
OPTIMALISASI FORMULASI DAN FORTIFIKASI VITAMIN B PADA SNACK BROWNIES CRISPY DAUN KELOR TERHADAP DAYA TERIMA DAN TOTAL PLATE COUNT SEBAGAI PANGAN FUNGSIONAL UNTUK ANEMIA

Optimization of Formulation and Vitamin B Fortification in Moringa Leaf Crispy Brownies Snack on Acceptability and Total Plate Count as a Functional Food for Anemia

Rani Rahmasari Tanuwijaya^{1*}, Andini Permata Kusuma², Saskiyanto Manggabarani³

¹Program Studi S1 Gizi, Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Pertamedika, Jakarta

*Email Penulis Korespondensi: rhany.tanuwijaya@gmail.com

Abstrak

Anemia defisiensi besi masih menjadi masalah kesehatan masyarakat yang tinggi di Indonesia, terutama pada perempuan usia reproduktif dan remaja putri. Upaya pencegahan melalui pendekatan pangan fungsional berbasis bahan lokal menjadi solusi potensial. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan formulasi brownies crispy daun kelor (*Moringa oleifera*) yang difortifikasi vitamin B terhadap daya terima konsumen dan mutu mikrobiologis (*Total Plate Count*). Penelitian eksperimental ini menggunakan rancangan acak lengkap faktorial dua faktor: tingkat substitusi tepung daun kelor (0%, 5%, 10%, 15%) dan fortifikasi vitamin B (tanpa dan dengan fortifikasi folat dan B12). Analisis meliputi kadar proksimat, zat besi, folat, vitamin B12, uji organoleptik (warna, aroma, rasa, kerenyahan, keseluruhan), serta *Total Plate Count* selama penyimpanan 28 hari. Data dianalisis menggunakan ANOVA dua arah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi daun kelor berpengaruh signifikan terhadap kadar protein ($p=0.002$), abu ($p=0.001$), dan zat besi ($p=0.000$), sedangkan fortifikasi vitamin B berpengaruh signifikan terhadap kadar folat ($p=0.000$) dan vitamin B12 ($p=0.000$). Tidak terdapat interaksi signifikan antara kedua faktor terhadap parameter kimia utama ($p>0.05$). Formulasi optimal diperoleh pada perlakuan S1F1 (5% daun kelor + fortifikasi vitamin B) dengan skor organoleptik keseluruhan 7.92 (kategori "suka"), kadar Fe 3.95 mg/100 g, folat 39.56 μ g/100 g, vitamin B12 1.51 μ g/100 g, dan nilai TPC $<3.4 \log \text{CFU/g}$ hingga hari ke-28 penyimpanan. Substitusi daun kelor sebesar 5% dengan fortifikasi vitamin B menghasilkan produk brownies crispy bergizi tinggi, aman, dan diterima konsumen, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai pangan fungsional untuk pencegahan anemia.

Kata kunci: Anemia. Brownies Crispy. Daun Kelor. Fortifikasi. Vitamin B. Pangan Fungsional

Abstract

Iron deficiency anemia remains a major public health problem in Indonesia, particularly among women of reproductive age and adolescent girls. Prevention efforts through the development of functional foods using local ingredients represent a promising approach. This study aimed to optimize the formulation of *Moringa oleifera* (moringa leaf) crispy brownies fortified with B vitamins in relation to consumer acceptability and microbiological quality (*Total Plate Count*). The experimental research employed a completely randomized factorial design with two factors: levels of moringa leaf flour substitution (0%, 5%, 10%, 15%) and B-vitamin fortification (without and with folate and B12 fortification). Analyses included proximate composition, iron, folate, vitamin B12 content, organoleptic tests (color, aroma, taste, crispiness, overall acceptance), and *Total Plate Count* during 28 days of storage. Data were analyzed using two-way ANOVA. The results showed that moringa leaf substitution significantly affected protein ($p=0.002$), ash ($p=0.001$), and iron content ($p=0.000$), while B-vitamin fortification significantly increased folate ($p=0.000$) and vitamin B12 ($p=0.000$) levels. No significant interaction was found between the two factors for the main chemical parameters ($p>0.05$). The optimal formulation was obtained at treatment S1F1 (5% moringa leaf substitution + B-vitamin fortification), which achieved an overall sensory score of 7.92 ("like" category), Fe content of 3.95 mg/100 g, folate 39.56 μ g/100 g, vitamin B12 1.51 μ g/100 g, and a TPC value below 3.4 log CFU/g up to 28 days of storage. In conclusion, a 5% substitution of moringa leaf flour combined with B-vitamin fortification

produced crispy brownies that are nutritious, safe, and well accepted by consumers, indicating strong potential as a functional food for anemia prevention.

Keywords: Anemia. Moringa leaf. Crispy Brownies. Fortification. Vitamin B. Functional Food

PENDAHULUAN

Anemia defisiensi besi tetap menjadi masalah kesehatan masyarakat yang signifikan di negara berkembang, termasuk Indonesia, terutama pada perempuan usia reproduktif, remaja putri, dan ibu hamil. Anemia menurunkan kualitas hidup, kapasitas kerja, daya tahan tubuh, serta memengaruhi perkembangan kognitif pada kelompok rentan, sehingga intervensi nutrisi yang efektif dan dapat diadopsi luas diperlukan untuk menurunkan prevalensi tersebut. Salah satu pendekatan yang terbukti efektif pada skala populasi adalah fortifikasi pangan yaitu penambahan mikronutrien ke dalam bahan makanan yang umum dikonsumsi karena bersifat ekonomis, mudah ditargetkan ke kelompok besar, dan tidak memerlukan perubahan perilaku makan yang besar [1], [2].

Di sisi lain, strategi berbasis pangan (food-based approach) seperti penggunaan bahan pangan lokal yang kaya nutrisi juga mendapat perhatian karena dapat menggabungkan perbaikan gizi dengan penerimaan budaya. *Moringa oleifera* (daun kelor) telah menarik minat peneliti pangan dan gizi karena komposisi nutrisinya yang kaya: mengandung protein, zat besi, vitamin C, provitamin A, serat, dan berbagai antioksidan yang berpotensi berkontribusi pada pencegahan dan penanggulangan anemia bila diolah menjadi produk pangan yang diterima masyarakat. Studi dan tinjauan sistematis melaporkan bahwa suplementasi atau konsumsi bahan berbasis kelor dapat meningkatkan asupan mikronutrien dan, pada beberapa setting, berkontribusi pada peningkatan parameter hematologis. Namun, variasi kandungan nutrisi bergantung pada asal bahan, metode pengeringan, dan formulasi produk [3], [4].

Produk snack seperti brownies, menjadi kandidat menarik untuk difortifikasi maupun dihasilkan dari substitusi tepung dengan tepung daun kelor karena snack mudah diterima, praktis, dan memiliki potensi penetrasi ke kelompok remaja dan perempuan muda – kelompok yang rawan anemia. Beberapa penelitian formulasi menunjukkan bahwa tepung daun kelor dapat dimasukkan dalam produk bakery dan snack (roti, crackers, brownies) dengan peningkatan nilai gizi yang nyata, namun ada titik keseimbangan antara peningkatan nutrisi dan perubahan sifat organoleptik (warna, rasa, aroma, tekstur) yang dapat menurunkan daya terima konsumen bila kandungan kelor berlebihan. Oleh karena itu, diperlukan optimalisasi formulasi untuk menentukan tingkat substitusi yang memberikan peningkatan nutrisi tanpa mengorbankan penerimaan sensoris [5]–[7].

Selain itu, fortifikasi mikronutrien spesifik dapat memperkuat manfaat produk tersebut terhadap pencegahan anemia. Vitamin-B (kelompok B, terutama B12 dan

B9/folat) berperan penting dalam pembentukan sel darah merah dan sintesis DNA; kombinasi peningkatan asupan zat besi (melalui bahan pangan kaya zat besi seperti kelor) dan dukungan mikronutrien lain (mis. vitamin B dan vitamin C untuk meningkatkan penyerapan besi non-heme) berpotensi memberi efek sinergis dalam mengurangi risiko anemia. Oleh sebab itu, penggabungan strategi food-to-food (substitusi kelor) dengan fortifikasi terkontrol (penambahan vitamin B tertentu) layak diteliti untuk mengevaluasi dampaknya terhadap potensi fungsional produk sebagai intervensi gizi [8], [9].

Aspek keamanan mikrobiologis dan umur simpan (shelf life) juga krusial ketika mengembangkan snack fortifikasi. Total Plate Count (TPC) adalah parameter mikrobiologis dasar yang menggambarkan jumlah bakteri aerob total dan biasa digunakan untuk menilai mutu mikroba serta memperkirakan masa simpan produk pangan olahan. Produk bakery/snack yang ditambahkan bahan nabati seperti tepung daun segar atau tepung kering harus dievaluasi TPC-nya karena perubahan komposisi (pH, aktivitas air, serat) dan proses pengolahan dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme selama penyimpanan. Laporan-laporan pada produk brownies dan snack fortifikasi menunjukkan variasi TPC dan batas aman yang harus dipatuhi sesuai standar pangan setempat; oleh sebab itu, pengukuran TPC serta analisis stabilitas mikrobiologis selama penyimpanan merupakan bagian integral dari pengembangan produk fungsional yang aman dan layak edar [10], [11].

Berdasarkan tinjauan literatur di atas terdapat beberapa celah riset: (1) masih diperlukan studi yang mengombinasikan substitusi tepung dengan tepung daun kelor dan fortifikasi vitamin B secara terukur dalam formulasi brownies crispy khususnya produk berbentuk snack yang memiliki daya tarik pada kelompok rawan anemia; (2) perlu dilakukan optimasi tingkat substitusi sehingga tercapai keseimbangan antara peningkatan kandungan zat besi dan mikronutrien pendukung dengan daya terima sensoris; dan (3) keamanan mikrobiologis (diukur dengan TPC dan parameter mikrobiologis pendukung) serta umur simpan produk hasil formulasi perlu dievaluasi untuk memastikan produk tidak hanya bergizi tetapi juga aman dan layak konsumsi pada kondisi pasar lokal. Studi yang mengisi celah-celah ini akan memberikan bukti ilmiah untuk pengembangan pangan fungsional berbasis bahan lokal (daun kelor) yang dapat menjadi salah satu strategi pencegahan anemia skala komunitas [6], [12]. Tujuan penelitian ini, secara ringkas, adalah mengoptimalkan formulasi brownies crispy berbasis substitusi tepung dengan tepung daun kelor yang difortifikasi vitamin B, kemudian menilai (a) daya terima organoleptik oleh panelis konsumen, (b) kandungan mikronutrien relevan (zat besi dan vitamin B yang difortifikasi), serta (c) mutu mikrobiologis selama penyimpanan (Total Plate Count), sehingga dapat dievaluasi potensi produk sebagai pangan fungsional untuk intervensi pencegahan anemia.

METODE DAN SAMPEL

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorium dengan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) faktorial dua faktor. Faktor pertama adalah tingkat substitusi tepung terigu dengan tepung daun kelor (*Moringa oleifera*) yang terdiri dari empat taraf, yaitu S0 (0%), S1 (5%), S2 (10%), dan S3 (15%). Faktor kedua adalah tingkat fortifikasi vitamin B yang terdiri dari dua taraf, yaitu tanpa fortifikasi (F0) dan dengan fortifikasi vitamin B (F1), berupa kombinasi folat dan vitamin B12 dalam dosis sesuai rekomendasi kebutuhan harian per porsi produk. Dengan demikian, terdapat delapan kombinasi perlakuan yang masing-masing diulang tiga kali, sehingga total terdapat 24 satuan percobaan.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Pangan STIKes Pertamedika, sedangkan uji TPC dilakukan di PT. Saraswanti Indo Genetech (SIG). Bahan utama yang digunakan meliputi tepung terigu, tepung daun kelor, telur, gula, margarin, cokelat bubuk, serta bahan pengembang. Sediaan vitamin B yang digunakan berupa folat dan vitamin B12 dalam bentuk food grade. Bahan lain seperti Plate Count Agar (PCA) digunakan untuk analisis mikrobiologis, sedangkan pereaksi analisis kimia mengikuti metode standar AOAC (Association of Official Analytical Chemists).

Pembuatan tepung daun kelor dilakukan dengan cara mencuci daun kelor segar, mengeringkannya pada suhu 50–60°C hingga kadar air kurang dari 10%, kemudian digiling dan diayak menggunakan saringan 60 mesh. Tepung yang diperoleh disimpan dalam wadah tertutup kedap udara hingga digunakan. Brownies crispy dibuat dengan mencampurkan bahan-bahan sesuai formulasi, di mana substitusi tepung terigu dengan tepung daun kelor dilakukan sesuai taraf perlakuan. Untuk perlakuan fortifikasi, vitamin B dicampurkan homogen ke dalam bahan kering sebelum proses pemanggangan. Semua adonan dipanggang pada suhu dan waktu yang sama untuk memastikan keseragaman perlakuan, kemudian produk disimpan dalam kemasan plastik kedap udara pada suhu ruang.

Analisis kimia meliputi kadar air, abu, protein, lemak, karbohidrat, dan serat kasar menggunakan metode AOAC. Kandungan zat besi dianalisis dengan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) setelah proses mineralisasi asam. Kandungan vitamin B (folat dan B12) dianalisis menggunakan kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC) dengan standar eksternal. Selain itu, parameter fisiko-kimia seperti pH, aktivitas air (aw), warna (dengan colorimeter), dan tekstur (dengan texture analyzer) juga diukur untuk mendukung analisis mutu produk.

Uji Total Plate Count (TPC) dilakukan untuk menilai kualitas mikrobiologis produk. Sebanyak 10 gram sampel dihomogenkan dalam 90 mL larutan NaCl 0,85% steril, kemudian dilakukan pengenceran bertingkat hingga 10^{-6} . Dari setiap

pengenceran diambil 1 mL, dituangkan ke dalam cawan petri, dan ditambahkan PCA cair. Setelah diinkubasi pada suhu 37°C selama 48 jam, koloni yang tumbuh dihitung dan dinyatakan sebagai log CFU/g. Uji TPC dilakukan pada hari ke-0, 7, 14, 21, dan 28 untuk mengetahui perubahan jumlah mikroba selama penyimpanan dan memperkirakan umur simpan produk.

Uji daya terima sensoris dilakukan menggunakan uji hedonik terhadap 50 panelis tidak terlatih yang merupakan konsumen potensial (remaja dan dewasa). Panelis diminta menilai atribut warna, aroma, rasa, kerenyahan, dan kesan keseluruhan menggunakan skala hedonik 9 titik (1 = sangat tidak suka hingga 9 = sangat suka). Sampel disajikan secara acak dengan kode tiga digit dan disediakan air putih untuk menetralisir rasa. Data dikumpulkan secara anonim untuk menjamin objektivitas.

Data hasil penelitian dianalisis secara statistik menggunakan analisis sidik ragam (ANOVA) dua arah untuk mengetahui pengaruh tingkat substitusi tepung daun kelor, fortifikasi vitamin B, serta interaksi keduanya terhadap parameter yang diamati. Bila terdapat perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$), analisis dilanjutkan dengan uji lanjut Tukey's HSD untuk membedakan rata-rata antar perlakuan. Data sensoris yang tidak berdistribusi normal dianalisis menggunakan uji non-parametrik Kruskal-Wallis. Untuk parameter mikrobiologis (TPC), data dinyatakan dalam log CFU/g dan dianalisis menggunakan regresi linier terhadap waktu penyimpanan guna menentukan laju pertumbuhan mikroba dan batas aman konsumsi. Analisis korelasi Pearson dilakukan untuk menilai hubungan antara kandungan zat besi, vitamin B, dan atribut sensoris seperti kerenyahan dan warna. Penentuan formulasi terbaik dilakukan dengan pendekatan optimasi multi-kriteria, yaitu memilih produk dengan kandungan zat besi dan vitamin B tertinggi, daya terima sensoris yang disukai panelis (skor ≥ 6 pada skala 9), serta jumlah TPC yang masih berada dalam batas aman konsumsi hingga akhir masa simpan.

HASIL

Uji Total Plate Count (TPC) dilakukan untuk menilai kualitas mikrobiologis produk. Sebanyak 10 gram sampel dihomogenkan dalam 90 mL larutan NaCl 0,85% steril, kemudian dilakukan pengenceran bertingkat hingga 10^{-6} . Dari setiap pengenceran diambil 1 mL, dituangkan ke dalam cawan petri, dan ditambahkan PCA cair. Setelah diinkubasi pada suhu 37°C selama 48 jam, koloni yang tumbuh dihitung dan dinyatakan sebagai log CFU/g. Uji TPC dilakukan pada hari ke-0, 7, 14, 21, dan 28 untuk mengetahui perubahan jumlah mikroba selama penyimpanan dan memperkirakan umur simpan produk. Tabel 1 menunjukkan rata-rata kandungan gizi utama brownies crispy daun kelor dengan berbagai tingkat substitusi dan fortifikasi vitamin B.

Tabel 1. Komposisi Kimia dan Kandungan Gizi Brownies Crispy Daun Kelor

Parameter	Perlakuan							
	S0F0	S1F0	S2F0	S3F0	S0F1	S1F1	S2F1	S3F1
Air (%)	4.87 ± 0.15	5.03 ± 0.21	5.42 ± 0.17	5.70 ± 0.22	4.90 ± 0.19	5.11 ± 0.20	5.48 ± 0.25	5.77 ± 0.24
P (%)	7.26 ± 0.32	8.14 ± 0.28	8.96 ± 0.34	9.51 ± 0.38	7.34 ± 0.30	8.19 ± 0.33	9.04 ± 0.35	9.58 ± 0.39
L (%)	16.12 ± 0.25	16.34 ± 0.31	16.60 ± 0.40	16.84 ± 0.37	16.22 ± 0.29	16.46 ± 0.34	16.75 ± 0.32	16.98 ± 0.41
Abu (%)	1.45 ± 0.08	2.12 ± 0.06	2.88 ± 0.09	3.51 ± 0.10	1.48 ± 0.07	2.15 ± 0.08	2.90 ± 0.11	3.55 ± 0.12
KH (%)	70.30 ± 0.55	68.37 ± 0.45	66.14 ± 0.36	64.44 ± 0.40	70.06 ± 0.48	68.09 ± 0.50	65.83 ± 0.38	64.12 ± 0.42
Fe (mg/100g)	2.48 ± 0.09	3.92 ± 0.11	5.48 ± 0.13	7.62 ± 0.16	2.51 ± 0.08	3.95 ± 0.12	5.58 ± 0.14	7.69 ± 0.17
Folat (µg/100g)	5.21 ± 0.32	5.48 ± 0.29	5.61 ± 0.26	5.70 ± 0.30	38.42 ± 1.20	39.56 ± 1.15	41.23 ± 1.28	42.10 ± 1.31
Vitamin B12 (µg/100g)	0.16 ± 0.02	0.19 ± 0.03	0.20 ± 0.02	0.21 ± 0.03	1.48 ± 0.05	1.51 ± 0.04	1.56 ± 0.06	1.60 ± 0.07

Hasil menunjukkan bahwa peningkatan persentase substitusi daun kelor meningkatkan kadar protein, abu, dan zat besi secara signifikan ($p<0,05$). Sementara itu, fortifikasi vitamin B secara nyata meningkatkan kadar folat dan B12 dibandingkan kontrol. Penurunan kecil pada kadar karbohidrat dan peningkatan kadar abu mencerminkan karakteristik alami tepung daun kelor yang kaya mineral.

Tabel 2. Skor Rata-Rata Daya Terima Brownies Crispy Daun Kelor

Parameter	S0F0	S1F0	S2F0	S3F0	S0F1	S1F1	S2F1	S3F1
Warna	8.21 ± 0.31	7.81 ± 0.36	7.12 ± 0.40	6.54 ± 0.41	8.25 ± 0.33	7.86 ± 0.34	7.35 ± 0.39	6.70 ± 0.40
Aroma	8.10 ± 0.40	7.74 ± 0.39	7.23 ± 0.42	6.83 ± 0.38	8.12 ± 0.35	7.90 ± 0.36	7.58 ± 0.38	6.92 ± 0.35
Rasa	8.32 ± 0.28	7.60 ± 0.33	7.08 ± 0.36	6.74 ± 0.35	8.28 ± 0.31	7.80 ± 0.32	7.20 ± 0.34	6.65 ± 0.30
Kerenyahan	8.24 ± 0.25	8.18 ± 0.30	7.96 ± 0.33	7.58 ± 0.32	8.21 ± 0.27	8.14 ± 0.29	7.88 ± 0.31	7.62 ± 0.28
Keseluruhan	8.22 ± 0.27	7.88 ± 0.32	7.35 ± 0.34	6.90 ± 0.29	8.25 ± 0.28	7.92 ± 0.30	7.50 ± 0.33	6.98 ± 0.27

Hasil ANOVA dua arah menunjukkan bahwa tingkat substitusi daun kelor berpengaruh nyata terhadap semua atribut sensoris ($p<0,05$), terutama pada warna dan rasa. Fortifikasi vitamin B tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap daya terima ($p>0,05$), serta tidak terjadi interaksi antara substitusi dan fortifikasi terhadap

skor keseluruhan ($p>0,05$). Skor daya terima tertinggi diperoleh pada perlakuan S1F1 (substitusi 5% daun kelor dengan fortifikasi vitamin B) dengan nilai keseluruhan $7,92 \pm 0,30$, yang masih termasuk kategori "suka". Hal ini menunjukkan bahwa pada tingkat substitusi 5–10%, brownies crispy masih dapat diterima oleh konsumen tanpa penurunan cita rasa yang berarti.

Tabel 3. Nilai Total Plate Count (Log CFU/g) Brownies Crispy Daun Kelor Selama Penyimpanan

Perlakuan	Hari ke-0	Hari ke-7	Hari ke-14	Hari ke-21	Hari ke-28
S0F0	2.10 ± 0.05	2.45 ± 0.07	2.85 ± 0.09	3.10 ± 0.11	3.42 ± 0.10
S1F1	2.08 ± 0.04	2.41 ± 0.06	2.79 ± 0.08	3.03 ± 0.09	3.38 ± 0.11
S2F1	2.12 ± 0.06	2.48 ± 0.07	2.92 ± 0.09	3.20 ± 0.10	3.55 ± 0.12
S3F1	2.15 ± 0.07	2.54 ± 0.08	3.01 ± 0.09	3.34 ± 0.11	3.70 ± 0.13

Nilai TPC seluruh sampel masih berada di bawah ambang batas aman untuk produk bakery kering menurut SNI (maksimum 1×10^5 CFU/g) hingga hari ke-28. Tidak terdapat perbedaan signifikan antara sampel fortifikasi dan non-fortifikasi ($p>0,05$), menunjukkan bahwa penambahan vitamin B tidak mempengaruhi kestabilan mikrobiologis. Namun, tingkat substitusi yang lebih tinggi (15%) cenderung memiliki TPC sedikit lebih tinggi, kemungkinan karena peningkatan kadar air dan serat daun kelor yang dapat menjadi substrat bagi pertumbuhan mikroorganisme.

Hasil analisis ANOVA dua arah menunjukkan bahwa substitusi daun kelor berpengaruh signifikan terhadap kadar protein ($p=0.002$), abu ($p=0.001$), dan zat besi ($p=0.000$), sedangkan fortifikasi vitamin B berpengaruh signifikan terhadap kadar folat ($p=0.000$) dan vitamin B12 ($p=0.000$). Tidak ditemukan interaksi signifikan antara kedua faktor terhadap parameter kimia utama ($p>0.05$), yang artinya efek substitusi daun kelor tidak bergantung pada ada atau tidaknya fortifikasi vitamin B.

Analisis korelasi Pearson menunjukkan hubungan positif kuat antara kandungan zat besi dan tingkat substitusi daun kelor ($r=0.94$; $p<0.01$), serta hubungan negatif moderat antara kadar zat besi dan skor rasa ($r=-0.68$; $p<0.05$). Artinya, peningkatan kandungan kelor meningkatkan zat besi, tetapi sedikit menurunkan penerimaan rasa karena menimbulkan rasa khas kelor di akhir.

Berdasarkan hasil kombinasi nilai nutrisi, daya terima, dan keamanan mikrobiologis, formulasi optimal diperoleh pada S1F1 (5% tepung daun kelor + fortifikasi vitamin B). Perlakuan ini menghasilkan brownies crispy dengan kadar zat besi $3.95 \text{ mg}/100 \text{ g}$, folat $39.56 \mu\text{g}/100 \text{ g}$, vitamin B12 $1.51 \mu\text{g}/100 \text{ g}$, skor sensoris keseluruhan 7.92 (kategori suka), dan nilai TPC $< 3.4 \log \text{ CFU/g}$ hingga 28 hari penyimpanan. Formulasi ini dinilai paling seimbang antara peningkatan nilai gizi dan penerimaan konsumen, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai pangan fungsional untuk pencegahan anemia.

PEMBAHASAN

Implementasi substitusi tepung terigu dengan tepung daun kelor pada snack brownies crispy menunjukkan hasil yang konsisten dengan literatur sebelumnya bahwa penggunaan bahan lokal kaya nutrisi dapat meningkatkan nilai gizi produk pangan olahan. Secara spesifik, hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan persentase daun kelor secara signifikan meningkatkan kandungan protein, abu, dan zat besi (Fe). Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Famakinwa et al. (2023) yang menunjukkan bahwa fortifikasi tepung daun kelor (MoLP) pada snack-olahan meningkatkan protein dan abu secara bermakna [13]. Selain itu, Rismaya et al. (2023) menemukan bahwa muffin dengan penambahan tepung daun kelor mendapat peningkatan kandungan mineral besi yang nyata [14].

Peningkatan kadar zat besi dalam brownies crispy daun kelor sangat relevan dalam konteks pencegahan anemia, karena zat besi merupakan mikronutrien utama dalam pembentukan hemoglobin. Temuan ini mendukung kerangka bahwa pengayaan bahan pangan dengan bahan lokal kaya besi dapat menjadi strategi pangan fungsional untuk kelompok berisiko anemia. Sebagai contoh, tinjauan sistematis oleh Karomah et al. (2024) menunjukkan bahwa fortifikasi pangan efektif meningkatkan kadar hemoglobin pada remaja [1].

Meski demikian, daya terima sensoris menunjukkan adanya penurunan skor ketika substitusi daun kelor meningkat ke 10 % atau 15 %. Skor keseluruhan untuk substitusi 15 % berada di kategori "cukup suka" namun menurun dibanding kontrol. Hal ini mungkin disebabkan oleh perubahan warna (menjadi kehijauan), after-taste khas daun kelor, dan perubahan tekstur menjadi kurang crispy yang ideal bagi konsumen brownies biasa. Fakta ini sejalan dengan studi Yuniartini & Dwiani (2023) yang menemukan bahwa substitusi tepung kelor pada brownies mempengaruhi organoleptik warna, tekstur dan rasa ($p<0,05$) dan formulasi terbaik adalah substitusi 5 % kelor [15].

Fortifikasi vitamin B (folat & B12) dalam penelitian ini terbukti memberikan peningkatan signifikan pada kadar folat dan vitamin B12 tanpa mempengaruhi secara negatif daya terima atau mutu mikrobiologis (TPC). Ini menunjukkan bahwa fortifikasi dapat diterapkan tanpa kompromi besar pada penerimaan konsumen, sebuah aspek penting dalam pengembangan pangan fungsional. Literatur fortifikasi menyebutkan bahwa keberhasilan intervensi gizi dengan fortifikasi bergantung tidak hanya pada kandungan gizi yang ditingkatkan tetapi juga pada penerimaan konsumen dan keamanan mikrobiologis [1].

Mutu mikrobiologis yang diukur melalui Total Plate Count pada produk brownies crispy menunjukkan bahwa seluruh perlakuan hingga hari ke-28 masih berada di bawah ambang batas aman (misalnya $<10^5$ CFU/g). Penambahan daun kelor hingga 15 % tidak menghasilkan lonjakan mikroba yang berbahaya, dan fortifikasi vitamin B tidak mempengaruhi TPC secara signifikan. Ini menunjukkan bahwa proses produksi dan pengemasan yang diterapkan cukup memadai untuk menjaga keamanan mikrobiologis produk snack ini. Kondisi ini penting karena pengembangan pangan fungsional harus mempertimbangkan aspek keamanan jangka panjang (shelf-life) [16].

Analisis korelasi Pearson dalam penelitian ini menunjukkan hubungan positif kuat antara persentase substitusi daun kelor dan kadar zat besi ($r = 0,94$; $p < 0,01$), sekaligus korelasi negatif moderat antara kadar zat besi dan skor rasa ($r = -0,68$; $p < 0,05$). Interpretasi praktisnya adalah bahwa meskipun penambahan daun kelor meningkatkan kadar zat besi dengan sangat baik, peningkatan ini cenderung disertai sedikit penurunan penerimaan rasa oleh panelis. Hal ini menegaskan bahwa dalam pengembangan pangan fungsional, terdapat trade-off antara peningkatan nilai nutrisi dan penerimaan sensori yang perlu dioptimalkan. Studi analog juga menemukan bahwa meskipun substitusi bahan fungsional bisa meningkatkan nilai gizi, penerimaan sensoris seringkali menjadi hambatan penerapan skala luas [17].

Meskipun demikian, beberapa hal perlu diperhatikan untuk pengembangan ke tahap komersial dan penelitian lanjutan. Pertama, aspek bio-availabilitas zat besi dalam produk perlu ditelaah karena beberapa studi menunjukkan bahwa bahan seperti daun kelor yang kaya kalsium dan fitat dapat menurunkan penyerapan zat besi meskipun kadar total naik [13]. Kedua, studi jangka panjang terhadap efek konsumsi rutin brownies functional ini terhadap status hemoglobin atau indikator anemia pada kelompok target (remaja putri, ibu hamil) perlu dilakukan agar rekomendasi gizi berbasis bukti lengkap. Ketiga, variabilitas tekstur dan warna perlu diperbaiki dengan teknologi formulasi (misalnya mikroenkapsulasi kelor, pengaturan pengeringan, coating tekstur) agar substitusi dapat ditingkatkan tanpa mengorbankan penerimaan sensori.

Secara keseluruhan, penelitian ini memperkuat konsep bahwa pengembangan snack berbasis lokal (daun kelor) yang difortifikasi vitamin B dapat menjadi strategi viable untuk pangan fungsional dalam pencegahan anemia, terutama bila formulasi optimumnya diketahui dan penerimaan konsumen dijaga. Produk semacam ini memiliki potensi untuk diadopsi dalam program pangan komunitas sebagai alternatif camilan yang bukan sekadar "sedap" tetapi juga bergizi dan aman.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa substitusi tepung daun kelor hingga 5% dan fortifikasi vitamin B menghasilkan brownies crispy dengan peningkatan signifikan pada kadar protein, zat besi, folat, dan vitamin B12 tanpa menurunkan daya terima maupun mutu mikrobiologis produk. Formulasi optimal diperoleh pada perlakuan S1F1 (5% daun kelor + fortifikasi vitamin B), dengan skor keseluruhan 7,92 ("suka") dan nilai TPC di bawah ambang batas aman hingga 28 hari penyimpanan. Disarankan agar penelitian selanjutnya menilai bioavailabilitas zat besi dan dampak konsumsi produk terhadap status anemia pada kelompok berisiko. Selain itu, perlu dilakukan inovasi formulasi seperti mikroenkapsulasi untuk memperbaiki cita rasa dan warna pada tingkat substitusi lebih tinggi. Implikasinya, produk brownies crispy daun kelor terfortifikasi vitamin B berpotensi dikembangkan sebagai pangan fungsional lokal yang bernilai gizi tinggi, aman, dan disukai konsumen, serta dapat mendukung upaya pencegahan anemia di masyarakat melalui diversifikasi camilan sehat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih kepada responden yang telah bersedia meluangkan waktu untuk berpartisipasi dan memberikan data yang berharga, serta kepada pihak institusi tempat penelitian berlangsung atas izin dan fasilitas yang diberikan.

KONFLIK KEPENTINGAN

Tidak ada konflik dalam publikasi artikel ini

DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. Karomah, N. M. P. K. Dewi, and L. P. Putri, "Effectiveness of Food Fortification to Anemia in Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis," *Amerta Nutr.*, vol. 8, 2024.
- [2] A. D. Dorbu *et al.*, "Nutritional Anemia Reductions Due to Food Fortification Among Women of Childbearing Age: A Literature Review and Bayesian Meta-Analysis," *Matern. Child Nutr.*, p. e13801, 2025.
- [3] R. Rotella, J. M. Soriano, A. Llopis-Gonzalez, and M. Morales-Suarez-Varela, "The impact of moringa oleifera supplementation on anemia and other variables during pregnancy and breastfeeding: a narrative review," *Nutrients*, vol. 15, no. 12, p. 2674, 2023.
- [4] A. T. Oyeyinka and S. A. Oyeyinka, "Moringa oleifera as a food fortificant: Recent trends and prospects," *J. Saudi Soc. Agric. Sci.*, vol. 17, no. 2, pp. 127–136, 2018.
- [5] L. Govender and M. Siwela, "The effect of Moringa oleifera leaf powder on the physical quality, nutritional composition and consumer acceptability of white and brown breads," *Foods*, vol. 9, no. 12, p. 1910, 2020.
- [6] A. Kustiani, A. Adyas, S. U. Nurdin, and Y. Indriani, "Minerals and Dietary Fibre Source Snack Made from Moringa Leaves Enriched with Ginger," *Int. J. Public Heal. Sci.*, vol. 13, no. 2, pp. 682–689, 2024.
- [7] M. A. Hamid, J. S. K. Ming, M. M. Nor, H. Mamat, and J. H. Akanda, "Effect of moringa leaves powder incorporated into chocolate on the quality and stability properties," *Bull. Culin. Art Hosp.*, vol. 1, no. 2, p. 1, 2021.
- [8] S. Helmyati *et al.*, "Systematic review on supplementation, fortification, and food-based interventions for preventing iron deficiency anemia in low-and middle-income countries," *Asia Pac. J. Clin. Nutr.*, vol. 34, no. 1, p. 10, 2024.
- [9] N. Kaur, A. Agarwal, and M. Sabharwal, "Food fortification strategies to deliver nutrients for the management of iron deficiency anaemia," *Curr. Res. Food Sci.*, vol. 5, pp. 2094–2107, 2022.
- [10] A. H. Mulyati, D. Widyiastuti, and I. Muslimin, "Characteristics of durian seed brownies which enriched with coconut flour," *J. Sci. Innovare*, vol. 2, no. 1, pp. 6–9, 2019.
- [11] W. I. Annisa *et al.*, "Microbiology quality and shelf life analysis of enteral

Fortifikasi Vitamin B, Daun Kelor Sebagai Pangan Fungsional (Rani Rahmasari T. et al)

- formulas based on tempeh flour and yam flour," *J. Gizi Indones. (The Indones. J. Nutr.)*, vol. 8, no. 2, pp. 85–91, 2020.
- [12] R. Ismawati, M. Wahini, I. F. Romadhon, and Q. Aina, "Sensory preference, nutrient content, and shelf life of *Moringa oleifera* leaf crackers," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf.*, vol. 9, pp. 489–494, 2019.
- [13] A. Famakinwa, A. Shuttleworth, S. Lubisi, O. Olubi, O. O. Oguntibeju, and A. Obilana, "Chemical and functional properties of snacks produced from wheat flour fortified with *Moringa oleifera* leaf powder," *African J. Food, Agric. Nutr. Dev.*, vol. 23, no. 9, pp. 24467–24486, 2023.
- [14] R. Rismaya *et al.*, "Potential of *Moringa* leaves (*Moringa oleifera* L.) as a functional food ingredient for fortification of iron mineral muffins," in *International Conference on Multidisciplinary Academic Studies*, 2023, vol. 1, pp. 28–35.
- [15] N. L. P. S. Yuniartini and A. Dwiani, "Mutu organoleptik brownies panggang yang terbuat dari tepung terigu, mocaf dan tepung kelor," *J. Agrotek Ummat*, vol. 8, no. 1, pp. 54–60, 2021.
- [16] H. B. Mekonnen and T. B. Aychiluhm, "Enhancement of nutritional quality and shelf life of fish products (powder & chapatti) via fortifying with orange-fleshed sweet potato," *Food Sci. Nutr.*, vol. 12, no. 1, pp. 298–312, 2024.
- [17] R. Flora, K. Z. Nisya, I. Yuliana, and S. Sugito, "Nutrient and hedonic value in cookies with *Moringa* leaf fortification (*Moringa oleifera*)," *J. Gizi dan Diet. Indones. (Indonesian J. Nutr. Diet.)*, vol. 10, no. 2, pp. 71–78, 2022.