uji fraksi fenolik terikat (hidrolisis basa/asam/enzim) selain hanya menggunakan fraksi bebas, dan ditambahkan uji kapasitas antioksidan (DPPH/ABTS/FRAP) sebagai triangulasi.^{12,26,27} Dari sisi proses, sebaiknya pra-fermentasi okara (mis. *B. subtilis*) dan optimasi termal dilakukan untuk menaikkan kadar total fenolik dan flavonoid. Saran untuk penelitian selanjutnya harus dilakukan analisis bioavailabilitas atau simulasi pencernaan untuk menunjukkan stabilitas total fenolik dan flavonoid sepanjang fase oral, gastrik dan intestinal, maupun bioaksesibilitas (*bioaccessibility*) produk, yakni fraksi senyawa yang berpindah ke fase larut/misel usus halus dan karenanya *berpotensi* diserap, serta perkiraan penyerapan lewat uji transport seluler (misal monolayer Caco-2). Dengan demikian, kandungan total fenolik terhubung langsung dengan proses fisiologis tubuh. Selanjutnya, penelitian ini tidak melakukan uji daya simpan, sehingga kedepannya perlu melakukan uji daya simpan yang berfungsi untuk memastikan bahwa produk aman, stabil, dan tetap berperan fungsional sepanjang masa edarnya, sekaligus memberikan dasar ilmiah penetapan tanggal kadaluarsa suatu produk.

Hasil penelitian terkini menunjukkan bahwa fermentasi okara mampu menaikkan aktivitas antioksidan total dan ketersediaan polifenol melalui pemecahan dinding sel dan konversi glikosida ke aglikon, sehingga lebih mudah diekstrak.^{9,12} Di sisi lain, intervensi

berbasis kedelai (termasuk susu kedelai) menunjukkan dampak positif terhadap penurunan risiko sindrom metabolik. Hal ini memperkuat alasan perlu diproduksinya produk cemilan sehat *foodbar* berbasis okara-edamame sebagai alternatif jajanan pada remaja obesitas. Pengembangan lanjutan dari produk ini, diberikan beberapa pilihan berbasis evidensi antara lain fermentasi terkendali (misal menggunakan *Bacillus* atau jamur GRAS) pada sebagian fraksi okara sebelum formulasi, penambahan sumber polifenol kompatibel yang disukai konsumen (kakao tanpa gula dan bekatul merah) dalam batas sensori yang bisa diterima panelis, serta optimasi proses termal (suhu sedikit lebih rendah, waktu singkat) untuk menekan degradasi polifenol.^{11,12}

KESIMPULAN

Penelitian ini memetakan profil bioaktif *foodbar* berbasis okara–edamame dengan kadar flavonoid 0,024 mg/g QE, fenolik 0,015 mg/g GAE, dan tanin 0,013 mg/g menunjukkan kontribusi antioksidan yang terukur rendah–moderat dibanding produk kedelai terfermentasi, namun tetap memberi nilai tambah sebagai komponen polifenol pendamping pada camilan berbasis serat dan protein nabati. Selanjutnya diperlukan uji proksimat lengkap dalam produk *foodbar* berbasis okara–edamame, uji aktivitas antioksidan langsung (DPPH/FRAP), dan analisis bioavailabilitas atau simulasi pencernaan, pengoptimalan suhu dalam proses pengolahan serta dilakukan uji daya simpan untuk meningkatkan mutu dan kualitas produk.

DAFTAR PUSTAKA

1. Hasan T, Ainscough TS, West J, Fraser LK. Healthcare utilisation in overweight and obese children: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*. 2020;10:e035676. doi:10.1136/bmjopen-2019-035676.
2. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia; Badan Kebijakan Pembangunan Kesehatan. Survei Kesehatan Indonesia (SKI) 2023: Hasil utama. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI; 2024. Available from: <https://www.badankebijakan.kemkes.go.id/hasil-ski-2023>
3. UNICEF. Landscape analysis of overweight and obesity in Indonesia: Summary of key findings. Jakarta: United Nations Children's Fund; 2024. Available from: <https://www.unicef.org/indonesia/media/23651/file/summary-key-findings-landscape-analysis-overweight-obesity-Indonesia.pdf>
4. Saltiel AR, Olefsky JM. Inflammatory mechanisms linking obesity and metabolic disease. *J Clin Invest*. 2017;127(1):1–4. doi:10.1172/JCI92035.
5. Koliaki C, Liatis S, Kokkinos A. Obesity and cardiovascular disease: revisiting an old relationship. *Metabolism*. 2019;92:98–107. doi:10.1016/j.metabol.2018.10.011.
6. Fillaili S, Ningtyias FW, Sulistiyani. Pengaruh penambahan tepung ampas tahu terhadap kadar protein, kadar serat, kadar air dan daya terima bakso ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Buletin Penelitian Sistem Kesehatan*. 2020;23(4):215–27.
7. Purnama H, Hutami R, Novidahlia N. Karakteristik fisikokimia dan sensori snack bar ampas tahu dengan penambahan kacang bogor. *J Pangan Halal*. 2019;1(2):75–82.
8. Diasari NR, Nurrahman, Yusu M. Aktivitas antioksidan dan sifat fisik soyghurt edamame dengan penambahan bit merah. *Edible: Jurnal Penelitian Ilmu-ilmu Teknologi Pangan (Jedb)*. 2021;10(1). Available from: <https://jurnal.um-palembang.ac.id/edible/article/view/3611>.
9. Rahmi N, Khairiah N, Rufida, Hidayati S, Muis A. Pengaruh fermentasi terhadap total

- fenolik, aktivitas penghambatan radikal dan aktivitas antibakteri ekstrak tepung biji teratai (*Nymphaea pubescens* Willd.). *BIOPROPAL Industri*. 2020;11(1):9–18. doi:10.36974/jbi.v11i1.5553.
10. Akhlaghi MH, et al. Impact of soy milk consumption on cardiometabolic risk factors: a systematic review and meta-analysis. *Clin Nutr ESPEN*. 2021;46:432–441.
 11. Messina M. Soy and health update: Evaluation of the clinical and epidemiologic literature. *Nutrients*. 2016;8(12):754. doi:10.3390/nu8120754.
 12. Sumalaia T, et al. Improvement of antioxidant activities of okara by *Bacillus subtilis* fermentation. *ScienceAsia*. 2024;50(6):241–248.
 13. AOAC International. *Official methods of analysis*. 18th ed. Gaithersburg (MD): AOAC International; 2005.
 14. Yamagata K, Yamori Y. Potential effects of soy isoflavones on the prevention of metabolic syndrome. *Molecules*. 2021;26(19):5863. doi:10.3390/molecules26195863.
 15. Lei L, Liu H, Man Li S, et al. Effect of soy isoflavone supplementation on blood pressure: a systematic review and meta-analysis. *Nutr J*. 2024;23:66. doi:10.1186/s12937-024-00932-6.
 16. Yang Z, Hu F, Lou Q, Chen B, Wang X. Association between daidzein intake and metabolic disorders in Chinese adults: a cross-sectional study. *Front Nutr*. 2023;10:1113789. doi:10.3389/fnut.2023.1113789.
 17. Atkinson FS, Foster-Powell K, Buyken AE, et al. International tables of glycemic index and glycemic load values 2021: a systematic review. *Am J Clin Nutr*. 2021;114(5):1625–1632. doi:10.1093/ajcn/nqab233.
 18. The University of Sydney. *Glycemic Index – Soybeans (boiled, from dry)*. Accessed 2025. (GI ≈15; low).
 19. Yu D, Carneiro R, Duncan S, et al. Chemical compositions of edamame genotypes grown in Arkansas. *Front Sustain Food Syst*. 2021;5:620426. doi:10.3389/fsufs.2021.620426.
 20. Nair RM, Xu X, Yang RY, et al. Global status of vegetable soybean (edamame). *Plants*. 2023;12(3):609. doi:10.3390/plants12030609.
 21. Cosme F, Inês A, Domingues MRM. A comprehensive review of bioactive tannins in foods: nutritional implications and sensory effects. *Foods*. 2025;14(3):490. doi:10.3390/foods14030490.
 22. Shinde RS, Bhuyar P. Unlocking the potential of soymilk industry waste (okara): a review. *J Food Legumes*. 2025;38(1):1–10.
 23. Joo KH, Kim NH, Cho YJ, et al. The effects of okara ratio and particle size on the physical properties and consumer acceptance of tofu. *Foods*. 2023;12(16):3004. doi:10.3390/foods12163004.
 24. Asghar A, Afzaal M, Saeed F, et al. Valorization and food applications of okara (soybean residue): a concurrent review. *Food Sci Nutr*. 2023;11(7):3631–3640. doi:10.1002/fsn3.3363.
 25. Aussanasuwannakul A, Boonbumrung S, Pantoa T. Valorization of soybean residue (okara) by supercritical carbon dioxide extraction: compositional, physicochemical, and functional properties of oil and defatted powder. *Foods*. 2023;12(14):2698. doi:10.3390/foods12142698.
 26. Górská K, Pejcz E, Harasym J. Tempeh and fermentation—innovative substrates in a

- classical microbial process. *Appl Sci* (Basel). 2025;15(16):8888. doi:10.3390/app15168888.
27. Šulc M, Rysová J. Quantification of Seventeen Phenolic Acids in Non-Soy Tempeh Alternatives Based on Legumes, Pseudocereals, and Cereals. *Foods*. 2025;14(13):2273. doi:10.3390/foods14132273.
 28. Herawati H, Kamsiati E, Afifah DN, Kusumaningtyas E, Bachtiar M, Sunarmani, Agustinisari I. Characteristics of GABA (Gamma Amino Butyric Acid), antioxidant and sensory quality of modified Tempeh. *Int J Food Prop*. 2023;26(2):3532–3543. doi:10.1080/10942912.2023.2290440
 29. Chalid SY, Lisan F, Adawiah A, Muawanah A, Hermanto S, Rosalina KN, Hatiningsih F. The Combination of Black Soybean, Chickpea, and Angkak Tempeh: Optimization and Antioxidant Potential. *SSRN Preprint*. 2025. doi:10.2139/ssrn.5251832.