



PENGEMBANGAN FORMULA ENTERAL FUNGSIONAL TAPAI KETAN HITAM DAN EDAMAME UNTUK PEMENUHAN KEBUTUHAN GIZI PASIEN DIABETES MELITUS TIPE 2

Development of a Functional Enteral Formula Based on Fermented Black Glutinous Rice and Edamame to Meet the Nutritional Needs of Patients with Type 2 Diabetes Mellitus

Muhammad Muayyad Billah¹, Mayesti Akhriani², Aditya³, Salma Afifah Maulawiyah⁴, Hari Hariadi⁵, Jaka Rukmana⁶, Judiono⁷

^{1,4}Institut Kesehatan Rajawali, Bandung, Jawa Barat, Indonesia, 40184

²Universitas Aisyah Lampung, Kabupaten Pringsewu, Lampung, Indonesia, 35372

³Universitas Gunadarma, Depok, Jawa Barat, Indonesia, 16424

⁵Badan Riset dan Inovasi Nasional, Bandung, Jawa Barat, 40154

⁶Universitas Pasundan, Bandung, Jawa Barat, Indonesia, 40154

⁷Poltekkes Kemenkes Bandung, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

E-mail: muhbillah_23@yahoo.com

Diterima: 16-12-2025

Direvisi: 12-02-2026

Disetujui terbit: 31-03-2026

ABSTRACT

Type 2 diabetes mellitus (T2DM) requires appropriate nutritional management, particularly in patients with limited oral intake. Local food ingredients with nutritional and bioactive properties may be developed into functional enteral formulas. This study aimed to develop an enteral formula based on fermented black glutinous rice and edamame and determine the selected formulation. A completely randomized design was used with three formulations: F1 (65%:35%), F2 (70%:30%), and F3 (75%:25%) fermented black glutinous rice and edamame. Sensory acceptability was assessed by 70 untrained adult panelists using a seven-point hedonic scale. Data were analyzed using the Friedman test followed by the Wilcoxon signed-rank test with Bonferroni correction. The selected formulation was analyzed for proximate composition, fiber, total anthocyanin, and DPPH antioxidant activity. Results: F3 had the highest median acceptability for color, taste, aroma, and consistency ($p \leq 0.001$). Per 100 mL, F3 contained 108.33 kcal energy, 2.85 g protein, 2.01 g fat, 19.71 g carbohydrate, 2.41 g fiber, 0.82 mg anthocyanin, with a DPPH IC₅₀ values of 1402.25 µg/mL. F3 (75%:25%) was selected based on sensory acceptability and showed potential nutritional and functional characteristics that warrant further development as an enteral formula for patients with T2DM.

Keywords: antioxidants, edamame, enteral formula, fermented black glutinous rice

ABSTRAK

Diabetes melitus tipe 2 (DMT2) memerlukan pengelolaan gizi yang tepat, terutama pada pasien dengan keterbatasan asupan oral. Pangan lokal dengan zat gizi dan komponen bioaktif berpotensi dikembangkan sebagai formula enteral fungsional. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan formula enteral berbahan dasar tapai ketan hitam dan edamame serta menentukan formula terpilih berdasarkan daya terima dan karakteristik gizinya. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan tiga formulasi, yaitu F1 (65%:35%), F2 (70%:30%), dan F3 (75%:25%) tapai ketan hitam dan edamame. Masing-masing dibuat dalam dua batch. Uji daya terima melibatkan 70 panelis dewasa tidak terlatih menggunakan skala hedonik tujuh poin. Data dianalisis menggunakan uji Friedman dilanjutkan uji Wilcoxon dengan koreksi Bonferroni. Formula terpilih dianalisis untuk komposisi proksimat, serat kasar, antosianin total, dan aktivitas antioksidan DPPH. Hasil penelitian menunjukkan F3 memiliki median daya terima tertinggi pada warna, rasa, aroma, dan kekentalan ($p \leq 0,001$). Per 100 mL, F3 mengandung energi 108,33 kkal, protein 2,85 g, lemak 2,01 g, karbohidrat 19,71 g, serat 2,41 g, antosianin 0,82 mg, dan aktivitas antioksidan 1402,25 µg/mL. Kesimpulan F3 (75%:25%) merupakan formula terpilih berdasarkan daya terima sensori dengan karakteristik gizi dan komponen fungsional yang berpotensi dikembangkan sebagai formula enteral bagi pasien DMT2. Penelitian lanjutan diperlukan untuk menguji respons glikemik dan efektivitas klinis formula.

Kata kunci: antioksidan, kacang edamame, makanan enteral, tapai ketan hitam

Doi: 10.36457/gizindo.v49i1.1211

www.persagi.org/ejournal/index.php/Gizi_Indon

PENDAHULUAN

Penyakit tidak menular mengalami peningkatan angka kejadian setiap tahunnya, salah satunya diabetes melitus tipe 2 (DMT2). Penyakit ini ditandai dengan tingginya kadar glukosa darah akibat gangguan metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein. Organisasi *International Diabetes Federation* (IDF) memperkirakan prevalensi DMT2 di Indonesia mengalami peningkatan mencapai 13,7 juta orang pada tahun 2030 dan 16,9 juta orang pada tahun 2045. Indonesia menjadi satu-satunya negara di Asia Tenggara yang masuk ke dalam 10 negara dengan prevalensi DMT2 terbanyak di dunia dan berada pada posisi ke-7 setelah Cina, India, Amerika Serikat, Brasil, Rusia dan Meksiko.¹ Hasil Survei Kesehatan Indonesia (SKI) (2023) menunjukkan terjadi kenaikan kasus dibandingkan Riskesdas (2018) berdasarkan hasil pemeriksaan darah dari 8,5 persen meningkat menjadi 11,7 persen.^{2,3}

Penatalaksanaan DMT2 dilakukan dengan menerapkan empat pilar yaitu, pemberian terapi gizi, pemberian edukasi, melakukan aktivitas fisik, pemberian terapi farmakologi dan pemeriksaan glukosa darah secara teratur dan rutin.⁴ Terapi gizi pada DMT2 terutama pada penyandang diabetes yang menggunakan obat penurun glukosa darah atau insulin dilakukan melalui pengaturan jadwal makan, pemilihan jenis makanan dan pengaturan jumlah makanan.⁵ *American Diabetes Association* (ADA) menyatakan bahwa telah banyak ditemui kemajuan dalam terapi di bidang farmakologi dan nonfarmakologi pada DMT2.⁴ Pemanfaatan bahan pangan yang kaya senyawa bioaktif, terutama antosianin dan flavonoid, serta serat pangan diharapkan dapat memberikan efek antioksidan dan antiinflamasi sekaligus mendukung pengendalian glikemik. Bukti penelitian menunjukkan bahwa antosianin berpotensi memperbaiki beberapa indikator kardiometabolik, menurunkan respons inflamasi, dan membantu regulasi glukosa darah, sedangkan konsumsi flavonoid secara umum berhubungan dengan risiko DMT2 yang lebih rendah.^{6,7} Pada pasien DMT2 dengan kondisi klinis tertentu, seperti malnutrisi, kondisi pasca-operasi, atau kesulitan menelan, asupan makanan oral biasa sering kali tidak memadai.

Dalam situasi ini, pemberian makanan formula enteral fungsional menjadi pilihan intervensi gizi yang krusial. Makanan enteral yang lengkap gizi yang dirancang untuk menyediakan energi serta zat gizi makro dan mikro secara seimbang dan dapat diberikan secara oral maupun melalui selang enteral, termasuk selang nasogastrik, sesuai dengan kemampuan dan kebutuhan klinis pasien.⁸ Pengembangan makanan enteral fungsional untuk mendukung pemenuhan gizi bagi penderita DMT2 menjadi tantangan tersendiri. Pemilihan bahan baku lokal yang bernilai gizi dan mengandung senyawa bioaktif berpotensi menjadi solusi.^{9,10}

Penggunaan bahan pangan fungsional lokal menjadi strategi efektif dalam pengembangan produk formula enteral fungsional. Tapai ketan hitam (*Oryza sativa glutinosa* L.) adalah pangan fermentasi yang dikenal kaya akan senyawa bioaktif, khususnya antosianin dan asam fenolat. Antosianin pada ketan hitam, terutama *sianidin-3-O-glukosida* dan *peonidin-3-O-glukosida*, menunjukkan aktivitas antioksidan dan antiinflamasi sehingga berpotensi membantu memodulasi stres oksidatif serta inflamasi kronis yang berperan dalam patofisiologi DMT2.^{11,12} Antosianin pada ketan hitam, berpotensi memberikan efek antihiperglikemik melalui peningkatan pengambilan glukosa yang dimediasi GLUT4 dan aktivasi jalur PI3K/Akt-AMPK serta penghambatan enzim α -glukosidase.^{13,14} Fermentasi tapai ketan hitam dapat meningkatkan bioaksesibilitas dan bioavailabilitas senyawa fenolik, flavonoid, serta aktivitas antioksidan.^{14,15} Hasil uji coba pemberian snack bar berbahan dasar tapai ketan hitam terbukti menurunkan kadar glukosa darah puasa pada pasien DMT2.¹⁶

Kandungan isoflavon telah terbukti berperan dalam meningkatkan sensitivitas insulin dan meningkatkan kontrol glikemik.^{17,18} Serat larut edamame juga berperan dalam memperlambat absorpsi glukosa dan menurunkan respons glikemik pascakonsumsi.¹⁹ Asupan serat pangan yang memadai, khususnya serat larut dan viskos dapat mendukung sensitivitas insulin dan pengendalian glikemik dengan meningkatkan viskositas digesta, memperlambat pengosongan lambung serta penyerapan glukosa, dan merangsang pelepasan hormon GLP-1 dan PYY yang berperan dalam memperpanjang rasa kenyang.^{6,20} Hasil meta analisis menunjukkan

bahwa peningkatan asupan serat pangan, baik melalui suplementasi serat larut maupun konsumsi pangan sumber serat, dapat mendukung pengendalian glikemik dan sensitivitas insulin pada pasien DMT2, yang ditunjukkan oleh penurunan HbA1c, glukosa darah puasa, insulin puasa, dan HOMA-IR.^{6,21} Edamame merupakan sumber protein nabati, serat pangan, folat, mineral seperti kalsium dan magnesium, serta senyawa bioaktif, termasuk isoflavon dan komponen antioksidan.^{10,21} Penelitian Wulandari *et al.* (2023) menunjukkan bahwa pemberian intervensi puding dadih susu kerbau yang difortifikasi kacang edamame menurunkan kadar glukosa darah puasa dan memperbaiki profil lipid pada pasien DMT2.

Kombinasi tapai ketan hitam dan kacang edamame berpotensi yang baik dalam pengembangan formula enteral bagi penderita DMT2. Tapai ketan hitam menyediakan komponen fungsional (antosianin) untuk perlindungan sel dari kerusakan oksidatif dan peradangan.^{10,14} Di sisi lain, edamame menyediakan makronutrien kunci (protein dan serat) yang membantu pengendalian glikemik secara fisik dan metabolik.^{19,22} Penelitian ini bertujuan menentukan formula enteral yang tepat dengan melakukan pengujian berbagai rasio bahan baku dan kandungan zat gizi. Dilanjutkan dengan uji sensorik (warna, rasa, aroma dan tekstur) untuk menentukan formulasi terbaik, serta evaluasi kandungan gizi (proksimat, serat, antosianin dan aktivitas antioksidan) untuk menjamin bahwa produk yang dikembangkan tidak hanya efektif, tetapi juga diterima secara sensorik dan aman dikonsumsi.

Meskipun berbagai formula enteral khusus diabetes telah tersedia, pengembangannya umumnya masih berfokus pada modifikasi komposisi makronutrien, seperti penurunan proporsi karbohidrat, peningkatan asam lemak tidak jenuh tunggal, serta penambahan serat untuk mendukung pengendalian glikemik, sementara pemanfaatan senyawa bioaktif yang berpotensi menekan stres oksidatif dan inflamasi belum menjadi fokus utama.^{23,24} Stres oksidatif dan inflamasi kronis berperan penting dalam perkembangan resistensi insulin, disfungsi sel β pankreas, dan komplikasi vaskular pada DMT2.⁹ Penelitian mengenai formula enteral berbasis pangan lokal juga masih banyak menitikberatkan pada kecukupan energi dan zat gizi, karakteristik

fisik, serta penerimaan organoleptik, sedangkan optimalisasi sinergi senyawa bioaktif antar bahan masih terbatas.^{9,16} Oleh karena itu, kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan formula enteral berbasis kombinasi tapai ketan hitam dan edamame sebagai bahan pangan lokal dengan karakteristik gizi dan komponen bioaktif yang saling melengkapi. Tapai ketan hitam mengandung antosianin dan senyawa fenolik yang memiliki aktivitas antioksidan, sedangkan proses fermentasi dilaporkan dapat meningkatkan pelepasan, kandungan, dan bioaksesibilitas senyawa fenolik serta flavonoid dari matriks pangan.¹³ Sementara itu, edamame merupakan sumber protein nabati, serat pangan, dan isoflavon yang berpotensi mendukung pengendalian glikemik, sensitivitas insulin, serta perbaikan beberapa indikator kardiometabolik pada DMT2.^{8,25} Dengan demikian, kombinasi tapai ketan hitam dan edamame diharapkan menghasilkan formula enteral yang tidak hanya memenuhi kebutuhan zat gizi pasien DMT2, tetapi juga berpotensi memberikan manfaat antioksidan dan antiinflamasi secara komplementer untuk mendukung regulasi metabolisme glukosa, meskipun efektivitasnya tetap perlu dibuktikan melalui pengujian kandungan senyawa bioaktif, aktivitas antioksidan, penanda inflamasi, dan parameter glikemik secara eksperimental.

METODE PENELITIAN

Desain dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) nonfaktorial dengan satu faktor, yaitu perbandingan rasio tapai ketan hitam dan kacang edamame F1 (65%:35%), F2 (70%:30%), dan F3 (75%:25%). Masing-masing formula dibuat dalam dua batch produksi terpisah ($n=2$ batch/formula), dengan satu batch diperlakukan sebagai unit eksperimen. Pembuatan tepung tapai ketan hitam dengan metode pengeringan beku (*freeze-drying*) dilakukan di Laboratorium BRIN. Pembuatan produk dan uji sensori (warna, rasa, aroma, dan kekentalan) dilakukan di Laboratorium Pangan dan Gizi Institut Kesehatan Rajawali dan untuk menentukan formula terpilih berdasarkan penerimaan sensori dilakukan di Laboratorium Uji Hedonik Institut Kesehatan Rajawali. Selanjutnya, formula terpilih dianalisis untuk

energi, protein, lemak, karbohidrat, serat kasar, antosianin, dan aktivitas antioksidan di Laboratorium Pangan Universitas Pasundan. Penelitian memperoleh persetujuan etik dari Universitas Jenderal Achmad Yani dengan nomor 035/KEPK/FITKes-Unjani/IX/2025.

Proses Pembuatan Formula Enteral

Seluruh bahan ditimbang menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0,1 g. Tepung tapai ketan hitam, tepung edamame, maltodekstrin, susu skim bubuk, gula bubuk, dan perisa vanila dicampur hingga homogen selama 5 - 10 menit. Air steril bersuhu 70°C ditambahkan secara bertahap sambil diaduk untuk meminimalkan penggumpalan, kemudian *Virgin Coconut Oil* ditambahkan dan pengadukan dilanjutkan hingga seluruh komponen terdispersi sempurna serta formula membentuk suspensi cair yang homogen sesuai standar viskositas makanan enteral.⁹ Formula kemudian dimasukkan ke dalam botol kaca steril berkapasitas 100 mL dan segera digunakan untuk pengujian sesuai prosedur laboratorium.

Uji Daya Terima

Uji hedonik melibatkan 70 panelis dewasa tidak terlatih yang direkrut secara sukarela dan

memenuhi kriteria inklusi. Jumlah tersebut digunakan sebagai uji penerimaan konsumen dan dinilai memadai untuk menggambarkan preferensi sensori pada tahap pengembangan produk. Panelis yang sama menilai F1, F2, dan F3 pada satu rangkaian pengujian. Kriteria eksklusi mencakup kondisi sangat lapar atau sangat kenyang, mengalami gangguan kesehatan seperti flu, sakit gigi, atau sariawan, dan memiliki riwayat alergi makanan.²⁶ Selain kondisi medis, panelis juga dilarang mengonsumsi zat dengan residu kuat seperti merokok (dalam 30–60 menit) atau minum kopi kental (dalam 1 jam) sebelum pengujian. Setiap formula disajikan dalam wadah identik dengan kode tiga digit secara acak, urutan penyajian ketiga formula diacak untuk setiap panelis. Panelis menilai warna, rasa, aroma, dan kekentalan menggunakan skala hedonik tujuh poin: 1 = sangat tidak suka, 2 = tidak suka, 3 = agak tidak suka, 4 = agak suka, 5 = suka, 6 = sangat suka, dan 7 = amat sangat suka. Air mineral diberikan sebagai penetral antar sampel.

Uji kandungan zat gizi

Analisis laboratorium hanya dilakukan pada formula terpilih berdasarkan penerimaan sensori. Metode yang digunakan dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 1
Formulasi Produk

Nama Bahan	Berat Bahan			Keterangan
	F1	F2	F3	
Tepung tapai ketan hitam	65	70	75	% dari total tepung utama
Tepung edamame	35	30	25	% dari total tepung utama
Tepung susu skim	10	10	10	g per batch
Maltodekstrin	5	5	5	g per batch
<i>Virgin coconut oil</i>	5	5	5	g per batch
Gula bubuk	5	5	5	g per batch
Perisa vanila	1	1	1	g per batch
Air	200	200	200	mL per batch

Tabel 2
Parameter dan Metode Analisis Laboratorium Formula Terpilih

Parameter	Metode yang Dilaporkan	Standar/metode baku
Protein	<i>Kjeldahl</i>	SNI 01-2891-1992
Lemak total	<i>Soxhlet</i>	SNI 01-2891-1992
Karbohidrat	<i>Luff-Schoorl</i>	SNI 01-2891-1992
Serat kasar	<i>Gravimetrii</i>	SNI 01-2891-1992
Antosianin total	<i>pH-Differential</i>	Absorbansi pada 520 dan 700 nm dalam buffer pH 1,0 dan pH 4,5; hasil dinyatakan sebagai ekuivalen sianidin-3-glukosida
Aktivitas Antioksidan	<i>2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)</i>	Absorbansi pada 517 nm; persen inhibisi dihitung terhadap kontrol DPPH dan IC50 diperoleh dari kurva konsentrasi-inhibisi; hasil dinyatakan dalam µg/mL.

Tabel 3
Karakteristik Panelis Uji Sensori (n=70)

Karakteristik	Kategori	n	Persentase (%)
Jenis kelamin	Laki-laki	22	31,43
	Perempuan	48	68,57
Usia	18–25 tahun	31	44,29
	26–35 tahun	26	37,14
	36–45 tahun	8	11,43
	>45 tahun	5	7,14
Pendidikan terakhir	SMA/ sederajat	31	44,29
	Diploma	10	14,29
	Sarjana	14	20,00
	Pascasarjana	15	21,43

Analisis Data

Skor uji hedonik merupakan data ordinal dan disajikan sebagai median serta rentang minimum–maksimum. Karena panelis yang sama menilai ketiga formula, perbedaan skor F1, F2, dan F3 dianalisis sebagai data berpasangan menggunakan uji *Friedman*. Jika uji *Friedman* menunjukkan perbedaan bermakna, analisis dilanjutkan dengan uji *Wilcoxon signed-rank* untuk tiga perbandingan berpasangan (F1–F2, F1–F3, dan F2–F3). Koreksi *Bonferroni* diterapkan sehingga taraf kemaknaan *post hoc*

ditetapkan pada $p < 0,0167$. Analisis dilakukan menggunakan IBM SPSS Statistics versi 20.

HASIL

Karakteristik Panelis

Sebanyak 70 panelis dewasa tidak terlatih mengikuti uji sensoris. Karakteristik panelis disajikan untuk menggambarkan populasi yang menilai produk pada Tabel 3.

Daya Terima Enteral Fungsional

Uji hedonik pada formula enteral fungsional berbahan tapai ketan hitam dan kacang edamame menilai atribut warna, rasa, aroma, dan konsistensi. Median skor F3 secara deskriptif lebih tinggi dibandingkan F1 dan F2 pada seluruh atribut sehingga F3 dipilih sebagai formula terpilih berdasarkan penerimaan sensori. Hasil lengkap disajikan pada Tabel 4.

Komposisi Formula Terpilih

Hasil analisis kandungan zat gizi dan komponen fungsional formula terpilih F3 (75%:25%) disajikan pada Tabel 6.

Berdasarkan Tabel 6, formula F3 (75%:25%) mengandung energi sebesar 108,33 kkal, protein 2,85 g, lemak 2,01 g, karbohidrat 19,71 g, serat kasar 2,41 g, dan antosianin total 0,82 mg per 100 mL. Dalam satu porsi 250 mL, formula menyediakan energi sebesar 270,83 kkal, protein 7,13 g, lemak 5,03 g, karbohidrat 49,28 g, dan serat kasar 6,03 g. Nilai IC50 aktivitas antioksidan DPPH sebesar 1402,25 µg/mL. Kandungan serat dan antosianin menunjukkan adanya komponen fungsional pada formula F3, namun efektivitas formula terhadap pengendalian glukosa darah belum dapat disimpulkan karena respons glikemik belum diuji dalam penelitian ini.

Tabel 4
Hasil Analisis Tingkat Kesukaan Ketiga Formula Enteral Pangan Fungsional

Aspek	Formulasi			p-value
	F1 (65%:35%)	F2 (70%:30%)	F3(75%:25%)	
Warna	4 (1-6) Agak Suka	4 (1-6) Agak Suka	5 (1-6) Suka	0,000
Rasa	3 (1-5) Agak Tidak Suka	4 (1-6) Agak Suka	5 (2-7) Suka	0,000
Aroma	4 (2-7) Agak Suka	4 (2-7) Agak Suka	5 (2-7) Suka	0,001
Kekentalan	4 (2-7) Agak Suka	4 (2-7) Agak Suka	5 (2-7) Suka	0,001
Jumlah Median Skor	15	16	20	

Keterangan: data disajikan sebagai median (minimum–maksimum). Nilai p diperoleh dari uji Friedman

Skala hedonik: 1 = sangat tidak suka, 2 = tidak suka, 3 = agak tidak suka, 4 = agak suka, 5 = suka, 6 = sangat suka, dan 7 = amat sangat suka.

Tabel 5
Hasil Uji Post Hoc pada Ketiga Formulasi Enteral Pangan Fungsional

Formula	Warna	Rasa	Aroma	Kekentalan
F1 dan F2	<0,001*	<0,001*	0,079	0,183
F1 dan F3	<0,001*	<0,001*	0,003*	0,009*
F2 dan F3	0,001*	0,002*	0,015*	0,011*

Keterangan: *) p<0,0167 menunjukkan perbedaan bermakna setelah koreksi Bonferroni.

Tabel 6
Kandungan Gizi dan Komponen Fungsional Formula F3

Parameter	per 100 mL	per 1 porsi (250 mL)
Lemak Total (g)	2,01	5,03
Protein (g)	2,85	7,13
Karbohidrat (g)	19,71	49,28
Energi Total (kkal)	108,33	270,83
Serat Kasar (g)	2,41	6,03
Antosianin (mg)	0,82	2,05
Aktivitas Antioksidan (µg/mL)	1402,25	-

Keterangan: *Nilai per 250 mL merupakan hasil perkalian matematis 2,5 kali nilai per 100 mL. Nilai IC50 DPPH merupakan parameter konsentrasi pada uji antioksidan sehingga tidak dikalikan berdasarkan volume porsi.

BAHASAN

Hasil uji *Friedman* menunjukkan adanya perbedaan tingkat penerimaan yang bermakna di antara ketiga formula pada atribut warna, rasa, aroma, dan kekentalan. Secara deskriptif, F3 dengan proporsi 75% tapai ketan hitam dan 25% edamame memiliki median penerimaan tertinggi pada seluruh atribut yang diuji. Skor F3 untuk warna, rasa, aroma, dan kekentalan menunjukkan median dengan masing-masing sebesar 5, hal ini menunjukkan penerimaan pada kategori suka. Sementara itu, F1 dan F2 umumnya memiliki median yang lebih rendah, yaitu 3–4. Temuan tersebut menunjukkan bahwa F3 cenderung lebih dapat diterima oleh panelis dibandingkan kedua formula lainnya. Oleh karena itu, F3 merupakan formula terpilih berdasarkan penerimaan sensori. Meskipun demikian, hasil ini tidak dapat digunakan untuk menyatakan F3 sebagai formula terbaik secara keseluruhan karena penilaian hanya didasarkan pada atribut sensori.

Hasil uji post-hoc memberikan gambaran yang lebih spesifik mengenai pasangan formula yang berbeda. Pada atribut warna, terdapat perbedaan antara F1 dan F2 ($p < 0,001$), F1 dan F3 ($p < 0,001$), serta F2 dan F3 ($p = 0,001$). Pola yang serupa ditemukan pada atribut rasa, dengan perbedaan antara F1 dan F2 ($p < 0,001$), F1 dan F3 ($p < 0,001$), serta F2 dan F3 ($p = 0,002$). Berdasarkan median skor hedonik, F3 memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan F1 dan F2 pada kedua atribut tersebut. Pada atribut aroma, tidak ditemukan perbedaan antara F1 dan F2 ($p = 0,079$), sedangkan F3 berbeda dengan F1 ($p = 0,003$) dan F2 ($p = 0,015$). Demikian pula pada atribut kekentalan, F1 dan F2 tidak menunjukkan perbedaan ($p = 0,183$), sedangkan F3 berbeda dengan F1 ($p = 0,009$) maupun F2 ($p = 0,011$). Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan penerimaan pada F3 tidak hanya terlihat secara deskriptif, tetapi juga didukung oleh perbedaan statistik terhadap F1 dan F2 pada atribut yang diuji.

Perbedaan penerimaan sensori tersebut diduga berkaitan dengan perubahan proporsi tapai ketan hitam dan edamame pada masing-masing formula. Namun, karena peningkatan proporsi tapai ketan hitam dilakukan secara bersamaan dengan penurunan proporsi edamame, kontribusi masing-masing bahan terhadap perubahan tingkat penerimaan tidak

dapat dipisahkan secara langsung dalam penelitian ini. Penelitian pada produk berbasis edamame menunjukkan bahwa perubahan proporsi edamame dapat memengaruhi karakteristik kimia maupun sensori produk, sehingga jumlah edamame yang lebih tinggi tidak selalu berhubungan dengan peningkatan tingkat kesukaan panelis. Dengan demikian, tingkat penerimaan F3 kemungkinan merupakan hasil interaksi karakteristik kedua bahan, bukan semata-mata akibat peningkatan proporsi salah satu komponen. Penelitian Triasih dan Priyadi (2021), yang menunjukkan bahwa penambahan sari edamame sebesar 5–20% berpengaruh sangat nyata terhadap karakteristik kimia dan aktivitas antioksidan eggurt, tetapi belum mengevaluasi aspek sensorinya, sehingga penelitian ini memperluas bukti bahwa penggunaan edamame tidak hanya memengaruhi nilai gizi dan sifat fungsional, tetapi juga karakteristik sensori produk.²²

Pada atribut aroma, F3 memiliki median skor 5 (suka), lebih tinggi dibandingkan F1 dan F2 yang masing-masing memiliki median 4 (netral). Perbedaan tersebut dapat berkaitan dengan proporsi tapai ketan hitam yang lebih tinggi dan edamame yang lebih rendah pada F3. Penerimaan aroma F3 yang lebih tinggi diduga berkaitan dengan proporsi tapai ketan hitam yang lebih besar serta penambahan perisa vanilla, sehingga terbentuk profil aroma fermentasi yang lebih seimbang dan mampu mengurangi dominasi aroma kacang. Penelitian pada beras ketan terfermentasi menunjukkan bahwa fermentasi menghasilkan senyawa volatil dengan karakter manis, buah, alkohol, dan *wine-like*, terutama melalui pembentukan asam laktat, asam asetat, dan alkohol volatil.²⁷ Sebaliknya, bahan berbasis kedelai dapat menghasilkan aroma *beany* atau langu yang berkaitan dengan senyawa volatil, seperti heksanal, dan berpotensi menurunkan penerimaan produk apabila intensitasnya tidak dikendalikan.²⁸ Meskipun demikian, hubungan antara aroma yang lebih disukai dan efek penambahan vanilla masih bersifat interpretatif karena penelitian ini belum mengidentifikasi senyawa volatil maupun mengukur intensitas aroma secara deskriptif.

Pada atribut kekentalan, F3 juga memperoleh median penerimaan kekentalan sebesar 5 (agak suka), sedangkan F1 dan F2 masing-masing memiliki median 4 (netral). Hasil ini kemungkinan berkaitan dengan perbedaan

kandungan padatan, pati, protein, dan serat dari masing-masing formula. Skor hedonik kekentalan tidak dapat digunakan secara langsung untuk menyimpulkan kesesuaian formula bagi pemberian melalui selang enteral. Rekomendasi ASPEN menegaskan bahwa keberhasilan pemberian formula berbasis pangan melalui selang dipengaruhi oleh ukuran selang, ukuran partikel formula, konsistensi, metode pemberian, serta teknik pembilasan, sedangkan bukti yang membandingkan risiko penyumbatan antara formula blenderisasi dan formula komersial masih terbatas.²⁹ Dalam penelitian ini, parameter objektif seperti viskositas instrumental, distribusi ukuran partikel, laju alir melalui selang, serta gaya yang diperlukan untuk mendorong formula menggunakan spuit belum diukur. Risiko penyumbatan selang juga belum dievaluasi secara langsung. Selain itu, pengukuran osmolalitas diperlukan untuk melengkapi karakterisasi formula, khususnya berkaitan dengan pertimbangan toleransi gastrointestinal. Oleh sebab itu, hasil penelitian ini hanya dapat menunjukkan bahwa kekentalan F3 lebih dapat diterima secara sensori dibandingkan F1 dan F2, tetapi belum dapat membuktikan kesesuaiannya untuk pemberian melalui selang enteral.

Perbedaan bermakna pada seluruh atribut hedonik memperlihatkan bahwa komposisi bahan baku merupakan determinan penting terhadap penerimaan sensori formula. Peningkatan proporsi tepung tapioka hitam dari 65% pada F1 menjadi 75% pada F3 berkorelasi dengan peningkatan penerimaan terhadap warna dan rasa, yang kemungkinan dipengaruhi oleh intensitas warna ungu serta karakter manis asam hasil fermentasi. Temuan tersebut sejalan dengan penelitian internasional yang menunjukkan bahwa beras ketan berpigmen yang difermentasi memiliki kandungan fenolik dan antosianin yang tinggi serta menghasilkan profil rasa dan aroma fermentatif yang khas.^{27,30} Di sisi lain, penelitian terhadap beberapa varietas edamame menunjukkan adanya variasi yang nyata pada rasa, tekstur, komposisi volatil, dan penerimaan panelis, sehingga peningkatan jumlah edamame tidak selalu menghasilkan peningkatan kesukaan produk.²⁸ Dengan demikian, skor F1 yang lebih rendah diduga berkaitan dengan dominasi karakter kacang, sedangkan F3 menghasilkan keseimbangan yang lebih baik

antara warna, rasa fermentasi, aroma, dan kekentalan. Namun, F3 sebaiknya disebut sebagai formula terpilih berdasarkan penerimaan sensori, bukan sebagai formula terbaik secara keseluruhan, karena keunggulan kandungan gizi, antosianin, aktivitas antioksidan, dan respons glikemiknya belum dibandingkan antar formulasi secara langsung pada penelitian ini.

Daya terima sensori merupakan pertimbangan penting pada formula enteral yang ditujukan untuk konsumsi oral. Dalam penelitian ini, F3 memiliki skor kesukaan lebih tinggi dibandingkan F1 dan F2. Temuan ini mendukung pemilihan F3 untuk pengembangan lebih lanjut dan uji klinis pra-aplikasi, tanpa menyimpulkan keunggulan klinis sebelum pengujian pada pasien DMT2. Formula makanan enteral, terutama yang ditujukan untuk konsumsi oral, harus memiliki daya terima yang tinggi untuk memastikan asupan nutrisi pasien tercapai secara konsisten. Jika produk tidak disukai, risiko ketidakpatuhan pasien akan meningkat, yang pada akhirnya dapat mengganggu kontrol glikemik dan memperlambat pemulihan.^{16,19} Dengan nilai kesukaan yang superior, F3 berpotensi menjadi produk komersial yang menjanjikan, tidak hanya dari segi nilai gizi dan antioksidan, tetapi juga dari aspek penerimaan konsumen. Oleh karena itu, F3 menjadi formula yang direkomendasikan untuk pengembangan lebih lanjut dan uji klinis pra-aplikasi.

Formula Enteral Fungsional terbaik yang dihasilkan secara penerimaan sensori, dari penelitian ini adalah F3, dengan imbangannya tepung tapioka hitam dan kacang edamame sebesar 75%:25%. Analisis kandungan gizi F3 per 100 mL menunjukkan profil makronutrien yang sesuai untuk dukungan diet Diabetes Melitus Tipe 2 (DMT2). Kandungan energi formula ini adalah 108,33 kkal, dengan protein 2,85 g, lemak total 2,01 g, dan karbohidrat 19,71 g. Proporsi nutrisi ini dianggap memadai sebagai makanan enteral, di mana kandungan protein nabati dari edamame berperan krusial dalam menyediakan asam amino esensial. Selain makronutrien, F3 unggul pada komponen fungsionalnya, yaitu serat pangan (2,41 g/100 mL), Antosianin (0,82 mg/100 mL), dan aktivitas antioksidan yang sangat tinggi, mencapai 1402,25 ($\mu\text{g/mL}$). Kandungan serat pangan ini sangat penting untuk membantu memperlambat penyerapan glukosa dan mempertahankan rasa kenyang,

yang merupakan tujuan utama manajemen gizi DMT2.

DMT2 dicirikan oleh kondisi hiperglikemia kronis yang secara fundamental memicu peningkatan stres oksidatif dalam tubuh. Stres oksidatif ini terjadi ketika produksi spesies oksigen reaktif (ROS) melebihi kapasitas sistem pertahanan antioksidan endogen. ROS yang berlebihan menyebabkan kerusakan pada makromolekul, termasuk protein, lipid, dan DNA, serta memicu inflamasi kronis. Kerusakan ini dipercaya menjadi mekanisme utama di balik perkembangan resistensi insulin dan munculnya komplikasi vaskular jangka panjang pada penderita DMT2.^{14,24} Oleh karena itu, suplementasi makanan dengan senyawa antioksidan eksogen menjadi strategi nutrisi yang vital untuk memitigasi patogenesis penyakit ini. Antosianin adalah pigmen flavonoid yang memberikan warna ungu gelap pada ketan hitam dan memiliki aktivitas scavenging radikal bebas yang kuat. Kandungan antosianin total dalam F3 mencapai 0,82 mg per 100 mL, mencerminkan keberhasilan formulasi dalam mengekstrak dan mempertahankan senyawa fungsional ini dalam produk enteral. Senyawa ini tidak hanya berperan sebagai antioksidan, tetapi juga dilaporkan memiliki sifat antiinflamasi yang dapat membantu menekan peradangan subklinis pada pasien DMT2. Tapai ketan hitam, melalui proses fermentasinya, berpotensi meningkatkan bioavailabilitas antosianin, menjadikannya pilihan bahan baku yang sangat efektif untuk formula fungsional.^{13,31}

Mekanisme aksi antosianin tidak terbatas pada sifat antioksidannya, tetapi meluas pada pengendalian glikemik langsung. Beberapa studi menunjukkan bahwa antosianin dapat bekerja dengan menghambat aktivitas enzim pencernaan karbohidrat seperti α -amilase dan α -glukosidase.^{11,31} Penghambatan enzim ini akan memperlambat proses pencernaan pati dan penyerapan glukosa di usus halus. Selain itu, antosianin juga dilaporkan dapat meningkatkan sekresi insulin dari sel beta pankreas atau meningkatkan sensitivitas reseptor insulin di jaringan perifer. Dengan demikian, F3 diharapkan dapat mengontrol glikemik melalui komponen serat dan antosianin, serta perlindungan seluler melalui aktivitas antioksidannya. Kombinasi dengan serat pangan dari edamame semakin menguatkan efek penurunan Indeks Glikemik formula

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan formula enteral fungsional berbasis tapai ketan hitam dan kacang edamame untuk pasien Diabetes Melitus Tipe 2 (DMT2), dengan Formula F3 (rasio 75%:25%) sebagai formulasi terbaik. Formula F3 menunjukkan kombinasi yang optimal antara daya terima sensoris, kandungan gizi, dan komponen fungsional, ditandai dengan kandungan energi sebesar 108,33 kkal/100 mL, protein 2,85 g/100 mL, serat pangan 2,41 g/100 mL, antosianin 0,82 mg/100 mL, serta aktivitas antioksidan yang tinggi (1402,25 μ g/mL). Hasil ini menunjukkan bahwa Formula F3 berpotensi dikembangkan sebagai alternatif formula enteral fungsional berbasis pangan lokal untuk mendukung terapi gizi pada pasien DMT2, dengan potensi memberikan manfaat dalam pengendalian glikemik dan penurunan stres oksidatif.

Saran

Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mengevaluasi indeks glikemik formula, umur simpan, keamanan mikrobiologi, serta stabilitas fisik dan kimia produk selama penyimpanan. Selain itu, diperlukan uji penerimaan pada pasien DMT2 dan uji klinis untuk membuktikan efektivitas formula terhadap pengendalian glikemik, status gizi, dan keamanan penggunaan sebelum dikembangkan lebih lanjut sebagai produk enteral fungsional yang siap dikomersialisasikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penghargaan khusus dan terima kasih yang mendalam ditujukan kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (Kemenristekdikti) Republik Indonesia atas dukungan finansial yang krusial. Pendanaan ini diperoleh melalui skema hibah Penelitian Dosen Pemula dengan nomor kontrak: 8047/LL4/PG/2025.

RUJUKAN

1. International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas. 10th ed. International Diabetes Federation; 2021. doi:10.1016/j.diabres.2013.10.013

2. Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Kementerian Kesehatan RI. Laporan Nasional RISKESDAS 2018. Jakarta: Balitbangkes; 2018.
3. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Survei Kesehatan Indonesia (SKI) 2023. Jakarta; 2024.
4. American Diabetes Association Professional Practice Committee. 2. Diagnosis and Classification of Diabetes: Standards of Care in Diabetes-2025. *Diabetes Care*. 2025 Jan 1;48(1 Suppl 1):S27–49. doi:10.2337/dc25-S002 PubMed PMID: 39651986; PubMed Central PMCID: PMC11635041.
5. PERKENI. Pedoman Pengelolaan dan Pencegahan Diabetes Melitus Tipe 2 di Indonesia. Jakarta: Pengurus Besar Perkumpulan Endokrinologi Indonesia (PB PERKENI); 2024.
6. Xie Y, Gou L, Peng M, Zheng J, Chen L. Effects of soluble fiber supplementation on glycemic control in adults with type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Clinical Nutrition*. 2021 Apr 1;40(4):1800–10. doi:10.1016/j.clnu.2020.10.032 PubMed PMID: 33162192.
7. Li H, Zeng Y, Zi J, Hu Y, Ma G, Wang X, et al. Dietary Flavonoids Consumption and Health: An Umbrella Review. *Molecular Nutrition & Food Research*. 2024;68(12):2300727. doi:10.1002/mnfr.202300727
8. Bischoff SC, Austin P, Boeykens K, Chourdakis M, Cuerda C, Jonkers-Schuitema C, et al. ESPEN practical guideline: Home enteral nutrition. *Clin Nutr*. 2022 Feb;41(2):468–88. doi:10.1016/j.clnu.2021.10.018 PubMed PMID: 35007816.
9. Hamidatuzzahroh IK, Kristianto Y, Sulistyowati E. The Development of “EKA-DM” Enteral Nutrition Formula Based on Edamame and Cinnamon for Type 2 Diabetes Mellitus. *Journal of Global Nutrition*. 2025 Apr 30;5(1):454–70. doi:10.53823/jgn.v5i1.120
10. Church A, Zoeller S. Enteral nutrition product formulations: A review of available products and indications for use. *Nutr Clin Pract*. 2023 Apr;38(2):277–300. doi:10.1002/ncp.10960 PubMed PMID: 36787985.
11. Fauziyah RN, Aminah M, Syarief O, Par'i HM, Hastuti W, Surmita S. Effectiveness of Steamed Brownies Base on Fermented Black Glutinous Rice on Decreased Waist Circumference in Abdominal Obesity. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kesehatan*. 2020;7(2):201–2013.
12. Mapoung S, Semmarath W, Arjsri P, Thippraphan P, Srisawad K, Umsumarn S, et al. Comparative analysis of bioactive-phytochemical characteristics, antioxidants activities, and anti-inflammatory properties of selected black rice germ and bran (*Oryza sativa* L.) varieties. *Eur Food Res Technol*. 2023 Feb 1;249(2):451–64. doi:10.1007/s00217-022-04129-1
13. Azkia MN, Cahyanto MN, Mayangsari Y, Brilliantama A, Palma M, Setyaningsih W. Enhancement of phenolic profile and antioxidant activity of black glutinous rice (*Oryza sativa* var. *glutinosa*) due to tape fermentation. *Arabian Journal of Chemistry*. 2023 Nov;16(11). doi:10.1016/j.arabjc.2023.105275
14. Feng SY, Wu SJ, Chang YC, Ng LT, Chang SJ. Stimulation of GLUT4 Glucose Uptake by Anthocyanin-Rich Extract from Black Rice (*Oryza sativa* L.) via PI3K/Akt and AMPK/p38 MAPK Signaling in C2C12 Cells. *Metabolites*. 2022 Sep 12;12(9):856. doi:10.3390/metabo12090856 PubMed PMID: 36144260; PubMed Central PMCID: PMC9503800.
15. Li J, Yoshimura K, Sasaki M, Maruyama K. The Consumption of High-Amylose Rice and its Effect on Postprandial Blood Glucose Levels: A Literature Review. *Nutrients*. 2024 Nov 23;16(23):4013.

- doi:10.3390/nu16234013 PubMed PMID: 39683407; PubMed Central PMCID: PMC11643435.
16. billah muhammad muayyad, wiboworini budiyaniti, prayitno adi. Uji Coba Pemberian Snack Bars Berbahan Dasar Tape Ketan Hitam sebagai Sumber Serat terhadap Penurunan Kadar Glukosa Darah Puasa Pasien Diabetes Melitus Tipe 2. JPDI. 2023 Dec 31;10(4). doi:10.7454/jpdi.v10i4.1478
 17. Aziz A, Putri Adjie WL, Suryati ES, Estofany F. Formulasi Makanan Cair Alternatif Berbasis Tepung Pegagan Dan Buah Naga Merah Untuk Diet Pasien Dengan Diabetes mellitus. J Keperawatan. 2022 May 31;7(1):67–80. doi:10.32668/jkep.v7i1.921
 18. Wulandari LS, Kusumastuty I, Cempaka AR, Nugroho FA. Effect of Buffalo Curd Milk-Edamame Pudding Snack Consumption on Fasting Blood Glucose Levels and Lipid Profile in Diabetes Mellitus Patients: Pengaruh Pemberian Snack Puding Dadih Susu Kerbau dan Edamame terhadap Kadar Glukosa Darah Puasa dan Profil Lipid pada Pasien Diabetes Mellitus. AMNT. 2023 Nov 28;7(4):583–8. doi:10.20473/amnt.v7i4.2023.583-588
 19. Wijayanti D, Saraswati IW, Khairunnisa AN. Development of Hospital Enteral Formula for Diabetes Using Tempeh Flour with Dragon Fruit and Tomato Addition. IJHIS. 2024 Sep 30;2(2):92–100. doi:10.47134/ijhis.v2i2.48
 20. Giuntini EB, Sardá FAH, de Menezes EW. The Effects of Soluble Dietary Fibers on Glycemic Response: An Overview and Futures Perspectives. Foods. 2022 Dec 6;11(23):3934. doi:10.3390/foods11233934 PubMed PMID: 36496742; PubMed Central PMCID: PMC9736284.
 21. Mao T, Huang F, Zhu X, Wei D, Chen L. Effects of dietary fiber on glycemic control and insulin sensitivity in patients with type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. Journal of Functional Foods. 2021 Jul 1;82:104500. doi:10.1016/j.jff.2021.104500
 22. Triasih D, Priyadi DA. Kajian Tentang Pengembangan Eggurt dengan Fortifikasi Edamame sebagai Agen Antioksidan. Jurnal Peternakan Indonesia. 2021 Jun 1;23(2):108–14. doi:10.25077/jpi.23.2.108-114.2021
 23. Fatima Z, Itrat N, Israr B, Ahmad AMR. Therapeutic Efficacy of Soy-Derived Bioactives: A Systematic Review of Nutritional Potency, Bioactive Therapeutics, and Clinical Biomarker Modulation. Foods. 2025 Jan;14(19):3447. doi:10.3390/foods14193447
 24. Bhatti JS, Sehrawat A, Mishra J, Sidhu IS, Navik U, Khullar N, et al. Oxidative stress in the pathophysiology of type 2 diabetes and related complications: Current therapeutics strategies and future perspectives. Free Radic Biol Med. 2022 May 1;184:114–34. doi:10.1016/j.freeradbiomed.2022.03.019 PubMed PMID: 35398495.
 25. Compher C, Bingham AL, McCall M, Patel J, Rice TW, Braunschweig C, et al. Guidelines for the provision of nutrition support therapy in the adult critically ill patient: The American Society for Parenteral and Enteral Nutrition. JPEN J Parenter Enteral Nutr. 2022 Jan;46(1):12–41. doi:10.1002/jpen.2267 PubMed PMID: 34784064.
 26. Civile GV, Carr BT. Sensory Evaluation Techniques [Internet]. 0 ed. CRC Press; 2015 [cited 2026 Aug 22]. Available from: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781482216912> doi:10.1201/b19493
 27. Guo L, Huang L, Cheng X, Gao Y, Zhang X, Yuan X, et al. Volatile Flavor Profile and Sensory Properties of Vegetable Soybean. Molecules. 2022 Jan;27(3):939. doi:10.3390/molecules27030939
 28. Epp L, Blackmer A, Church A, Ford I, Grenda B, Larimer C, et al. Blenderized tube feedings: Practice recommendations from the American Society for Parenteral and Enteral Nutrition. Nutr Clin Pract. 2023 Dec;38(6):1190–219.

- doi:10.1002/hcp.11055 PubMed PMID: 37787762.
29. Rittisorn S, Chorum M, Ratchakit S, Klaeabangthong N, Samaimai S, Lomthong T. Development of sweet fermented rice (Khao-Mak) production using a pure culture of *Amylomyces rouxii* TISTR 3182 by the mixture design approach. *J Food Sci Technol*. 2025 Sep 1;62(9):1667–75. doi:10.1007/s13197-024-06134-6
30. Hegazy N, Deeb SE, Salem MR, Shaguy JA, ... The availability and distribution of health services and resources across different regions in Afghanistan. *Frontiers in Public ...* [Internet]. frontiersin.org; 2025. Available from: <https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2024.1371104/full> doi:10.3389/fpubh.2024.1371104
31. Pautong PA, Tiozon RJrN, Buenafe RJQ, Ramos-Castrosanto AR, Kim H, Perfinian G, et al. Starch fine structure predicts glycemic index variation in whole-grain rice. *Carbohydrate Polymers*. 2026 Jun 15;382:125236. doi:10.1016/j.carbpol.2026.125236