

# Sistem Perencanaan Gizi Harian Berbasis Optimasi Porsi dan *Clustering K-Means*

<http://dx.doi.org/10.28932/jutisi.v12i1.13737>

Riwayat Artikel

Received: 11 November 2025 | Final Revision: 01 April 2026 | Accepted: 06 April 2026

Creative Commons License 4.0 (CC BY – NC)



Muhamad Rianda<sup>✉#1</sup>, Viony<sup>#2</sup>, Taher Abdul Azis<sup>#3</sup>, Nabillah April Riyanti<sup>#4</sup>

<sup>#</sup>Program Studi Teknologi Informasi, Universitas Bina Sarana Informatika  
Jl. Raya Kaliabang No. 8, Bekasi, 17250, Indonesia

<sup>1</sup>17230124@bsi.ac.id

<sup>2</sup>17230218@bsi.ac.id

<sup>3</sup>17230029@bsi.ac.id

<sup>4</sup>17230631@bsi.ac.id

<sup>✉</sup>Corresponding author: 17230124@bsi.ac.id

**Abstrak**— Perencanaan gizi harian yang personal merupakan tantangan kompleks akibat sulitnya menerjemahkan kebutuhan nutrisi individual ke dalam porsi makanan akurat, diperparah dengan tingginya prevalensi masalah gizi ganda di Indonesia. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sebuah Sistem Pendukung Keputusan (SPK) gizi harian yang mampu menghasilkan rekomendasi menu terukur. Metode penelitian menggunakan pendekatan hibrida, mengintegrasikan basis pengetahuan sistem pakar (aturan Mifflin-St Jeor, FAO, IOM) dengan mekanisme inferensi berbasis optimisasi porsi dinamis menggunakan pemrograman linier (PuLP). Selain itu, *unsupervised machine learning (K-Means)* diterapkan untuk melakukan *clustering* bahan makanan guna menghasilkan label nutrisi edukatif. Sistem diimplementasikan sebagai aplikasi web menggunakan Python Flask dan diuji melalui studi kasus serta verifikasi fungsional. Temuan utama menunjukkan bahwa mekanisme optimisasi berhasil menghasilkan rencana makan harian dengan porsi (gramasi) spesifik yang akurasi sangat mendekati target kalori dan makronutrien (contoh studi kasus deviasi kalori <3%). Integrasi *K-Means* juga terbukti efektif memberikan label fungsional (misal: "Protein Murni", "Padat Energi") pada bahan makanan. Simpulan dari penelitian ini adalah bahwa arsitektur hibrida berbasis optimisasi porsi dinamis mampu menyediakan alat bantu perencanaan diet yang lebih akurat secara kuantitatif dan informatif dibandingkan pendekatan kualitatif tradisional.

**Kata kunci**— Gizi Harian; *K-Means Clustering*; Optimasi Porsi; Pemrograman Linier; Sistem Pendukung Keputusan.

## Daily Nutritional Planning System Based on Portion Optimization and *K-Means Clustering*

**Abstract**— Personalized daily nutritional planning is a complex challenge due to the difficulty of translating individual nutritional needs into accurate food portions, exacerbated by the high prevalence of dual nutritional burdens in Indonesia. This study aims to design and implement an intelligent daily nutrition Decision Support System (DSS) capable of generating measured menu recommendations. The research method employs a hybrid approach, integrating an expert system knowledge base (Mifflin-St Jeor, FAO, IOM rules) with an inference engine based on dynamic portion optimization using linear programming (PuLP). Furthermore, *unsupervised machine learning (K-Means)* is applied to cluster food items to generate educational nutritional labels. The system was implemented as a web application using Python Flask and tested through case studies and functional verification. The main finding

*shows that the optimization engine successfully generated daily meal plans with specific grammages that closely approximated the target calories and macronutrients (case study caloric deviation <3%). The K-Means integration also proved effective in providing functional labels (e.g., "Pure Protein", "Energy Dense") for food items. This study concludes that a hybrid architecture based on dynamic portion optimization can provide a diet planning tool that is more quantitatively accurate and informative than traditional qualitative approaches.*

**Keywords—** Daily Nutrition; Decision Support System; K-Means Clustering; Linear Programming; Portion Optimization

## I. PENDAHULUAN

Pemenuhan gizi adalah suatu cara untuk memenuhi asupan makanan baik asupan zat gizi makro dan zat gizi mikro yang dapat membantu pertumbuhan dan menjaga kesehatan [1]. Pentingnya gizi seimbang sebagai fondasi kesehatan optimal dan pencegahan penyakit kronis semakin disadari. Meskipun demikian, Indonesia masih menghadapi tantangan gizi ganda yang signifikan. Data Survei Kesehatan Indonesia (SKI) 2023 menunjukkan persistensi masalah kekurangan gizi seperti stunting pada balita sebesar 21,5% [2], bersamaan dengan tingginya prevalensi kelebihan berat badan dan obesitas pada populasi dewasa usia 18 tahun ke atas, dimana angka gabungannya mencapai 40,4%[2]. Kondisi ini berkorelasi erat dengan tingginya beban penyakit tidak menular terkait diet. Prevalensi hipertensi berdasarkan pengukuran mencapai 30,8%[2], sementara prevalensi diabetes melitus berdasarkan pemeriksaan gula darah sewaktu (GDS) adalah 5,4%[2]. Perencanaan gizi personal yang efektif diidentifikasi sebagai kunci intervensi, namun implementasinya kompleks. Proses ini menuntut individu memahami kebutuhan nutrisi uniknya, yang dipengaruhi berbagai faktor fisiologis, dan menerjemahkannya ke dalam pilihan serta takaran porsi makanan akurat setiap hari. Kesulitan ini diperparah oleh pola konsumsi umum yang belum optimal, seperti rendahnya konsumsi buah dan sayur pada mayoritas penduduk sebesar 96,5%[2], serta potensi keterbatasan pengetahuan gizi atau pengaruh faktor eksternal lainnya.

Berbagai penelitian terdahulu telah berupaya menyelesaikan masalah perencanaan gizi. Mawartika & Guntur [3], menggunakan *Forward Chaining* yang efektif untuk identifikasi jenis makanan, namun terbatas pada rekomendasi kualitatif tanpa takaran porsi. Di sisi lain, Tumangger dkk. [4], menerapkan *Backpropagation* untuk klasifikasi pola makan, namun model prediktif tersebut belum menjamin pemenuhan target nutrisi numerik (kalori dan makronutrien) secara presisi dalam batasan porsi harian yang realistis. Kesenjangan utama yang ditemukan adalah ketiadaan mekanisme yang mampu menentukan gramasi bahan makanan secara dinamis untuk memenuhi target gizi personal sekaligus. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan sistem pakar dengan optimisasi pemrograman linier untuk mengisi celah tersebut melalui penentuan gramasi spesifik yang optimal secara matematis.

Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sebuah Sistem Pendukung Keputusan (SPK) gizi harian yang mengisi celah tersebut. Sistem ini mengadopsi arsitektur hibrida, mengintegrasikan basis pengetahuan sistem pakar yang berisi aturan berdasarkan standar gizi Mifflin-St Jeor [5], FAO [6], dan IOM [7], dengan mekanisme inferensi berbasis optimisasi porsi dinamis. Metode optimisasi yang digunakan adalah pemrograman linier, diimplementasikan menggunakan *library* PuLP [8], [9]. Kontribusi dan kebaruan hasil penelitian ini terletak pada kemampuan sistem untuk secara otomatis menentukan gramasi spesifik bahan makanan lokal Indonesia untuk setiap waktu makan dalam sehari. Pendekatan optimisasi kuantitatif pada level gramasi ini membedakannya dari karya sebelumnya dan bertujuan menghasilkan rencana makan yang tidak hanya personal sesuai profil pengguna, tetapi juga optimal secara matematis untuk mendekati target kalori dan makronutrien dalam batasan porsi realistis. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menyediakan alat bantu perencanaan diet yang lebih akurat dan praktis untuk manajemen gizi mandiri.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan rancangan penelitian berupa rekayasa perangkat lunak untuk membangun sebuah Sistem Pendukung Keputusan (SPK) gizi harian. Prosedur penelitian secara keseluruhan mengikuti alur yang dijelaskan dalam sub-bab berikut, mencakup metode pengembangan sistem, rancangan arsitektur dan basis pengetahuan, mekanisme inferensi, serta metode pengujian dan validasi sistem.

### A. Metode Pengembangan Sistem

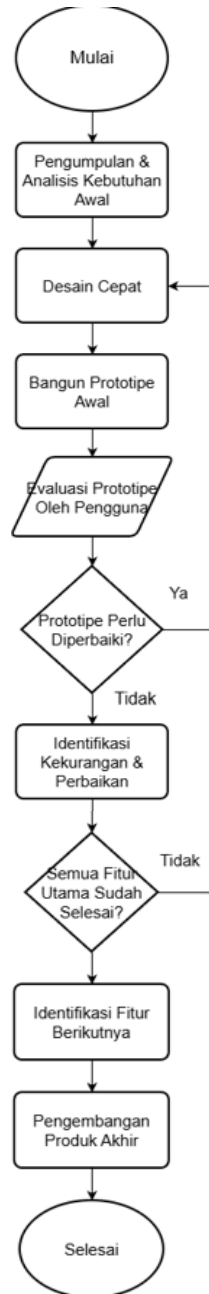
Metode pengembangan perangkat lunak yang diadopsi dalam penelitian ini adalah Model *Prototype* [10], [11],[12]. Pendekatan ini dipilih karena beberapa alasan utama: (1) Sifat eksploratif proyek, di mana solusi optimal untuk rekomendasi porsi dinamis belum sepenuhnya terdefinisi di awal; (2) Kebutuhan untuk menguji dan memvalidasi kelayakan teknis algoritma optimisasi (PuLP) dalam konteks data pangan lokal; (3) Memfasilitasi penyempurnaan berdasarkan evaluasi fungsionalitas awal dalam siklus *build-evaluate-refine* yang iteratif.

Proses pengembangan (diilustrasikan pada Gambar 1) mengikuti siklus berikut:

- Identifikasi Kebutuhan Awal: Menetapkan tujuan utama sistem yaitu memberikan rekomendasi gizi personal.
- Rancang Cepat & Bangun Prototype 1: Mendesain dan mengimplementasikan fungsionalitas inti, yaitu Modul Kalkulator

Gizi dan mekanisme rekomendasi statis (berbasis porsi 100g).

- Evaluasi Prototipe 1: Hasil evaluasi internal menunjukkan bahwa rekomendasi statis tidak realistis dan tidak akurat dalam memenuhi target gizi spesifik.
- Perbaikan Rancangan: Kebutuhan sistem disempurnakan menjadi "optimisasi porsi dinamis" untuk menentukan gramasi spesifik.
- Rancang Cepat & Bangun Prototipe 2 (Sistem Final): Merancang ulang mekanisme inferensi, mengintegrasikan *library* PuLP, dan membangun fungsi optimisasi porsi dinamis beserta aturan batas porsi wajar.
- Evaluasi & Implementasi Produk Final: Prototipe 2 dievaluasi kinerjanya dan dianggap final untuk penelitian ini.



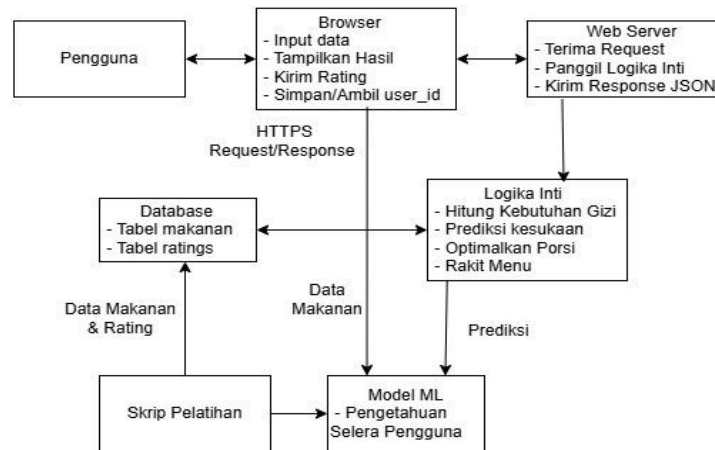
Gambar 1 Diagram alir Model Pengembangan prototipe

### B. Rancangan Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem dirancang menggunakan arsitektur *client-server* berbasis web yang modular (Gambar 2) untuk memastikan pemisahan fungsi (*separation of concerns*). Arsitektur ini terdiri dari empat komponen utama yang diuraikan di bawah ini.

- 1) *Antarmuka Pengguna (Frontend)*: Berfungsi sebagai *presentation layer (Browser)*, dibangun menggunakan HTML5, CSS3, dan JavaScript (ES6). Komponen ini bertanggung jawab menampilkan formulir input data pengguna dan menyajikan output rekomendasi menu harian.
- 2) *Server Backend (Flask/Python)*: Bertindak sebagai *application layer* dan *controller (Web Server)*. Dibangun menggunakan *micro-framework* Flask, bertugas menerima permintaan HTTP dari *frontend*, mengoordinasikan pemanggilan modul logika, dan mengirimkan hasil rekomendasi kembali ke *frontend* dalam format data JSON.
- 3) *Logika Inti (Core Logic)*: Merupakan kumpulan modul Python yang menjalankan pemrosesan utama:
  - Modul Kalkulator Gizi: Implementasi basis aturan sistem pakar untuk menghitung BMR, TDEE, target kalori, dan makronutrien.
  - Modul Optimisasi Porsi: *Inference engine* utama yang menggunakan PuLP untuk menentukan gramasi optimal.
  - Model *Machine Learning*: Model *K-Means* untuk klasifikasi bahan makanan.
- 4) *Penyimpanan Data (Database)*:
  - Basis Data Pangan: *Data layer* statis berisi fakta nutrisi (kalori, protein, dll.) dan kategori.
  - Model Tersimpan: File .pkl untuk model *K-Means* dan *scaler* yang sudah dilatih.

Alur data sistem secara umum dimulai ketika pengguna memasukkan data profil pengguna melalui Antarmuka Pengguna. Data ini dikirim sebagai permintaan HTTP ke Server *Backend*. *Backend* kemudian memanggil Modul Kalkulator Gizi untuk menghasilkan target nutrisi. Berdasarkan target ini, *Backend* memilih kandidat makanan dari Basis Data Pangan, lalu menyerahkannya ke Modul Optimisasi Porsi. Modul optimisasi menentukan gramasi optimal dan mengembalikan hasil (menu + gramasi) ke *Backend*, yang kemudian mengirimkan data final ini sebagai respons JSON kembali ke *Frontend* untuk ditampilkan kepada pengguna.



Gambar 2. Diagram Arsitektur Sistem

### C. Rancangan Basis Pengetahuan dan Mekanisme Inferensi

Inti dari SPK ini adalah Basis Pengetahuan yang menyimpan aturan pakar dan fakta data, serta Mekanisme Inferensi (*Inference Engine*) [13],[14].

- 1) *Basis pengetahuan*: Basis Pengetahuan sistem terdiri dari basis aturan dan basis data fakta:
  - *Basis Aturan (Rule Base)*: Berisi aturan dan formula standar gizi terverifikasi yang merepresentasikan pengetahuan pakar, diimplementasikan dalam Modul Kalkulator Gizi. Aturan-aturan ini (diringkas pada Tabel 1) menentukan target nutrisi pengguna. Formula Mifflin-St Jeor dipilih karena akurasinya, PAL diadopsi dari standar internasional WHO/FAO, dan AMDR dari IOM digunakan sebagai dasar distribusi makronutrien.

TABEL 1  
URAIAN BASIS ATURAN STANDAR GIZI

Komponen	Sumber	Penjelasan
BMR (Basal Metabolic Rate)	Mifflin-St Jeor	Menentukan kebutuhan energi dasar tubuh Laki-laki: $BMR = (10 * W) + (6.25 * H) - (5 * A) + 5$ Perempuan: $BMR = (10 * W) + (6.25 * H) - (5 * A) - 161$ *W = Berat/Weight, H = Tinggi/Height, A = Usia/Age
PAL ( <i>Physical Activity Level</i> )	Food and Agriculture Organization (FAO)	Faktor aktivitas harian untuk menghitung TDEE Rendah: 1.4 – 1.69 Sedang: 1.7 – 1.99 Tinggi: 2.0 – 2.4
AMDR ( <i>Acceptable Macronutrient Distribution Range</i> )	Institute of Medicine (IOM)	Rentang makronutrien dari total kalori: Karbo 45-65% Lemak 20-35% Protein 10-35%

- Basis Data Fakta Makanan Berupa file CSV berisi 174 item bahan pangan lokal Indonesia. Data ini dikumpulkan dan distandarisasi ke format per 100 gram. Data ini mencakup atribut esensial (Tabel 2) yang diakses oleh mekanisme inferensi.

TABEL 2  
CONTOH STRUKTUR BASIS DATA BAHAN PANGAN LOKAL

Nama Makanan	Energi (kcal)	Protein (g)	Lemak (g)	Karbo (g)	Serat (g)
Nasi Putih	129	2.4	0.2	28.7	0.2
Dada Ayam	165	31.0	3.6	0.0	0.0
Tempe	192	20.3	10.8	13.5	1.4
Alpukat	160	2.0	14.7	8.5	6.7
Bayam	23	2.9	0.4	3.6	2.2

- 2) *Mekanisme Inferensi (Optimasi Porsi)*: Mekanisme utama adalah proses Optimisasi Porsi Dinamis yang menggunakan pemrograman linier via PuLP. Pendekatan ini mengatasi keterbatasan rekomendasi kualitatif pada sistem pakar tradisional. Proses ini menerima target gizi dan kandidat makanan untuk menentukan gramasi optimal yang memenuhi serangkaian batasan.

Formulasi model pemrograman linier adalah sebagai berikut:

- Seleksi Kandidat: Berdasarkan aturan komposisi menu per waktu makan (Tabel 3), sejumlah item makanan dipilih secara acak dari basis data fakta makanan.
- Variabel Keputusan: Didefinisikan variabel keputusan kontinu (bisa berupa angka desimal) untuk setiap makanan, kita sebut gramasi\_makanan\_i, yang mewakili jumlah gram dari makanan ke-i tersebut. Nilai ini harus 0 atau lebih besar.
- Batasan (Constraints):
  - Batasan Kalori:  $\sum_i \left( \frac{Kal_i}{100} * x_i \right)$  (1) harus berada dalam rentang toleransi 90%-110% dari  $TargetKalori_{\{porsi\}}$
  - Batasan Protein:  $\sum_i \left( \frac{Prot_i}{100} * x_i \right) \geq TargetProtein_{\{porsi\}}$  (2).
  - Batasan Porsi Wajar:  $MinPorsi_i \leq x_i \leq MaxPorsi_i$  (3), berdasarkan aturan kategori (Tabel 4).

TABEL 3  
ATURAN KOMPOSISI KANDIDAT MAKANAN PER PORSI MAKANAN

Waktu Makan	Persen Target Harian	Komposisi Kategori
Sarapan	25%	Karbohidrat: 1, Protein Hewani: 1
Makan Siang	35%	Karbohidrat: 1, Protein Hewani: 1, Sayuran: 1
Camilan	10%	Buah: 1
Makan Malam	30%	Karbohidrat: 1, Protein Hewani: 1, Sayuran: 1

TABEL 4  
ATURAN PENENTUAN BATAS PORSI WAJAR (MIN-MAX GRAM)

Kategori Makanan	Min Porsi (g)	Max Porsi (g)	Justifikasi
Karbohidrat	50	300	Porsi wajar untuk nasi, roti, atau umbi-umbian dalam sekali makan.
Protein Hewani	50	350	Porsi wajar untuk lauk utama seperti daging, ayam, atau ikan.
Protein Nabati	50	350	Porsi wajar untuk lauk seperti tahu, tempe, atau kacang-kacangan olahan.
Sayuran	50	400	Sayuran memiliki kepadatan kalori rendah sehingga bisa dikonsumsi dalam jumlah besar.
Buah	50	500	Mewakili porsi 1 buah kecil hingga beberapa porsi buah dalam sehari.
Kacang	10	60	Sangat padat kalori dan lemak, sehingga porsinya dibatasi untuk camilan sehat.

#### D. Clustering Bahan Makanan Menggunakan K-Means

Sebagai analisis data tambahan dan *feature engineering*, metode *unsupervised machine learning K-Means Clustering* diterapkan [15],[16], [17]. Tujuan dari penerapan *K-Means* ini adalah untuk mengelompokkan bahan makanan mentah itu sendiri berdasarkan kesamaan profil nutrisi intrinsiknya, guna menghasilkan kategori fungsional yang lebih kaya makna (misal: "Sumber Protein Rendah Lemak") daripada kategori manual yang luas (misal: "Protein").

Prosedur pelatihan model *K-Means* ini dilakukan secara *offline* mengikuti langkah-langkah berikut:

- Ekstraksi Fitur: Data dimuat dari basis data pangan. Fitur numerik yang digunakan untuk *clustering* diekstraksi, terdiri dari ['Kalori (kcal/100g)', 'Protein (g/100g)', 'Karbohidrat (g/100g)', 'Lemak (g/100g)', 'Serat (g/100g)'].
- Standarisasi Fitur: Karena *K-Means* sensitif terhadap skala data, fitur-fitur tersebut distandarisasi menggunakan *StandardScaler* dari *Scikit-learn* untuk mengubah skala semua fitur ke *mean 0* dan *standard deviation 1*.
- Pelatihan Model *K-Means*: Algoritma *KMeans* dari *Scikit-learn* diterapkan pada data yang telah distandarisasi. Jumlah kluster ditetapkan sebanyak  $K=6$  secara empiris untuk menghasilkan variasi kategori yang memadai.
- Penyimpanan Model: Model *K-Means* yang telah dilatih dan objek *StandardScaler* disimpan menggunakan *joblib* untuk digunakan oleh aplikasi.

Dalam implementasi sistem final, model *K-Means* yang telah dilatih ini digunakan untuk memberikan label deskriptif tambahan pada setiap makanan yang direkomendasikan kepada pengguna.

#### E. Implementasi Teknologi dan Metode Pengujian Sistem

Implementasi teknis sistem secara penuh memanfaatkan tumpukan teknologi modern. Pada sisi *backend*, sistem dibangun menggunakan bahasa pemrograman Python, *micro-framework* Flask untuk menangani *routing API* dan logika server, *library* Pandas untuk manipulasi dan pemrosesan data dari *dataset* makanan, PuLP sebagai *solver* inti untuk optimisasi pemrograman linier, serta *Scikit-learn* untuk implementasi algoritma *K-Means clustering*. Pada sisi *frontend*, antarmuka pengguna dikembangkan menggunakan HTML5, CSS3, dan JavaScript untuk membangun formulir input yang interaktif dan menampilkan hasil rekomendasi secara dinamis melalui *Fetch API*.

Metode pengujian sistem dirancang secara komprehensif untuk melakukan verifikasi dan validasi fungsionalitas serta kinerja. Proses pengujian dibagi menjadi dua tahap utama: Pengujian Fungsionalitas dan Pengujian Kinerja Kuantitatif.

- 1) *Pengujian Fungsionalitas*: Tahap ini merupakan proses verifikasi internal untuk memastikan setiap komponen

dan alur kerja sistem berfungsi sesuai dengan rancangan. Pengujian fungsionalitas mencakup tiga level:

- Pengujian Unit (*Unit Testing*): Dilakukan untuk memvalidasi setiap fungsi individu secara terisolasi. Fungsi-fungsi kritis seperti `hitung_bmr()` dan `hitung_tdee()` diuji dengan serangkaian input sampel untuk memastikan akurasi perhitungan matematis. Fungsi `optimalkan_porsi_makan()` diuji untuk memverifikasi kemampuannya menghasilkan solusi optimal dalam berbagai kondisi batasan.
  - Pengujian Integrasi (*Integration Testing*): Dilakukan untuk memastikan komunikasi antar modul berjalan lancar. Pengujian difokuskan pada alur data dari *backend* Flask ke Modul Kalkulator Gizi, dilanjutkan ke Modul Optimisasi Porsi, dan interaksinya dengan basis data pangan serta model *Machine Learning*.
  - Pengujian *End-to-End*: Dilakukan dengan mensimulasikan input pengguna riil melalui antarmuka *frontend*. Pengujian ini memvalidasi keseluruhan alur sistem, mulai dari pengiriman data formulir, pemrosesan di *backend*, hingga penerimaan dan penampilan respons JSON di *frontend*, termasuk fungsionalitas "dapatkan menu lainnya". Tujuannya adalah memastikan sistem bebas dari *bug* fungsional kritis dari perspektif pengguna.
- 2) *Pengujian Kinerja dan Akurasi*: Tahap ini merupakan eksperimen utama untuk mengevaluasi efektivitas dan efisiensi sistem dalam mencapai tujuannya. Pengujian dilakukan dengan menjalankan sistem pada 6 skenario input profil pengguna yang beragam. Skenario-skenario ini (diringkas pada Tabel 5) dirancang untuk mencakup variasi input yang representatif, meliputi kombinasi jenis kelamin, kelompok usia, tingkat aktivitas fisik, dan tujuan program.

TABEL 5  
SKENARIO PENGUJIAN KINERJA DAN AKURASI SISTEM

Skenario ID	Deskripsi Profil	Jenis Kelamin	Usia	Aktivitas	Tujuan Program
SK-01	Pria Muda, Sedentary, Diet	Pria	25	Rendah	Diet
SK-02	Wanita Muda, Aktif, Diet	Wanita	30	Tinggi	Diet
SK-03	Pria Dewasa, Aktif, Seimbang	Pria	40	Tinggi	Seimbang
SK-04	Wanita Dewasa, Sedentary, Seimbang	Wanita	45	Rendah	Seimbang
SK-05	Pria Muda, Sangat Aktif, Otot	Pria	22	Tinggi	Membangun Otot
SK-06	Wanita Dewasa, Cukup Aktif, Otot	Wanita	35	Sedang	Membangun Otot

Kinerja sistem untuk setiap skenario diukur berdasarkan indikator kuantitatif berikut:

- **Deviasi Kalori (%)**: Indikator ini mengukur akurasi algoritma optimisasi dalam memenuhi target kalori harian. Dihitung menggunakan rumus: 
$$Deviasi = \frac{|Kalori_{\{rekomendasi\}} - Kalori_{\{target\}}|}{Kalori_{\{target\}}} * 100\% \quad (4).$$
- **(b) Pemenuhan Protein (% Kasus)**: Indikator ini mengukur keberhasilan sistem dalam memenuhi batasan nutrisi kritis (protein). Dihitung sebagai persentase jumlah skenario pengujian di mana  $TotalProtein_{\{rekomendasi\}} > TargetProtein_{\{minimum\}}$  (5).
- **(c) Waktu Komputasi (detik)**: Indikator ini mengukur efisiensi algoritma dan kelayakan sistem untuk penggunaan *real-time*. Waktu diukur dari saat *request* diterima oleh *backend* hingga respons JSON dikirim kembali.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian yang diperoleh dari implementasi dan pengujian aplikasi SiGiZi. Pembahasan difokuskan pada hasil implementasi arsitektur, efektivitas *clustering K-Means* untuk pelabelan edukatif, serta akurasi mekanisme inferensi dalam menghasilkan rekomendasi menu harian.

#### A. Penerapan Arsitektur Sistem

- 1) *Input dan Output (Frontend)*: Antarmuka pengguna dikembangkan menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript standar. Lapisan ini berfungsi sebagai media untuk memasukkan data pengguna (usia, jenis kelamin, tinggi badan, berat badan, tingkat aktivitas, dan tujuannya). Input tampilan antarmuka ditampilkan pada Gambar 3.

**SiGizi**

Masukkan data Anda untuk mendapatkan rencana menu dengan takaran porsi otomatis.

**Umur (tahun)**  
Contoh: 25

**Jenis Kelamin**  
Pria

**Tinggi Badan (cm)**  
Contoh: 170

**Berat Badan (kg)**  
Contoh: 65

**Level Aktivitas**  
Rendah (Pekerja kantoran)

**Tujuan Anda**  
Diet (Menurunkan berat badan)

**Dapatkan Rencana Menu**

Gambar 3. Antarmuka Input Pengguna

- 2) *Lapisan Pemrosesan (Backend)*: Sistem *backend* dibangun menggunakan kerangka kerja Flask. Sesuai desain, saat server diinisialisasi, aplikasi secara proaktif memuat artefak model yang dilatih secara *offline*, yaitu `kmeans_model.pkl` dan `clustering_scaler.pkl`. Lapisan ini mengelola semua logika inti, mulai dari perhitungan kebutuhan energi hingga eksekusi mekanisme inferensi (optimasi bagian PuLP).

### B. Hasil Clustering K-Means

Tujuan penggunaan *K-Means* dalam sistem ini untuk memberikan label edukatif pada bahan makanan. Proses pelatihan *offline* dijalankan menggunakan skrip `train_clustering_model.py`.

- 1) *Pelatihan offline*: Penentuan jumlah kluster optimal, yang merupakan output dari proses pelatihan *offline* menggunakan *Elbow Method* dan menemukan “lekukan” yang jelas pada  $k=6$ . Setelah jumlah kluster ditetapkan, model *K-Means* serta *StandardScaler* dilatih dan disimpan dalam format `.pkl`. Gambar 4 menampilkan output terminal yang merinci analisis pusat kluster untuk lima karakteristik, lengkap dengan contoh makanan yang termasuk di dalamnya.

```
● (.venv) PS C:\Users\Lenovo\Downloads\Project_Makanan> python train_clustering_model.py
--- Memulai Pelatihan Model Clustering (K-Means) ---
Berhasil memuat 174 data makanan.
Data nutrisi telah distandardisasi.
Model K-Means (k=6) berhasil dilatih.
Model 'kmeans_model.pkl' dan 'clustering_scaler.pkl' telah disimpan.

--- Analisis Hasil Cluster (Centroids) ---
  Kalori (kcal/100g)  Protein (g/100g)  Karbohidrat (g/100g)  Lemak (g/100g)  Serat (g/100g)
0      158.66         21.11                0.72             7.49            0.07
1      119.74         4.15                 22.88            1.87            3.69
2      555.43         23.00                22.71            46.14           7.84
3      312.69         7.88                 68.08            2.61            6.53
4       39.89         2.05                 8.16             0.52            1.86
5      409.50         20.50                51.00            16.25           29.50
```

Gambar 4. Hasil Pelatihan *Offline K-Means*

- 2) *Integrasi Online dan Pelabelan*: Ketika server Flask beroperasi, data makanan yang dimuat akan secara otomatis dilabeli menggunakan artefak yang disiapkan. ID kluster (0-5) yang merupakan hasil prediksi kemudian diterjemahkan menjadi label deskriptif agar mudah dimengerti pengguna. Hasil dari pemetaan label ini dirangkum pada Tabel 6.

TABEL 6  
HASIL PEMETAAN ID KLUSTER *K-MEANS* KE LABEL DESKRIPTIF

ID Kluster	Label Deskriptif	Interpretasi Karakter Gizi
0	Protein Murni	Tinggi protein, rendah karbohidrat dan lemak
1	Padat Energi	Tinggi kalori
2	Pengisi Volume	Rendah kalori, tinggi air dan serat
3	Energi Cepat	Tinggi karbohidrat dan rendah serat
4	Karbohidrat Berserat	Tinggi karbohidrat kompleks dan serat
5	Sumber Lemak Sehat	Dominan lemak dengan sedikit protein/karbo

### C. Hasil Mekanisme Inferensi dan Rekomendasi

Penentuan gramasi porsi optimal oleh mekanisme inferensi dilakukan menggunakan optimasi linier (PuLP).

- 1) *Proses Optimasi*: Proses dimulai ketika pengguna memasukkan data, yang kemudian digunakan sistem untuk mengkalkulasi target harian. Data makanan yang telah diberi label kluster selanjutnya diproses oleh *solver* PuLP. Di sinilah fungsi objektif dieksekusi untuk meminimalkan perbedaan antara nutrisi menu dengan target harian, sambil memastikan kepatuhan terhadap kendala AMDR.
- 2) *Output Rekomendasi*: Seperti yang terlihat pada Gambar 5, antarmuka output menyajikan rekomendasi menu harian yang optimal secara porsi dan nutrisi kepada pengguna. Antarmuka tersebut merinci target harian, daftar makanan, porsi yang direkomendasikan (gram), dan label kluster yang terdapat di Tabel 6.

#### Target Harian

Kalori	Protein	Karbohidrat	Lemak
<b>3136</b>	<b>235</b>	<b>392</b>	<b>70</b>
kcal	g	g	g

#### Camilan siang (~361 kkal)

Nama Makanan	Porsi Rekomendasi	Kalori Porsi
Delima <i>(Padat Energi)</i>	420 gram	349 kkal
Edamame <i>(Padat Energi)</i>	10 gram	12 kkal

#### Makan malam (~901 kkal)

Nama Makanan	Porsi Rekomendasi	Kalori Porsi
Gandum utuh <i>(Energi Cepat)</i>	91 gram	309 kkal
Biji labu <i>(Karbohidrat Berserat)</i>	60 gram	335 kkal
Daun kelor <i>(Pengisi Volume)</i>	400 gram	256 kkal

**Makan siang (~1129 kkal)**

Nama Makanan	Porsi Rekomendasi	Kalori Porsi
Gandum utuh <i>(Energi Cepat)</i>	241 gram	819 kkal
Sayap Ayam (tanpa kulit) <i>(Protein Murni)</i>	117 gram	238 kkal
Oyong <i>(Pengisi Volume)</i>	400 gram	72 kkal

**Sarapan (~705 kkal)**

Nama Makanan	Porsi Rekomendasi	Kalori Porsi
Oatmeal <i>(Pengisi Volume)</i>	300 gram	204 kkal
Sayap Ayam (tanpa kulit) <i>(Protein Murni)</i>	247 gram	501 kkal

**Total Kalori Rencana Menu: 3096 kkal**

[Coba Rekomendasi Menu Lainnya](#)

Gambar 5. Hasil Rekomendasi pada Antarmuka Pengguna

- 3) *Studi Kasus*: Pengujian studi kasus dilaksanakan untuk membuktikan keefektifan optimasi. Seluruh hasil perhitungan sistem beserta rekomendasi porsi optimalnya dapat dilihat pada Tabel 7. (1) Profil Pengguna: Pria, 21 Tahun, 80kg, 176cm, Aktivitas rendah, Tujuan Menurunkan berat badan. (2) Target Harian (Hasil Perhitungan): Target Kalori 1940 kkal; Protein 146g; Karbohidrat 194g; Lemak 65g.

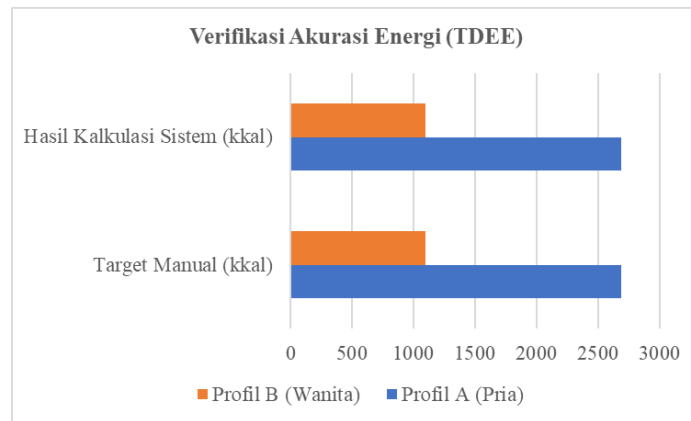
TABEL 7  
HASIL REKOMENDASI MENU HARIAN (STUDI KASUS)

Waktu Makan	Nama Makanan	Porsi Optimal (g)	Label Deskriptif
Sarapan	Mi Telur (kering)	120	Energi Cepat
Sarapan	Udang	50	Protein Murni
Makan Siang	Mi Telur (kering)	96	Energi Cepat
Makan Siang	Udang	350	Protein Murni
Makan Siang	Jamur Kuping	400	Pengisi Volume
Camilan	Sawo	233	Padat Energi
Camilan	Kacang Hijau	10	Padat Energi
Makan Malam	Mi Telur (Kering)	99	Energi Cepat
Makan Malam	Kacang Hijau	50	Padat Energi
Makan Malam	Kangkung	400	Pengisi Volume

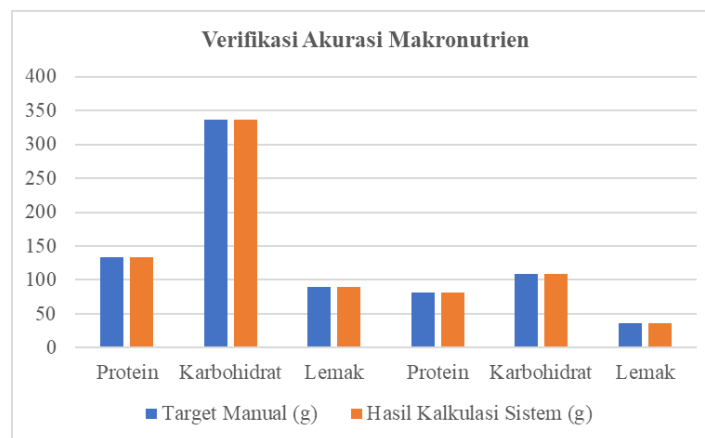
#### D. Hasil Pengujian Sistem

Sistem diuji menggunakan 2 pendekatan, yaitu:

- 1) *Uji Akurasi Gizi*: Pengujian dilakukan untuk memvalidasi akurasi perhitungan basis aturan (Mifflin-St Jeor, FAO, IOM) serta efektivitas mekanisme optimisasi porsi. Hasil verifikasi perhitungan energi (TDEE) dan makronutrien disajikan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

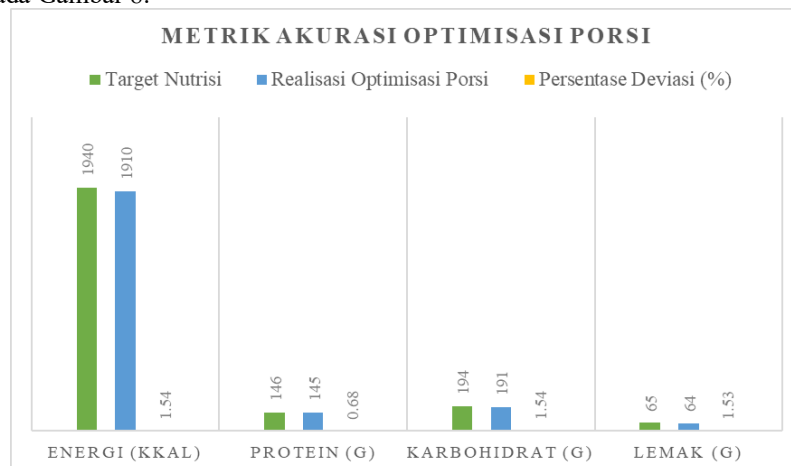


Gambar 6. Grafik Verifikasi Energi



Gambar 7. Grafik Verifikasi Makronutrien

Berdasarkan visualisasi tersebut, sistem terbukti menghasilkan angka yang identik dengan perhitungan manual untuk berbagai profil pengguna. Selanjutnya, akurasi porsi dinamis diuji menggunakan metrik deviasi yang disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Metrik Akurasi Optimisasi Porsi

Hasil pada Gambar 8 menunjukkan bahwa mekanisme optimisasi porsi berhasil mencapai target gizi dengan tingkat presisi tinggi, di mana seluruh parameter menunjukkan deviasi kalori rata-rata di bawah 3%.

- 2) *Uji Fungsional (Validasi)*: Evaluasi terhadap alur kerja sistem secara menyeluruh (dari input pada Gambar 3

hingga output pada Gambar 5) telah dilaksanakan. Hasilnya membuktikan bahwa seluruh fungsionalitas sistem berjalan sebagaimana mestinya. Termasuk di dalamnya adalah verifikasi terkait label kluster *K-Means* yang ditampilkan pada output (Gambar 5) sudah akurat dan konsisten dengan hasil pelatihan (Gambar 4).

#### E. Pembahasan

Penelitian ini menemukan bahwa integrasi *K-Means* berhasil digunakan sebagai alat bantu edukasi dalam sistem optimasi gizi. Tidak seperti implementasi *K-Means* pada umumnya, sistem ini memberikan wawasan langsung kepada pengguna melalui pelabelan deskriptif. Penggunaan label seperti "Protein Murni" dan "Padat Energi & Lemak" (di Gambar 4) terbukti efektif membantu pengguna mengerti karakteristik nutrisi dari menu yang disarankan.

Sementara itu, aspek mekanisme inferensi, optimasi linier (PuLP) terbukti mampu mengatasi masalah penentuan porsi yang memiliki banyak kendala (seperti AMDR, kalori, dan batas porsi). Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa *solver* mampu menemukan kombinasi porsi yang sangat mendekati target harian (deviasi kalori <3%, pemenuhan makronutrien tercapai), seraya mematuhi seluruh batasan yang ada. Pendekatan ini secara langsung menjawab celah penelitian mengenai kurangnya rekomendasi kuantitatif (gramasi) presisi pada sistem sebelumnya. Dibandingkan pendekatan prediktif, metode optimisasi ini menjamin pemenuhan target nutrisi secara matematis.

Kelebihan utama sistem ini dibandingkan dengan pendekatan berbasis *forward chaining* maupun model prediktif berbasis *backpropagation* adalah kemampuannya dalam memberikan rekomendasi gramasi yang presisi. Jika metode sebelumnya cenderung berfokus pada klasifikasi kualitatif atau prediksi jenis diet semata, arsitektur hibrida dalam penelitian ini berhasil mengisi kesenjangan (*gap*) penelitian melalui penyediaan takaran porsi dinamis yang akurat secara numerik untuk memenuhi target gizi harian pengguna secara optimal.

Keterbatasan utama penelitian ini adalah rekomendasi berbasis bahan mentah, yang belum memperhitungkan penambahan nutrisi dari proses memasak (minyak, garam, gula). Selain itu, akurasi bergantung pada kualitas data nutrisi dan pelabelan *K-Means* yang masih interpretatif. Pengembangan selanjutnya dapat difokuskan pada integrasi database resep olahan dan personalisasi preferensi rasa menggunakan *supervised machine learning*.

#### F. Ancaman Terhadap Validitas (Threats of Validity)

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa faktor yang diidentifikasi sebagai ancaman terhadap validitas hasil dan klaim kontribusi yang diajukan. Evaluasi terhadap ancaman-ancaman tersebut diuraikan sebagai berikut:

- 1) *Validitas Internal (Internal Validity)*: Akurasi dari rekomendasi porsi yang dihasilkan sangat bergantung pada integritas dan kualitas data fakta nutrisi yang tersimpan dalam basis data pangan. Adanya kesalahan input pada nilai dasar nutrisi per 100 gram bahan makanan akan menyebabkan bias atau deviasi pada hasil akhir kalkulasi mekanisme optimisasi.
- 2) *Validitas Konstruk (Construct Validity)*: Sistem saat ini mengadopsi asumsi perhitungan berbasis bahan pangan mentah. Ancaman pada validitas ini muncul karena proses pengolahan atau memasak (seperti penambahan minyak, gula, atau garam) belum diintegrasikan secara otomatis ke dalam variabel keputusan model pemrograman linier. Hal ini berpotensi menyebabkan selisih antara nilai gizi yang dihitung oleh sistem dengan nilai gizi yang dikonsumsi secara riil oleh pengguna.
- 3) *Validitas Kesimpulan (Conclusion Validity)*: Meskipun hasil pengujian pada skenario profil pengguna menunjukkan tingkat presisi yang tinggi dengan deviasi kalori rata-rata <3%, hasil ini bersifat representatif untuk populasi umum yang sehat. Kesimpulan akurasi ini mungkin belum mencakup variasi kondisi medis khusus atau kebutuhan diet klinis yang lebih kompleks dan spesifik.
- 4) *Validitas Eksternal (External Validity)*: Generalisasi hasil penelitian ini dibatasi oleh basis data pangan yang difokuskan pada bahan makanan lokal Indonesia. Implementasi sistem pada wilayah dengan profil bahan pangan atau pola diet internasional yang berbeda mungkin memerlukan penyesuaian signifikan pada basis data dan bobot optimisasi.

#### IV. SIMPULAN

Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sebuah Sistem Pendukung Keputusan (SPK) gizi harian yang mampu mengatasi keterbatasan rekomendasi kualitatif melalui optimisasi porsi dinamis. Tujuan ini dicapai melalui arsitektur hibrida yang mengintegrasikan basis pengetahuan sistem pakar (berdasarkan standar Mifflin-St Jeor, FAO, dan IOM), *unsupervised machine learning (K-Means clustering)* untuk pelabelan fungsional bahan pangan, dan mekanisme inferensi berbasis pemrograman linier. Berdasarkan hasil dan pembahasan, arsitektur sistem berbasis web terbukti berhasil diimplementasikan secara fungsional dan basis aturan kalkulator gizi terverifikasi akurat terhadap perhitungan manual. Metode *K-Means* juga terbukti efektif mengelompokkan bahan pangan ke dalam 6 kluster fungsional yang memberikan nilai edukatif tambahan bagi pengguna. Lebih lanjut, mekanisme inferensi optimisasi porsi mampu secara konsisten menghasilkan rencana menu harian yang akurat secara kuantitatif, ditunjukkan dengan deviasi kalori yang rendah (<3%)

dan pemenuhan target makronutrien yang presisi pada studi kasus. Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan hibrida berbasis optimisasi porsi dinamis berhasil menjawab celah penelitian dan mampu menghasilkan rekomendasi menu gizi yang personal, terukur, dan akurat secara matematis. Keterbatasan utama penelitian ini adalah rekomendasi berbasis bahan mentah yang belum memperhitungkan penambahan nutrisi dari proses memasak. Rencana penelitian lanjutan dapat difokuskan pada integrasi database resep olahan serta implementasi *supervised machine learning* untuk personalisasi berdasarkan preferensi rasa pengguna.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Universitas Bina Sarana Informatika atas fasilitas akademik yang telah disediakan selama proses penelitian dan penulisan naskah ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Bapak Muhammad Muharrom dan Ibu Findi Ayu Sariasih yang telah memberikan arahan dan masukan berharga, serta rekan-rekan yang telah membantu dan para reviewer anonim atas saran konstruktifnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. K. Indarwati and L. R. Sefrina, "Factors in Food Selection as a Benchmark for Nutrition Fulfillment in the Young Generation: Literature Review," *Media Publ. Promosi Kesehat. Indones.*, vol. 6, no. 12, pp. 2352–2356, 2023.
- [2] K. K. R. Indonesia, "Profil Kesehatan Indonesia 2023," 2023. [Online]. Available: <https://kemkes.go.id/id/profil-kesehatan-indonesia-2023>
- [3] Y. E. B. Mawartika and M. Guntur, "Aplikasi Sistem Pakar Pemilihan Makanan Berdasarkan Kebutuhan Gizi Menggunakan Metode Forward Chaining," *Cogito Smart J.*, vol. 7, no. 1, pp. 96–110, 2021.
- [4] M. T. A. P. Tumanger, H. Hendrawaty, and H. Huzaeni, "Sistem Pakar Pemilihan Makanan Berdasarkan Kebutuhan Gizi Pada Mahasiswa Menggunakan Metode Backpropagation Berbasis Web," *J. Teknol. Rekayasa Inf. dan Komput.*, vol. 8, no. 1, pp. 33–40, 2025, [Online]. Available: <https://e-jurnal.pnl.ac.id/TRIK/article/view/7271>
- [5] M. D. Mifflin, S. T. S. Jeor, L. A. Hill, B. J. Scott, S. A. Daugherty, and Y. O. Koh, "A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals," *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 51, no. 2, pp. 241–247, 1990.
- [6] Food and A. O. (FAO), "Human energy requirements: report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation," 2005. [Online]. Available: <https://www.fao.org/4/y5686e/y5686e00.htm>
- [7] I. of Medicine, *Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (Macronutrients)*. National Academies Press, 2005.
- [8] S. Mitchell, A. Kean, A. Mason, M. O', S. A. Phillips, and F. Peschiera, "Optimization with PuLP," pulp documentation team. [Online]. Available: [https://coin-or.github.io/pulp/main/the\\_optimisation\\_process.html](https://coin-or.github.io/pulp/main/the_optimisation_process.html)
- [9] K. Parganiha, "Linear Programming with Python and PuLP," *Int. J. Ind. Eng. Res. Dev.*, vol. 9, no. 3, pp. 1–8, 2018.
- [10] K. Wiguna and D. Mahdiana, "Analysis of Information Systems Development Methods: A Literature Review," *J. Inovtek Polbeng - Seri Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 472–483, 2023.
- [11] E. Bjarnason, F. Lang, and A. Mjörberg, "An empirically based model of software prototyping: a mapping study and a multi-case study," *Empir. Softw. Eng.*, vol. 28, no. 115, 2023.
- [12] T. Pricillia and Zulfachmi, "Survey Paper: Perbandingan Metode Pengembangan Perangkat Lunak (Waterfall, Prototype, RAD)," *Bangkit Indones.*, vol. 10, no. 1, pp. 6–12, 2021.
- [13] A. Noor and A. Assiri, "A Rule-Based Inference Framework to Explore and Explain the Biological Related Mechanisms of Potential Drug-Drug Interactions," *Comput. Math. Methods Med.*, vol. 2022, no. 1, 2022.
- [14] M. Arif and M. Rashid, "A Literature Review on Model Conversion, Inference, and Learning Strategies in EdgeML with TinyML Deployment," *Comput. Mater. Contin.*, vol. 83, no. 1, pp. 13–64, 2025.
- [15] T. Jambudi and S. Gandhi, "Analytical Review of K-Means based Algorithms and Evaluation Methods," *Grenze Int. J. Eng. Technol.*, pp. 479–486, 2021.
- [16] J. Yang, Y. K. Wang, X. Yao, and C. T. Lin, "Adaptive Initialization Method for K-Means Algorithm," *Front. Artif. Intell.*, vol. 4, 2021.
- [17] A. M. Iktun, A. E. Ezugwu, L. Abualigah, B. Abuhaija, and J. Heming, "K-means clustering algorithms: A comprehensive review, variants analysis, and advances in the era of big data," *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 622, pp. 178–210, 2023, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020025522014633>