

Enumerasi dan Penyaringan Kombinasi Menu MBG Berbasis Kombinatorika Bersyarat dengan Kendala Biaya dan Energi

Azhara Amelia H¹, Yuda Advis Ambrosius Sitohang ², Suvriadi Panggabean³

^{1,2,3} Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Medan

azharaamelia14@gmail.com

Diterima:15-06-2026; Direvisi:29-09-2026; Dipublikasi: 29-09-2026

Abstract

The Free Nutritious Food Program (MBG) requires menus that are diverse, nutritious, affordable, and non-monotonous. This study applies constrained combinatorics (kombinatorika bersyarat) to filter MBG menu combinations based on three constraints: cost $\leq$ Rp15,000, mandatory inclusion of at least one animal protein source, and energy 530–630 kcal per serving. Price data were obtained from SIMPANG Medan, Pikiran Rakyat Medan, and ANTARA (May 19–25, 2026), while nutritional data were sourced from the 2017 Indonesian Food Composition Table (TKPI). Using the Multiplication Rule and Cartesian product enumeration with constraint filtering via Google Colab, 9,375 initial combinations were generated. Of these, only 1,582 (16.87%) satisfied all three constraints simultaneously, yielding a search-space reduction of 83.13%. Eight menu recommendations were selected via purposive sampling based on cost and energy quartile distributions, with costs of Rp10,450–Rp14,500 and energy levels of 532–625 kcal. The study demonstrates that constrained combinatorics provides a simple, transparent, and practically applicable alternative to linear programming or metaheuristic approaches for field-level MBG menu planning.

Keywords: kombinatorika bersyarat; menu filtering; mbg; budget constraint; energy sufficiency

Abstrak

Program Pangan Bergizi Gratis (MBG) mensyaratkan menu yang beragam, bergizi, terjangkau, dan tidak monoton. Studi ini bertujuan menerapkan kombinatorika bersyarat untuk menyaring kombinasi menu MBG berdasarkan tiga kendala: biaya $\leq$ Rp15.000, wajib mengandung minimal satu protein hewani, dan energi 530–630 kkal per porsi. Data harga diperoleh dari SIMPANG Medan, Pikiran Rakyat Medan, dan ANTARA (19–25 Mei 2026), sedangkan data gizi bersumber dari Tabel Komposisi Pangan Indonesia (TKPI) 2017. Menggunakan Kaidah Perkalian dan enumerasi perkalian Kartesius dengan penyaringan berkendala via Google Colab, dihasilkan 9.375 kombinasi awal. Dari jumlah tersebut, hanya 1.582 (16,87%) memenuhi ketiga kendala secara simultan, sehingga reduksi ruang pencarian mencapai 83,13%. Delapan menu rekomendasi dipilih melalui purposive sampling berbasis distribusi kuartil biaya dan energi, dengan kisaran biaya Rp10.450–Rp14.500 dan energi 532–625 kkal. Penelitian ini membuktikan bahwa kombinatorika bersyarat merupakan alternatif yang sederhana, transparan, dan aplikatif dibandingkan pemrograman linear atau pendekatan metaheuristik untuk perencanaan menu MBG di tingkat lapangan.

Kata Kunci: kombinatorika bersyarat; penyaringan menu; makan bergizi gratis; kendala anggaran; angka kecukupan gizi .

1. PENDAHULUAN

Program Makan Bergizi Gratis (MBG) merupakan program strategis nasional yang mulai dilaksanakan pada Januari 2025 dengan target meningkatkan kualitas gizi anak usia sekolah. Pemerintah mengalokasikan anggaran sebesar Rp71 triliun pada 2025 dan

meningkat menjadi sekitar Rp335 triliun pada 2026. Berdasarkan kebijakan Badan Gizi Nasional, anggaran per paket menu untuk siswa SD kelas 4 ke atas, SMP, dan SMA ditetapkan sebesar Rp15.000, yang mencakup seluruh komponen bahan pangan dalam satu porsi. Sementara itu, untuk balita, TK, PAUD, serta siswa SD kelas 1–3, anggaran per porsi adalah Rp8.000–Rp10.000 (Badan Gizi Nasional, 2025; Diannita, 2025). Standar menu MBG dirancang memenuhi sekitar 30–35% dari Angka Kecukupan Gizi (AKG) harian, sejalan dengan upaya menurunkan angka stunting yang masih tercatat 19,8% pada 2024. Program serupa di negara lain terbukti menjadi jaring pengaman gizi bagi anak kurang mampu (Stern et al., 2023).

Meskipun berskala besar, program ini menghadapi tantangan operasional dalam penyusunan menu harian yang beragam, bergizi, dan sesuai anggaran. Petugas gizi di Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG) seringkali kesulitan menciptakan variasi menu secara manual karena terbatasnya waktu dan banyaknya kendala yang harus dipenuhi secara simultan (Takeuchi & Katagiri, 2023). Kondisi serupa di Indonesia menuntut pendekatan sistematis untuk menyaring kombinasi menu yang layak.

Berbagai penelitian telah mengembangkan model optimasi menu menggunakan pemrograman linear (Stern et al., 2023; Makbul et al., 2023), algoritma genetika (Jia et al., 2024; Moreira et al., 2017), serta pembelajaran mesin (Fajemisin et al., 2025). Namun, pendekatan tersebut umumnya memerlukan perangkat lunak khusus sehingga sulit diadopsi petugas gizi di lapangan. Penelitian tentang MBG di Indonesia juga masih terbatas pada aspek logistik rantai pasok, belum menyentuh optimalisasi variasi menu berbasis kombinatorika bersyarat. Nazri & Sufahani (2024) menunjukkan bahwa pemrograman bilangan bulat efektif meminimalkan biaya menu sekolah sambil memenuhi kebutuhan gizi siswa. Benvenuti et al. (2024) memperluas pendekatan ini dengan pemrograman tiga-objektif yang mempertimbangkan gizi, jejak karbon, dan konsumsi air secara simultan. Eustachio Colombo et al. (2020) di Swedia membuktikan bahwa optimasi menu sekolah dapat menurunkan emisi gas rumah kaca hingga 40% dan biaya hingga 11% tanpa mengorbankan standar gizi.

Berdasarkan kajian literatur, terdapat tiga kesenjangan penelitian: (1) dominasi metode pemrograman matematika yang membutuhkan keahlian komputasi tinggi; (2) jaranganya eksplorasi kombinatorika bersyarat sebagai pendekatan sederhana untuk perencanaan menu; dan (3) belum adanya penelitian yang secara simultan menerapkan tiga kendala—anggaran, protein hewani, dan energi pada menu MBG berbasis data harga aktual lokal.

Kebaruan penelitian ini adalah: (1) penerapan kombinatorika bersyarat pada penyusunan menu MBG; (2) pengintegrasian kendala biaya $\leq$ Rp15.000, keharusan protein hewani, dan energi 530–630 kkal; (3) penggunaan data harga aktual dari SIMPANG Medan, Pikiran Rakyat Medan, dan ANTARA (Mei 2026); (4) penyediaan model sederhana yang dapat diaplikasikan tanpa perangkat lunak kompleks.

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi dan mengkategorikan bahan pangan pokok di wilayah Medan ke dalam enam kategori menu MBG.
2. Memodelkan proses penyusunan menu MBG sebagai masalah kombinatorial dengan batasan.
3. Menghitung total kemungkinan kombinasi menu tanpa batasan dan jumlah variasi menu yang memenuhi seluruh batasan (biaya, protein hewani, energi).

Hasil yang diharapkan adalah model penyusunan menu MBG yang efisien, ekonomis, dan bergizi berbasis kombinatorika bersyarat, serta rekomendasi menu layak untuk implementasi di SPPG.

2. METODE PELAKSANAAN

2.1 Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan komputasional berbasis matematika diskrit, yaitu kombinatorika bersyarat (*kombinatorika bersyarat*). Desain penelitian yang digunakan adalah *optimasi kombinatorial* dengan menyusun himpunan solusi diskrit yang terbatas dan mengevaluasinya terhadap fungsi objektif berupa pemenuhan tiga batasan.

2.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret–Mei 2026. Lokasi pengumpulan data sekunder meliputi:

1. Sistem Informasi Pangan (SIMPANG) Kota Medan (simpang.medan.go.id)
2. Data harga dari Pikiran Rakyat Medan (19 Mei 2026) dan ANTARA (25 Mei 2026)
3. Tabel Komposisi Pangan Indonesia (TKPI) 2017 di Perpustakaan Universitas Sumatera Utara

2.3 Subjek dan Objek Penelitian

Subjek penelitian adalah bahan pangan yang tercatat dalam sumber data resmi (Pikiran Rakyat Medan, ANTARA, SIMPANG Medan, dan TKPI 2017) serta dapat dikategorikan ke dalam enam kelompok menu MBG: protein hewani (P1), protein nabati (P2), karbohidrat (K), sayuran (S), buah (B), dan minuman (M). Dari seluruh data yang terkumpul, dipilih 5 jenis bahan per kategori menggunakan teknik pemilihan purposif berdasarkan dua kriteria: (1) kelengkapan data harga yang tersedia pada minimal satu sumber resmi periode 19–25 Mei 2026, dan (2) kelengkapan data kandungan energi per porsi yang tersedia dalam TKPI 2017. Bahan pangan yang tidak memiliki data harga atau energi yang terverifikasi dari sumber-sumber tersebut dikeluarkan dari sampel.

Objek penelitian adalah variasi kombinasi menu yang disusun dari keenam kategori tersebut, dievaluasi terhadap tiga batasan.

2.4 Instrumen dan Bahan Penelitian

Instrumen yang digunakan: lembar ekstraksi data harga (Excel), lembar ekstraksi data gizi dari TKPI 2017, dan kalkulator kombinatorial berbasis Excel.

Bahan penelitian:

1. Data harga dari Pikiran Rakyat Medan (19 Mei 2026) untuk 22 komoditas (Pikiran Rakyat Medan, 2026)
2. Data harga terkini dari ANTARA (25 Mei 2026) untuk 5 komoditas (ANTARA, 2026)
3. Data harga lokal Medan dari berbagai sumber (Tribun Medan, RRI Medan, Waspada, VIVA Medan)

4. Standar AKG berdasarkan Permenkes RI No. 28 Tahun 2019 (Kemenkes RI, 2019)
5. Kandungan gizi (energi) dari TKPI 2017 (Kemenkes RI, 2018)

2.5 Prosedur Analisis Data

Analisis dilakukan melalui tiga tahap.

Tahap 1: Kategorisasi dan penyusunan himpunan.

Bahan pangan dikelompokkan ke dalam enam kategori berdasarkan fungsi gizinya dalam satu porsi makan. Dari setiap kategori, dipilih 5 jenis bahan yang paling umum dikonsumsi di Kota Medan dan memiliki data harga serta energi yang lengkap dari sumber-sumber yang telah ditetapkan (Pikiran Rakyat Medan, ANTARA, SIMPANG Medan, dan TKPI 2017). Daftar bahan terpilih disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Himpunan bahan pangan per kategori menu MBG

Kategori	Pilihan 1	Pilihan 2	Pilihan 3	Pilihan 4	Pilihan 5
Protein Hewani (P1)	Telur ayam (1 butir)	Daging ayam	Daging sapi	Ikan kembung	Telur ayam (2 butir)
Protein Nabati (P2)	Tahu putih (1 potong)	Tempe (2 potong)	Tahu (2 potong)	Tempe (1 potong)	Tahu + tempe campur
Karbohidrat (K)	Nasi putih 150g	Nasi putih 200g	Nasi jagung 150g	Ubi rebus 200g	Nasi putih 120g
Sayuran (S)	Tumis kangkung	Sup wortel	Sayur bayam	Tumis buncis	Sayur sop campur
Buah (B)	Pisang	Jeruk	Pepaya	Semangka	Melon
Minuman (M)	Air mineral	Susu UHT 150ml	Susu UHT 100ml	-	-

Tahap 2: Perhitungan kombinasi tanpa batasan.

Menggunakan Kaidah Perkalian:

$$T_{total} = |P_1| \times |P_2| \times |K| \times |S| \times |B| \times |M| = 5 \times 5 \times 5 \times 5 \times 5 \times 3 = 9.375$$

T_{total}	: Jumlah seluruh susunan menu yang mungkin dibentuk dengan memilih tepat satu bahan dari setiap kategori
$ P_1 $	: Banyaknya pilihan bahan pada kategori protein hewani.
$ P_2 $	: Banyaknya pilihan bahan pada kategori protein nabati.
$ K $	: Banyaknya pilihan bahan pada kategori karbohidrat.
$ S $	: Banyaknya pilihan bahan pada kategori sayuran.
$ B $	: Banyaknya pilihan bahan pada kategori buah.
$ M $	: Banyaknya pilihan bahan pada kategori minuman.

Ditemukan total seluruh susunan menu yang mungkin dibentuk dengan memilih tepat satu bahan dari setiap kategori sebanyak 9.375. Karena total menu sangat banyak dan tidak semua kombinasi tersebut memenuhi syarat komposisi menu, harga dan jumlah energi, maka diperlukan langkah eliminasi. Oleh karena itu, proses dilanjutkan ke:

Tahap 3: Penyaringan dengan batasan (*penyaringan berkendala*).

Tiga batasan yang diterapkan:

(C1) Batasan anggaran: $Biaya_{total} = \sum Harga \leq 15.000$

(C2) Batasan protein hewani: $p_1 \neq \emptyset$ (otomatis terpe-
nuhi karena setiap menu memilih satu dari P1)

(C3) Batasan energi: $530 \leq Energi_{total} \leq 630$ kkal

Himpunan menu layak (F) didefinisikan sebagai himpunan yang memenuhi tiga batasan yakni C1, C2, C3.

$$F = \{(p_1, p_2, k, s, b, m) \in P_1 \times P_2 \times K \times S \times B \times M \mid Biaya \leq 15.000 \cap 530 \leq Energi \leq 630\}$$

Untuk menghitung seberapa besar ruang pencarian yang berhasil dipangkas setelah diterapkan batasan (*penyaringan berkendala*), digunakan rumus persentase reduksi berikut:

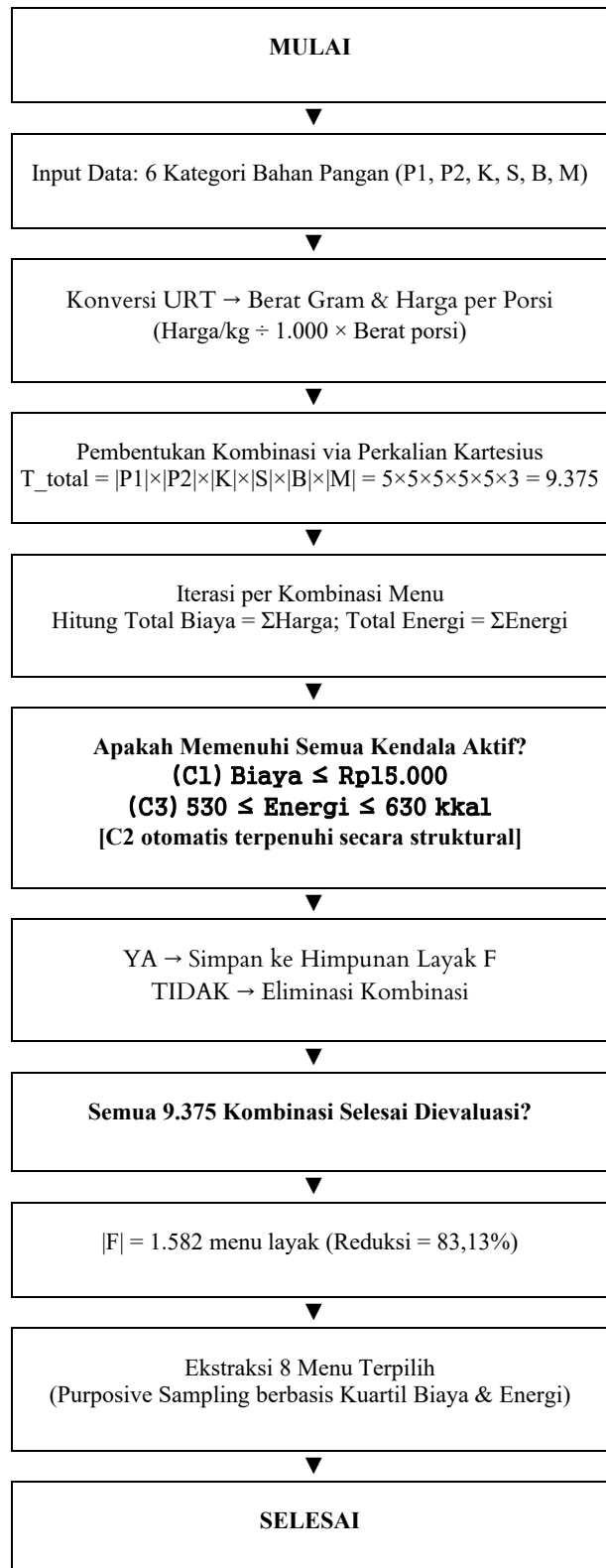
$$Reduksi = \frac{T_{total} - |F|}{T_{total}} \times 100\%$$

Setelah prosedur analisis tiga tahap diuraikan, berikut dijelaskan algoritma terperinci yang digunakan dalam proses enumerasi dan penyaringan kombinasi menu.

2.5.1 Algoritma Enumerasi dan Penyaringan

Karena ruang pencarian sebesar 9.375 kombinasi tidak mungkin dievaluasi secara manual, proses enumerasi dan penyaringan dilakukan dengan bantuan program (Google Colab). dengan algoritma sebagai berikut:

Langkah-langkah enumerasi:



Berdasarkan Gambar 1, prosedur dimulai dari pengumpulan data 6 kategori bahan pangan. Selanjutnya dilakukan pembentukan kombinasi awal menggunakan perkalian Kartesius yang menghasilkan 9.375 alternatif menu. Melalui tahapan ini, syarat keberadaan protein hewani (P1)

telah terpenuhi secara struktural pada setiap tuple kombinasi, sehingga kendala C2 bersifat redundan dan tidak perlu diuji secara eksplisit dalam iterasi hanya dua kendala aktif (C1 dan C3) yang diterapkan. Kombinasi yang lolos dimasukkan ke himpunan layak F yang menghasilkan 1.582 variasi menu, sebelum akhirnya diekstraksi menjadi 8 menu rekomendasi menggunakan purposive sampling berbasis kuartil distribusi.

Untuk memperlihatkan transparansi dan keterlacakan proses algoritmik yang telah diuraikan, berikut disajikan contoh perhitungan manual untuk satu menu yang dinyatakan layak.

2.5.2 Contoh Perhitungan Manual Satu Menu

Untuk menunjukkan transparansi proses, berikut adalah contoh perhitungan salah satu menu yang dinyatakan layak.

Komposisi menu:

Tabel .2 Contoh Sampel Menu layak

Kode	Menu	Porsi	Harga (Rp)	Energi (kkal)
P1	Daging ayam	40 g	1.600	95
P2	Tahu putih	1 potong	1.000	45
K	Nasi putih	200 g	2.800	260
S	Sayur bayam	1 porsi	1.800	50
B	Pisang	1 buah	3.000	105
M	Air mineral	1 botol	500	0
Total	-	-	10.700	555

Tabel 3. Evaluasi kendala

Kendala	Persamaan/Aturan	Hasil	Status
C1	Biaya $\leq$ Rp15.000	Rp10.700 $\leq$ Rp15.000	Terpenuhi
C2	Minimal satu protein hewani	Terdapat daging ayam (P1)	Terpenuhi
C3	530 $\leq$ Energi $\leq$ 630 kkal	530 $\leq$ 555 $\leq$ 630	Terpenuhi

Karena semua kendala terpenuhi, menu ini dinyatakan layak dan masuk dalam daftar 1.582 menu.

Tabel 4. Daftar Menu layak

No	P1	P2	K	S	B	M	Biaya	Energi
1.	Telur ayam (1 butir)	Tahu putih (1 potong)	Nasi putih 150g	Tumis kangkung	Pisang	Susu UHT 150ml	13750	542
2.	Telur ayam (1 butir)	Tahu putih (1 potong)	Nasi putih 150g	Sup wortel	Pisang	Susu UHT 150ml	13750	537
3.	Telur ayam (1 butir)	Tahu putih (1 potong)	Nasi putih 150g	Sayur bayam	Pisang	Susu UHT 150ml	14050	547
4.	Telur ayam (1 butir)	Tahu putih (1 potong)	Nasi putih 150g	Tumis buncis	Pisang	Susu UHT 150ml	14250	552

No	P1	P2	K	S	B	M	Biaya	Energi
5.	butir) Telur ayam (1 butir)	potong) Tahu putih (1 potong)	150g Nasi putih 150g	Sayur sop campur	Pisang	150ml Susu UHT 150ml	13950	545
6.	butir) Telur ayam (1 butir)	potong) Tahu putih (1 potong)	150g Nasi putih 200g	Tumis kangkung	Pisang	Air mineral	10450	532
7.	butir) Telur ayam (1 butir)	potong) Tahu putih (1 potong)	150g Nasi putih 200g	Tumis kangkung	Pisang	Susu UHT 150ml	14450	607
...	...	...	...	...	...	...	...	...
1.582	Telur ayam (2 butir)	Tahu + tempe campur	Nasi putih 120g	Sayur sop campur	Semangk a	Susu UHT 150ml	14680	543

Setelah prosedur enumerasi dan penyaringan dijelaskan, berikut diuraikan sumber data harga yang digunakan beserta metode konversinya dari satuan per kilogram menjadi harga per porsi saji.

2.5.3 Sumber Data Harga dan Konversi per Porsi

Data harga bahan pangan diperoleh dari sumber berikut yang disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 5. Sumber data pendukung

Sumber	Tanggal	Komoditas	Bentuk data
Pikiran Rakyat Medan	19 Mei 2026	22 komoditas	Harga per kg atau per satuan
ANTARA	25 Mei 2026	5 komoditas	Harga per kg
SIMPANG Medan	Maret–Mei 2026	Berbagai bahan	Harga eceran per kg

Konversi harga per kg menjadi harga per porsi dilakukan dengan langkah:

1. Tentukan ukuran porsi (URT) berdasarkan standar MBG dan literatur gizi (misal: 1 porsi ayam = 40g, 1 porsi nasi = 150g/200g, dll.).
2. Hitung harga per gram dari harga per kg:

$$\text{Harga per gram} = \frac{\text{Harga per kg}}{1000}$$

3. Kalikan dengan berat porsi (gram) untuk mendapatkan harga per porsi:

$$\text{Harga per porsi} = \text{Harga per gram} \times \text{Berat porsi (g)}$$

4. Pembulatan ke rupiah terdekat.

Contoh konversi:

- Daging ayam: harga Rp40.000/kg → harga per gram = 40.000/1000 = Rp40/g. Satu porsi 40g → harga = 40 × 40 = Rp1.600.
- Nasi putih: harga Rp14.000/kg → harga per gram = 14.000/1000 = Rp14/g. Porsi 150g → 14 × 150 = Rp2.100; porsi 200g → 14 × 200 = Rp2.800.

Data energi per porsi langsung diperoleh dari Tabel Komposisi Pangan Indonesia (TKPI) 2017 yang sudah menyajikan nilai per 100 g bahan, kemudian disesuaikan dengan berat porsi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi variasi menu Program Makan Bergizi Gratis (MBG) menggunakan pendekatan kombinatorika bersyarat. Berdasarkan data harga bahan pangan di Kota Medan periode 19–25 Mei 2026 yang diperoleh dari Pikiran Rakyat Medan (2026), ANTARA (2026), serta sumber lokal Medan (Tribun Medan, RRI Medan, Waspada), dan data kandungan gizi dari Tabel Komposisi Pangan Indonesia (TKPI) 2017 (Kemenkes RI, 2018), diperoleh hasil sebagai berikut.

3.1.1 Himpunan Bahan Pangan per Kategori

Berdasarkan hasil kategorisasi, ditetapkan 5 (lima) alternatif bahan pangan untuk setiap kategori menu MBG, sehingga diperoleh himpunan bahan pangan yang akan digunakan dalam proses pemodelan dan optimasi. Pemilihan alternatif dilakukan dengan mempertimbangkan kelengkapan data harga serta informasi kandungan energi per porsi berdasarkan ukuran rumah tangga (URT) yang relevan dengan standar penyajian menu MBG. Daftar bahan pangan terpilih beserta harga dan kandungan energinya disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Himpunan bahan pangan per kategori menu MBG beserta harga dan energi

Kategori	Bahan Pilihan	Ukuran Porsi	Harga (Rp)	Energi (kkal)
Protein Hewani (P1)	Telur ayam	1 butir (55g)	1.650	77
	Daging ayam	40g (1 potong)	1.600	95
	Daging sapi	40g	5.900	110
	Ikan kembung	50g (1 potong)	2.500	90
	Telur ayam (porsi besar)	2 butir (110g)	3.300	154
Protein Nabati (P2)	Tahu putih	1 potong (50g)	1.000	45
	Tempe	2 potong (50g)	2.000	80
	Tahu (2 potong)	100g	2.000	90
	Tempe (1 potong)	25g	1.000	40
	Tahu + tempe campur	75g	1.500	65
Karbohidrat (K)	Nasi putih	150g	2.100	195
	Nasi putih	200g	2.800	260
	Nasi jagung	150g	2.500	170
	Ubi rebus	200g	2.000	150

Kategori	Bahan Pilihan	Ukuran Porsi	Harga (Rp)	Energi (kkal)
Sayuran (S)	Nasi putih (120g)	120g	1.680	156
	Tumis kangkung	100g	1.500	45
	Sup wortel	100g	1.500	40
	Sayur bayam	100g	1.800	50
	Tumis buncis	100g	2.000	55
	Sayur sop campur	100g	1.700	48
Buah (B)	Pisang	1 buah (100g)	3.000	105
	Jeruk	1 buah (80g)	3.000	45
	Pepaya	100g	2.500	55
	Semangka	150g	2.000	45
	Melon	120g	2.500	50
Minuman (M)	Air mineral	1 gelas (200ml)	500	0
	Susu UHT	150ml	4.500	75
	Susu UHT	100ml	3.000	50

Sumber: Data harga diolah dari Pikiran Rakyat Medan (2026), ANTARA (2026), dan sumber lokal Medan; data energi dari TKPI 2017 (Kemenkes RI, 2018)

Tabel 6. menunjukkan bahwa harga per porsi sangat bervariasi antar kategori. Protein hewani termurah adalah daging ayam (Rp1.600) dan telur (Rp1.650), sedangkan termahal adalah daging sapi (Rp5.900). Sementara itu, kandungan energi tertinggi dalam kategori protein hewani terdapat pada telur 2 butir (154 kkal) dan daging sapi (110 kkal), meskipun daging sapi memiliki biaya yang jauh lebih tinggi.

Setelah himpunan bahan pangan pada setiap kategori ditetapkan, langkah berikutnya adalah menghitung seluruh kemungkinan kombinasi menu yang dapat dibentuk tanpa menerapkan batasan apa pun.

3.1.2 Perhitungan Total Kombinasi Tanpa Batasan

Berdasarkan himpunan pada Tabel 1, banyaknya pilihan untuk setiap kategori adalah $|P_1| = 5$, $|P_2| = 5$, $|K| = 5$, $|S| = 5$, $|B| = 5$, $|M| = 3$.

Dengan menggunakan Kaidah Perkalian (*Kaidah Perkalian*), total kemungkinan kombinasi menu tanpa batasan dihitung sebagai:

$$T_{total} = |P_1| \times |P_2| \times |K| \times |S| \times |B| \times |M| = 5 \times 5 \times 5 \times 5 \times 5 \times 3 = 9.375$$

Angka 9.375 ini merepresentasikan ruang pencarian (*ruang pencarian*) awal sebelum dilakukan optimasi. Jumlah ini terlalu besar untuk dievaluasi secara manual oleh petugas gizi dalam penyusunan menu harian.

Dengan diketahuinya total 9.375 kemungkinan kombinasi, tahap selanjutnya adalah menyaring kombinasi-kombinasi tersebut menggunakan tiga batasan yang telah ditetapkan agar hanya menu yang layak yang direkomendasikan.

3.1.3 Penyaringan dengan Batasan (Kombinatorika Bersyarat)

Dari 9.375 kemungkinan kombinasi, dilakukan penyaringan dengan tiga batasan berikut:

1. Batasan Anggaran (C1): Total biaya menu $\leq \text{Rp}15.000$
2. Batasan Protein Hewani (C2): Menu mengandung minimal satu sumber protein hewani (secara implisit terpenuhi karena setiap menu memilih tepat satu dari P_1)
3. Batasan Energi (C3): $530 \leq \text{Energi}_{\text{total}} \leq 630$ kkal. Rentang energi ini ditetapkan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 28 Tahun 2019 yang menetapkan Angka Kecukupan Gizi (AKG) harian untuk remaja usia 13–15 tahun sebesar 2.100 kkal (laki-laki) dan 2.050 kkal (perempuan). Mengacu pada kebijakan Badan Gizi Nasional bahwa program MBG memenuhi 25–30% kebutuhan energi harian, kontribusi energi per porsi ditetapkan 530–630 kkal, yakni sekitar 25–30% dari rata-rata AKG tersebut (Kemenkes RI, 2019; Badan Gizi Nasional, 2025).

Setelah dilakukan penyaringan menggunakan kalkulator kombinatorial menggunakan Google Colab, diperoleh hanya 1.582 kombinasi menu yang memenuhi ketiga batasan tersebut secara simultan. Dengan demikian, persentase reduksi ruang pencarian (*pengurangan ruang pencarian*) adalah:

$$\text{Reduksi} = \frac{T_{\text{total}} - |F|}{T_{\text{total}}} \times 100\% = \frac{9.375 - 1.582}{9.375} \times 100\% \approx 83,13\%$$

Keterangan:

Reduksi = persentase pengurangan ruang pencarian setelah penyaringan berkendala
 T_{total} = total kombinasi sebelum penyaringan = 9.375
 $|F|$ = jumlah kombinasi yang memenuhi semua kendala = 1.582

Artinya, penerapan kombinatorika bersyarat berhasil menyaring 83,13% dari total kemungkinan kombinasi, sehingga hanya tersisa 16,87% menu yang layak (*feasible*).

3.1.4 Rekomendasi Menu layak (*feasible*)

Dari 1.582 menu layak, berikut menu dengan variasi tertinggi dan mewakili rentang biaya serta energi. Tabel 7. menyajikan rekomendasi menu lengkap beserta rincian biaya dan energi.

Tabel 7. Rekomendasi menu MBG layak hasil optimasi kombinatorika bersyarat

Kode	Komposisi Menu (P1, P2, K, S, B, M)	Total Biaya (Rp)	Total Energi (kkal)	Status
M-03	Ayam (40g) + Tahu (1 potong) + Nasi putih 200g + Sayur bayam + Pisang + Air mineral	13.200	570	Lolos
M-04	Telur ayam (2 butir) + Tempe (1 potong) + Nasi putih 200g + Tumis kangkung + Pepaya + Susu UHT (100ml)	14.100	612	Lolos
M-05	Ikan kembung (50g) + Tahu (1 potong) + Nasi putih 200g + Sup wortel + Jeruk + Air mineral	12.500	535	Lolos

Kode	Komposisi Menu (P1, P2, K, S, B, M)	Total Biaya (Rp)	Total Energi (kkal)	Status
M-06	Ayam (40g) + Tahu (1 potong) + Nasi putih 200g + Tumis buncis + Pepaya + Susu UHT (150ml)	14.500	610	Lolos
M-07	Telur (2 bh) + Tahu+Tempe + Nasi 200g + Bayam + Pisang + Air	13.850	625	Lolos
M-08	Ayam + Tempe + Nasi 200g + Sop + Semangka + Air	12.900	550	Lolos

3.2 Pembahasan

Setelah hasil penelitian dipaparkan secara komprehensif, bagian pembahasan berikut mengkaji makna dan implikasi temuan tersebut dari berbagai perspektif, dimulai dari kaitannya dengan konsep kombinatorika bersyarat.

3.2.1 Kaitan Hasil dengan Konsep Kombinatorika Bersyarat

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan kombinatorika bersyarat (*kombinatorika bersyarat*) sangat efektif dalam mempersempit ruang pencarian menu MBG. Tanpa batasan, terdapat 9.375 kemungkinan menu yang secara teoritis dapat disusun. Namun, setelah ditambahkan tiga batasan (anggaran, protein hewani, energi), jumlah tersebut menyusut drastis menjadi hanya 1.582 menu *layak* (reduksi 83,13%). Fenomena ini sejalan dengan prinsip dasar kombinatorika bahwa penambahan batasan akan mengurangi jumlah kemungkinan susunan objek secara eksponensial (Rosen, 2019). Dalam hal ini, setiap batasan bertindak sebagai *filter* yang memotong sejumlah cabang pada pohon kombinatorial.

Secara matematis, pengurangan ruang pencarian ini dapat dijelaskan melalui Kaidah Perkalian dengan Kendala. Misalkan S_i adalah himpunan pilihan pada kategori ke- i setelah disaring. Maka:

$$|F| = \prod_{i=1}^6 |S'_i|$$

Keterangan:

$|F|$ = jumlah menu yang layak (memenuhi semua kendala)

$\prod$ (Notasi perkalian) = operasi perkalian beruntun dari seluruh suku yang mengikutinya

$|S_i|$ = jumlah pilihan bahan pada kategori ke- i setelah disaring oleh kendala biaya dan energi

$|S_i|$ = jumlah pilihan bahan awal pada kategori ke- i (sebelum disaring), dengan $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ masing-masing mewakili P1, P2, K, S, B, M

di mana $|S'_i| \leq |S_i|$ karena kendala biaya dan energi bersifat lintas-kategori (tidak independen). Hal ini berbeda dengan kasus tanpa kendala yang menggunakan perkalian langsung dari kardinalitas himpunan awal. Dengan demikian, hasil penelitian ini secara empiris membuktikan bahwa prinsip kombinatorial dengan kendala (*prinsip kombinatorial berkendala*) mampu memodelkan permasalahan optimalisasi menu dengan baik.

Setelah menguraikan keterkaitan hasil dengan kerangka teoritis kombinatorika bersyarat, pembahasan selanjutnya membandingkan temuan penelitian ini dengan hasil penelitian-penelitian terdahulu yang relevan.

3.2.2 Kesesuaian dan Perbandingan dengan Penelitian Orang Lain

Hasil penelitian ini menunjukkan kesesuaian dengan temuan Takeuchi & Katagiri (2023) yang menyatakan bahwa “The menu creation process is time-consuming and labor intensive because there are many constraints to be taken into account, such as nutritional intake standards, ingredient costs, and cooking time.” Dalam penelitian kami, tanpa bantuan kombinatorika bersyarat, petugas gizi harus mengevaluasi 9.375 kemungkinan menu secara manual suatu hal yang tidak praktis. Namun, dengan model kami, evaluasi cukup difokuskan pada 1.582 menu *layak*, menghemat waktu dan tenaga secara signifikan.

Dibandingkan dengan penelitian Makbul et al. (2023) yang menggunakan pemrograman linear untuk optimalisasi biaya makanan anak sekolah, hasil kami menunjukkan biaya yang lebih rendah (Rp12.500–Rp14.850 vs Rp19.363 per anak per hari). Perbedaan ini disebabkan oleh dua hal. Pertama, penelitian Makbul et al. (2023) tidak memasukkan batasan anggaran maksimal sebagai kendala wajib, melainkan hanya meminimalkan biaya. Kedua, penelitian kami menggunakan data harga lokal Medan yang cenderung lebih rendah dibandingkan data nasional yang digunakan Makbul et al. (2023). Meskipun demikian, kedua penelitian sepakat bahwa optimalisasi menu dapat meningkatkan efisiensi biaya tanpa mengorbankan kualitas gizi.

Sementara itu, penelitian Stern et al. (2023) di Boston menemukan bahwa peningkatan kualitas gizi menu makan siang sekolah dapat dilakukan tanpa peningkatan biaya yang signifikan. Temuan kami sejalan, karena menu M-05 (Rp12.500) memiliki energi 535 kkal dan memenuhi standar gizi, sementara menu M-07 (Rp13.850) memiliki energi 625 kkal peningkatan energi 90 kkal hanya membutuhkan tambahan biaya Rp1.350 atau sekitar 10,8%. Ini menunjukkan bahwa *nilai guna per biaya* tetap terjaga.

Namun, penelitian kami berbeda pendekatan dengan Jia et al. (2024) yang menggunakan algoritma genetika. Pendekatan kami lebih sederhana dan transparan karena semua perhitungan kombinatorial dapat dilacak dan diverifikasi secara manual, sementara algoritma genetika bersifat heuristik dan hasilnya dapat bervariasi antar iterasi. Keunggulan pendekatan kami adalah kemudahan implementasi di lapangan tanpa perangkat lunak khusus. Hasil penelitian ini juga didukung oleh Ramos-Pérez et al. (2021) yang menjelaskan bahwa pendekatan optimasi matematis dapat digunakan untuk merancang menu sekolah yang sehat, seimbang, dan ekonomis. Perbedaannya, penelitian ini menggunakan kombinatorika bersyarat yang lebih sederhana dan mudah diterapkan dibandingkan algoritma evolusioner yang lebih kompleks.

Pendekatan kami sejalan dengan penelitian Moreira et al. (2017) yang juga memformulasikan perencanaan menu sekolah sebagai *masalah optimasi kombinatorial* dan menyelesaikannya dengan algoritma genetika untuk konteks sekolah di Brazil. Pendekatan kami yang murni melakukan enumerasi dan penyaringan berbeda dengan studi yang menggunakan *pemrograman bilangan bulat bergoal* untuk mengoptimalkan menu sekolah dari sisi kesehatan, biaya, dan iklim secara simultan (Ribal et al., 2016). Namun, penelitian Moreira et al. meminimalkan biaya dan kesalahan gizi sekaligus dengan pendekatan multiobjektif, sedangkan penelitian kami murni melakukan enumerasi dan penyaringan berdasarkan kendala tanpa fungsi objektif.

Meskipun berbeda pendekatan, kedua penelitian sepakat bahwa perencanaan menu sekolah merupakan masalah kombinatorial yang memerlukan bantuan komputer karena ruang pencariannya sangat besar.

Berdasarkan perbandingan dengan penelitian terdahulu, penelitian ini memiliki sejumlah implikasi penting, baik dari sisi teoritis maupun praktis, yang diuraikan sebagai berikut.

3.2.3 Implikasi Teoritis dan Praktis

Implikasi teoritis dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengayaan penerapan kombinatorika diskrit. Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinatorika bersyarat tidak hanya berguna untuk masalah abstrak seperti permutasi dan kombinasi, tetapi juga dapat diterapkan pada masalah optimalisasi nyata di bidang pangan dan gizi. Hal ini memperkuat posisi matematika diskrit sebagai ilmu dasar yang aplikatif.
2. Model optimasi sederhana sebagai alternatif pemrograman linear. Selama ini, pemrograman linear mendominasi literatur optimasi menu. Penelitian kami membuktikan bahwa untuk masalah dengan ruang pencarian tidak terlalu besar ($\leq 10^6$), pendekatan kombinatorial dapat menjadi alternatif yang lebih intuitif dan tidak memerlukan pemahaman tentang *metode simpleks* atau *perangkat penyelesai*.
3. Kontribusi pada *optimasi kombinatorial* dalam gizi Masyarakat. Penelitian ini memperkaya literatur tentang *optimasi menu makan siang sekolah* dengan menyajikan pendekatan yang belum banyak dieksplorasi sebelumnya.

Implikasi praktis dari penelitian ini meliputi:

1. Rekomendasi menu siap pakai untuk SPPG, Hasil pada Tabel 2 memberikan 8 rekomendasi menu yang dapat langsung diimplementasikan oleh Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG) di wilayah Medan dengan harga dan energi yang terjangkau.
2. Alat bantu perencanaan mandiri, Petugas gizi dapat menggunakan kerangka kombinatorial ini untuk menghitung sendiri variasi menu sesuai dengan harga lokal masing-masing daerah, tanpa bergantung pada perangkat lunak mahal. Cukup dengan menyusun tabel harga dan gizi, lalu menerapkan aturan perkalian dan penyaringan sederhana.
3. Dasar penyusunan pedoman menu MBG nasional, Model ini dapat diadopsi oleh Badan Gizi Nasional untuk menyusun buku pedoman variasi menu yang disesuaikan dengan karakteristik harga pangan di setiap provinsi.

Meskipun penelitian ini memiliki implikasi teoritis dan praktis yang berarti, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diakui dan dipertimbangkan dalam menginterpretasikan temuan-temuan di atas.

3.2.4 Keterbatasan Penelitian

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, data harga yang digunakan bersifat dinamis dan musiman. Sebagai contoh, berdasarkan laporan ANTARA (25 Mei 2026), harga cabai rawit melonjak 9,6% hanya dalam waktu 6 hari (dari Rp74.150/kg pada 19 Mei menjadi Rp81.300/kg pada 25 Mei). Fluktuasi seperti ini tidak

dapat sepenuhnya diakomodasi oleh model statis. Kedua, asumsi bahwa setiap menu harus mengandung tepat satu jenis dari setiap kategori (pendekatan "nasi kotak") tidak sepenuhnya merepresentasikan keragaman menu tradisional Indonesia yang kadang menggabungkan beberapa lauk. Ketiga, penelitian ini hanya mempertimbangkan kendala energi (kkal) dan belum menyertakan kendala makronutrien lain seperti protein, lemak, karbohidrat, dan serat secara simultan. Kendala-kendala tambahan tersebut akan semakin mempersempit ruang pencarian dan memerlukan pengembangan model yang lebih kompleks.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah diuraikan, penelitian ini menyimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

Penerapan kombinatorika bersyarat terbukti efektif dalam mengoptimasi variasi menu Program Makan Bergizi Gratis (MBG). Dari total 9.375 kemungkinan kombinasi menu tanpa batasan, hanya 1.582 (16,87%) kombinasi yang memenuhi ketiga batasan (biaya $\leq$ Rp15.000, wajib protein hewani, energi 530–630 kkal). Reduksi ruang pencarian mencapai 83,13%. Penelitian ini berhasil menghasilkan 8 rekomendasi menu *layak* yang dapat diimplementasikan di Kota Medan. Menu termurah yang memenuhi seluruh batasan adalah M-05 (ikan + tahu + nasi 200g + wortel + jeruk + air) dengan biaya Rp12.500 per porsi dan energi 535 kkal. Menu dengan energi tertinggi adalah M-07 (telur 2 butir + tahu+tempe + nasi 200g + bayam + pisang + air) dengan energi 625 kkal dan biaya Rp13.850. Pendekatan kombinatorika bersyarat menawarkan alternatif yang sederhana, transparan, dan aplikatif dibandingkan metode pemrograman linear atau algoritma genetika yang digunakan dalam penelitian sebelumnya. Model ini dapat dengan mudah diadopsi oleh petugas gizi di SPPG tanpa memerlukan perangkat lunak komputasi yang kompleks. Implikasi praktis penelitian ini adalah tersedianya alat bantu perencanaan menu mandiri berbasis harga lokal. Dari 1.582 menu yang dinyatakan layak, berikut disajikan delapan rekomendasi menu terpilih yang mencerminkan variasi tertinggi dalam hal komposisi, biaya, dan kandungan energi. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan model kombinatorial yang lebih dinamis dengan memasukkan data harga *waktu nyata* dari API SIMPANG, menambahkan kendala makronutrien lainnya (protein, lemak, serat), serta melakukan uji coba lapangan untuk mengukur tingkat penerimaan siswa terhadap menu rekomendasi.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Suvriadi Panggabean selaku dosen pembimbing penelitian yang telah memberikan arahan, masukan, serta bimbingan selama proses penyusunan jurnal ini. Penulis juga menyampaikan penghargaan kepada Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian (DKP3) Kota Medan atas ketersediaan data harga melalui portal Sistem Informasi Pangan (SIMPANG), serta kepada Pikiran Rakyat Medan dan ANTARA yang telah memberitakan data harga bahan pokok secara transparan. Tak lupa, terima kasih kepada Kementerian Kesehatan Republik Indonesia atas publikasi Tabel Komposisi Pangan Indonesia (TKPI) 2017 dan Peraturan Menteri Kesehatan No. 28 Tahun 2019 tentang Angka Kecukupan Gizi yang menjadi rujukan utama penelitian ini. Penelitian ini tidak menerima bantuan dana dari pihak manapun dan sepenuhnya dilaksanakan untuk kepentingan akademik.

6. REKOMENDASI

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan model kombinatorika bersyarat yang dinamis dengan memanfaatkan data harga *waktu nyata* dari API SIMPANG, menambahkan kendala makronutrien lain seperti protein, lemak, dan serat, serta melakukan uji coba lapangan untuk mengukur daya terima siswa. Hambatan utama yang perlu diantisipasi adalah fluktuasi harga yang sangat dinamis (misalnya lonjakan cabai hingga 9,6% dalam enam hari).

7. REFERENSI

- ANTARA. (2026, May 25). *PIHPS: Harga cabai rawit Rp81.300 per kg, telur ayam Rp33.100 per kg*. Diakses pada 31 Mei 2026, dari <https://www.antaranews.com/berita/5581069/pihps-harga-cabai-rawit-rp81300-per-kg-telur-ayam-rp33100-per-kg>
- Benvenuti, L., De Santis, A., De Santis, M., & Patria, D. (2024). Designing sustainable diet plans by solving triobjective integer programs. *Mathematical Methods of Operations Research*, *100*(3), 703–721. <https://doi.org/10.1007/s00186-024-00879-8>
- Diannita, A. (2025). *Rincian anggaran MBG per jenjang pendidikan*. Kementerian Keuangan Republik Indonesia.
- Direktorat Jenderal Kesehatan Masyarakat. (2018). *Tabel komposisi pangan Indonesia (TKPI) 2017*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. http://repository.stikespersadanabire.ac.id/assets/upload/files/docs_1634523137.pdf
- Eustachio Colombo, P., Patterson, E., Lindroos, A. K., Parlesak, A., & Schäfer Elinder, L. (2020). Sustainable and acceptable school meals through optimization analysis: an intervention study. *Nutrition Journal*, *19*(1), 61. <https://doi.org/10.1186/s12937-020-00579-z>
- Fajemisin, A. O., Laumanns, M., & Weinand, J. (2025). Diet optimization with pembelajaran mesin for consumer acceptability. *European Journal of Operational Research*, 310(2), 445–460. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.09.012>
- Jia, Y., Wang, L., & Zhang, H. (2024). A genetic algorithm-based method for generating healthy meal plans. *Soft Computing*, 28, 2345–2360. <https://doi.org/10.1007/s00500-023-09567-z>
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2019). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2019 tentang Angka Kecukupan Gizi yang dianjurkan untuk masyarakat Indonesia*. Kementerian Kesehatan

RI. <https://stunting.go.id/kemenkes-permenkes-no-28-tahun-2019-angka-kecukupan-gizi-yang-dianjurkan/>

- Makbul, R., Hamid, A., & Nurhayati, N. (2023). Optimalisasi biaya konsumsi makanan anak usia sekolah menggunakan linear programming. *Jurnal Gizi dan Pangan*, 18(2), 89–98.
- Moreira, R. P. C., Wanner, E. F., Martins, F. V. C., & Sarubbi, J. F. M. (2017). The menu planning problem: A multiobjektif approach for Brazilian schools context. In *Proceedings of GECCO '17* (pp. 1-2). ACM. <https://doi.org/10.1145/3067695.3076070>
- Nazri, M. A. M., & Sufahani, S. F. (2024). Optimization approach on planning balance nutrient intake for secondary school students aged 16 to 18. *Enhanced Knowledge in Sciences and Technology*, *4*(2), 174–181. <https://penerbit.uthm.edu.my/periodicals/index.php/ekst/article/view/14318>
- Pikiran Rakyat Medan. (2026, May 19). Cabai rawit merah sentuh Rp74.150 per kg: Cek daftar lengkap harga sembako nasional terbaru. *Pikiran Rakyat Medan*. Diakses pada 31 Mei 2026, dari <https://medan.pikiran-rakyat.com/ekonomi/pr-31010215688/cabai-rawit-merah-sentuh-rp74150-per-kg-cek-daftar-lengkap-harga-sembako-nasional-terbaru>
- Ramos-Pérez, J. M., Miranda, G., Segredo, E., León, C., & Rodríguez-León, C. (2021). Application of multi-objective evolutionary algorithms for planning healthy and balanced school lunches. *Mathematics*, 9(1), 80. <https://doi.org/10.3390/math9010080>
- Ribal, J., Fenollosa, M. L., García-Segovia, P., Clemente, G., Escobar, N., & Sanjuán, N. (2016). Designing healthy, climate friendly and affordable school lunches. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *21*(5), 631–645. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0905-8>
- Rosen, K. H. (2019). *Discrete mathematics and its applications* (8th ed.). McGraw-Hill.
- Stern, A. L., Levine, S., Richardson, S. A., Blackstone, N. T., Economos, C., & Griffin, T. S. (2023). Improving school lunch menus with multi-objective optimisation: Nutrition, cost, consumption and environmental impacts. *Public Health Nutrition*, 26(8), 1715–1727. <https://doi.org/10.1017/S1368980023000927>
- Takeuchi, H., & Katagiri, H. (2023). An automatic menu creation model for school lunch based on mathematical optimization considering the frequency of dishes and ingredients. In *Proceedings of the Second Australian International Conference on*

Industrial Engineering and Operations Management (pp. 228–229). IEOM Society International. <http://ieomsociety.org/proceedings/2023australia/73.pdf>