

Optimasi Komposisi Makanan Penderita Diabetes dengan Hybrid Genetic Algorithm dan Modified Simulated Annealing

Achmad Suryadi Nasution ^{1 *}, Ilham Saputra ², Anisa Nur Rosidha ³, Lutfi Mardianto ⁴

^{1,2,3,4}Institut Teknologi Sumatera ; Jalan Terusan Ryacudu, Lampung Selatan, Lampung

^{1,2,3,4}Program Studi Matematika Institut Teknologi Sumatera Lampung Indonesia

*Corresponding author: achmad.nasution@ma.itera.ac.id

Diajukan: 24 Januari 2025, Diperbaiki: 25 Juni 2025, Diterima: 15 Juli 2025

Abstrak

Diabetes melitus merupakan salah satu penyakit yang paling mematikan. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan diabetes melitus yaitu pola makan yang tidak teratur dan gaya hidup yang kurang sehat. Pasien pengidap diabetes melitus harus melakukan diet sehat dengan cara mengidentifikasi komposisi makanan yang optimal agar tidak memicu komplikasi dengan berbagai macam penyakit mematikan lainnya. Identifikasi komposisi makanan dilakukan dengan menggunakan hybrid adaptive genetic algorithm dan modified simulated annealing. Berdasarkan hasil pengujian pada pasien, rata-rata tingkat akurasi yang diperoleh untuk karbohidrat, protein, lemak, natrium, serat, dan kalori masing-masing adalah 99,90%, 99,72%, 99,33%, 99,99%, 99,29%, dan 99,86%.

Kata Kunci: adaptive genetic algorithm, diabetes melitus, komposisi makanan, modified simulated annealing.

Abstract

Diabetes mellitus is one of the deadliest diseases. Factors that can cause diabetes mellitus are irregular eating patterns and unhealthy lifestyles. Patients with diabetes mellitus must have a healthy diet by identifying the optimal food composition so as not to trigger complications with various other deadly diseases. Identification of food composition was carried out using a hybrid adaptive genetic algorithm and modified simulated annealing. Based on the patient testing results, the average accuracy for carbohydrates, protein, fat, sodium, fiber, and calories was 99.90%, 99.72%, 99.33%, 99.99%, 99.29%, and 99.86%, respectively.

Keywords: adaptive genetic algorithm, diabetes mellitus, food composition, modified simulated annealing.

1 Pendahuluan

Diabetes melitus merupakan penyakit atau gangguan metabolisme yang disebabkan oleh tingginya kadar gula darah atau glukosa yang melebihi batas normal. Diabetes melitus merupakan penyakit yang dapat menyerang semua kalangan, baik yang sudah berusia lanjut maupun yang masih muda. Pada tahun 2021, International Diabetes Federation atau IDF mencatat sekitar 537 juta orang berusia 20-79 tahun atau satu dari sepuluh orang di dunia mengidap penyakit diabetes. Dengan jumlah 19,47 juta orang pengidap diabetes di Indonesia, Indonesia menempati peringkat kelima dengan pengidap penyakit diabetes terbanyak di dunia pada tahun 2021. Jumlah tersebut meningkat pesat dalam kurun waktu 10 tahun terakhir. Jika dibandingkan dengan jumlah pengidap

diabetes pada tahun 2011 yang berjumlah sekitar 7,29 juta orang, jumlah tersebut mengalami peningkatan sebesar 167%. Peningkatan jumlah tersebut secara signifikan lebih besar dibandingkan dengan peningkatan dari tahun 2000 hingga 2011 yang hanya meningkat sebesar 29% dari 5,65 juta orang yang mengidap diabetes di Indonesia pada tahun 2000. Jumlah pengidap diabetes di Indonesia diperkirakan akan terus meningkat hingga mencapai 28,57 juta orang pada tahun 2045 [1].

Secara umum, faktor-faktor yang dapat menyebabkan diabetes melitus yaitu pola makan yang tidak teratur, gaya hidup yang kurang sehat dan obesitas [2]. Selain itu, mengontrol kadar gula darah dengan baik dan melakukan diet yang tepat, dapat menghindarkan pengidap diabetes dari berbagai komplikasi [3]. Komponen terpenting dari diet sehat yaitu mengidentifikasi komposisi makanan yang optimal dengan mengoptimalkan gizi yang terkandung pada berbagai makanan untuk dikonsumsi pengidap diabetes. Para tenaga medis mampu mengidentifikasi berbagai macam makanan yang harus dikonsumsi dan mampu menghitung kalori yang dibutuhkan secara manual. Ada beberapa metode untuk menghitung jumlah kalori yang dibutuhkan untuk pengidap diabetes, antara lain dengan menghitung kebutuhan kalori basal yang setara 25-30 kal/kg dari berat badan ideal. Berat Badan Ideal (BBI) adalah berat badan yang diyakini paling sehat (ideal) untuk seseorang berdasarkan tinggi badannya. Jumlah tersebut akan ditambah atau dikurang berdasarkan berbagai faktor yang mempengaruhi seperti jenis kelamin, usia, aktivitas, berat badan, dan lain-lain. BBI dapat dihitung dengan menggunakan rumus Broca [4]. Terkait dalam mengidentifikasi berbagai macam makanan yang harus dikonsumsi serta banyaknya variasi bahan makanan yang tersedia, tentunya hal tersebut akan membutuhkan waktu yang sangat lama untuk menemukan kombinasi makanan yang tepat. Selain itu mengidentifikasi komposisi makanan yang optimal dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak. Menggunakan perangkat lunak dalam mengidentifikasi komposisi makanan dapat dilakukan secara cepat, akan tetapi jika perangkat lunak tersebut tidak didasari dengan metode pendukung yang tepat maka gizi yang dihasilkan tidak selalu optimal. Dengan demikian diperlukan teknik atau metode pendukung yang akan diimplementasikan ke dalam perangkat lunak untuk mengidentifikasi komposisi makanan dan menghitung gizi yang dibutuhkan secara optimal dengan harga yang minimum [5].

Penentuan komposisi makanan untuk pengidap diabetes merupakan masalah kombinatorial yang dapat diatasi dengan menggunakan algoritma genetika [6]. Algoritma genetika merupakan salah satu metode optimasi berbasis *stochastic optimization* dengan pendekatan metaheuristik yang didasarkan pada *evolutionary algorithms* (EA). Metode ini banyak digunakan dalam disiplin ilmu fisika, biologi, ekonomi, sosiologi, dan lain-lain, karena kemampuannya yang mampu mengatasi berbagai masalah optimasi dengan model matematika yang rumit [7].

Masalah optimasi komposisi makanan untuk memenuhi kebutuhan gizi sudah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Meskipun algoritma genetika terbukti dapat menyelesaikan masalah optimasi dengan kasus yang kompleks, namun algoritma genetika memiliki kelemahan yaitu mudah untuk terjebak kedalam lokal optimum. Sehingga untuk menutupi kelemahan tersebut algoritma genetika banyak di hibridisasikan dengan metode lain seperti *simulated annealing*. *Simulated annealing* merupakan salah satu metode optimasi berbasis *stochastic optimization* dengan pendekatan metaheuristik berbasis *local search*. *Simulated annealing* memiliki kelebihan dapat mengeksplorasi Solusi secara mendalam, tetapi metode ini juga memiliki kelemahan yaitu hanya mampu menghasilkan 1 solusi saja dan mengabaikan solusi lainnya yang gagal terpilih. Kelemahan *simulated annealing* tersebut dapat ditutupi oleh algoritma genetika yang mampu menyimpan banyak solusi. Penelitian sebelumnya yang mengimplementasikan *hybrid* algoritma genetika dan *simulated annealing* mengenai optimasi komposisi makanan sudah banyak diterapkan ke berbagai masalah seperti optimasi gizi untuk kebutuhan keluarga [8], optimasi gizi untuk kebutuhan Balita [9], optimasi penyesuaian nutrisi untuk pasien hipertensi [10] dan optimasi gizi untuk kebutuhan daya tahan para atlet [11].

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan di atas, diperlukan metode pendukung yang akan digunakan untuk mengoptimalkan komposisi makanan sebagai pemenuhan gizi pengidap diabetes melitus yaitu menggabungkan adaptive genetic algorithm dan modified simulated annealing (AGA-MSA). Dengan penggabungan kedua metode ini diharapkan mampu menyelesaikan masalah optimasi komposisi makanan dan mampu memenuhi kebutuhan gizi pengidap diabetes melitus yang lebih optimal dengan biaya yang minimum.

2 Metode Penelitian

2.1 Diabetes Melitus Tipe 2

Diabetes melitus (DM) tipe 2 merupakan tipe diabetes melitus yang paling banyak pasiennya dibanding dengan diabetes melitus tipe 1. Dari semua pasien pengidap DM, pasien dengan DM tipe 2 mencapai 90-95%, dengan mayoritas dari mereka berusia di atas 45 tahun. Namun, jumlah pengidap DM tipe 2 di kalangan remaja dan anak akhir-akhir ini meningkat [12].

Sel-sel beta pankreas pada DM tipe 2 tidak rusak sepenuhnya, tetapi hanya sebagian kecil yang normal dan mampu mensekresi insulin [13]. Namun kualitas insulin yang buruk, serta kurang mampu bekerja dengan baik menyebabkan kadar glukosa pada darah meningkat [3]. Selain itu kurangnya sensitivitas sel-sel jaringan tubuh dan jaringan otot pasien terhadap insulin atau bahkan

sudah resisten terhadap insulin, mengakibatkan insulin tidak dapat berfungsi dengan baik sehingga glukosa menumpuk di aliran darah [3].

Faktor-faktor yang memungkinkan seseorang terkena DM tipe 2 yaitu usia di atas 45 tahun, memiliki riwayat keluarga pengidap diabetes, obesitas, riwayat gangguan toleransi glukosa, nilai HDL lebih kecil dari 35 mg/dl, kadar trigliserida lebih dari 250 mg/dl, riwayat diabetes melitus gestasional, dan hipertensi [13].

2.2 Menghitung Kebutuhan Kalori Pasien DM

Ada beberapa metode untuk menghitung jumlah kalori yang dibutuhkan untuk pengidap diabetes, antara lain dengan menghitung kebutuhan kalori basal yang setara 25-30 kal/kg BB dari berat badan ideal. Jumlah tersebut akan ditambah atau dikurang berdasarkan berbagai faktor yang mempengaruhi seperti jenis kelamin, usia, aktivitas, berat badan, dan lain-lain. Berikut ini adalah beberapa cara mengetahui berat badan ideal [4]:

- Berat Badan Ideal (BBI)

Dengan menggunakan rumus Broca yang dimodifikasi, berat badan ideal (BBI) dapat dihitung menggunakan Persamaan (1):

$$BBI = 90\% \times (TB - 100) \times 1kg \quad (1)$$

keterangan:

BBI : berat badan ideal (kg),

TB : tinggi badan (cm).

Untuk laki-laki dengan tinggi badan kurang dari 160 cm dan perempuan dengan tinggi badan kurang dari 150 cm, perhitungan BBI menggunakan Persamaan (2):

$$BBI = (TB - 100) \times 1kg \quad (2)$$

keterangan:

BBI : berat badan ideal (kg),

TB : tinggi badan (cm).

- Indeks Massa Tubuh (IMT)

Indeks Massa Tubuh (IMT) atau biasa disebut juga *Body Mass Index* (BMI) adalah rasio berat terhadap tinggi yang digunakan untuk mengkategorikan kekurangan berat badan (*Underweight*), kelebihan berat badan (*Overweight*) dan kegemukan (Obesitas) pada orang dewasa. IMT dapat dihitung menggunakan Persamaan (3):

$$IMT = \frac{BB}{(TB)^2} \quad (3)$$

keterangan:

IMT : indeks massa tubuh,
 BB : berat badan ideal (kg),
 TB : tinggi badan (m).

Indeks Massa Tubuh memiliki berbagai macam klasifikasi. Klasifikasi indeks massa tubuh berdasarkan klasifikasi Nasional dijelaskan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi IMT Nasional

Klasifikasi Berat Badan	IMT
Sangat Kurang	< 17
Kurang	17 - 18,4
Normal	18,5 - 25
Lebih	25,1 - 27
Sangat Lebih	> 27

Sumber : (PGN,2014) dalam P2PTM Kemenkes RI

Kebutuhan kalori yang dibutuhkan oleh pasien pengidap penyakit DM berbeda-beda, yang disesuaikan dengan faktor-faktor seperti jenis kelamin, umur, aktivitas fisik dan berat badan [4]. Sehingga total kebutuhan kalori yang dibutuhkan bagi pasien pengidap DM yang telah disesuaikan oleh berbagai faktor yang mempengaruhi, dapat dituliskan pada Persamaan (4) berikut:

$$AKG = AMB - U + AF \pm B \quad (4)$$

keterangan:

AKG : angka kecukupan gizi (kal),
 AMB : angka metabolisme basal (kal),
 U : kalori yang disesuaikan berdasarkan umur (kal),
 AF : kalori yang disesuaikan berdasarkan aktivitas fisik (kal),
 B : kalori yang disesuaikan berdasarkan berat badan (kal).

2.3 Hybrid AGA-MSA

Kombinasi algoritma genetika dan simulated annealing sering digunakan untuk mengatasi permasalahan optimasi, dengan tujuan memanfaatkan kelebihan kedua metode sekaligus menutupi kekurangannya. Dalam proses pencarian solusi menggunakan algoritma genetika, terdapat sejumlah tahapan utama yang meliputi representasi kromosom, reproduksi, evaluasi, serta seleksi. Tahapan-tahapan tersebut merupakan komponen penting dalam mekanisme kerja algoritma genetika. Penjelasan lebih lanjut mengenai masing-masing tahapan disajikan sebagai berikut.

A. Representasi Kromosom

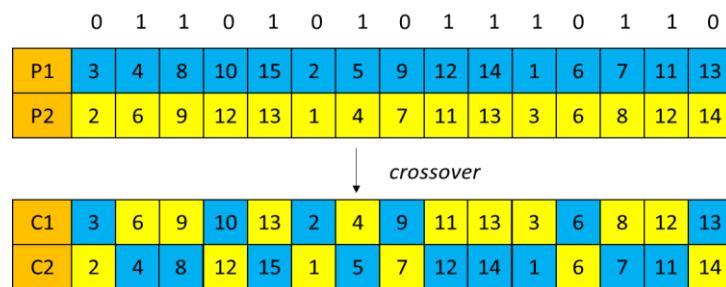
Pada tahap ini, setiap gen direpresentasikan menggunakan bilangan integer dalam rentang 1 hingga 15, yang masing-masing merepresentasikan jenis bahan makanan. Satu kromosom terdiri atas 15 gen yang terbagi untuk kebutuhan konsumsi harian, yaitu pada waktu pagi, siang, dan malam. Kromosom tersebut membentuk suatu solusi yang menggambarkan komposisi makanan yang sesuai dengan kebutuhan nutrisi bagi pasien DM. Pembentukan komposisi makanan yang diberikan kepada pasien terdiri dari makanan pokok (P), nabati (N), hewani (H), sayur (S) dan buah (B). Komposisi makanan ini akan diberikan kepada pasien pengidap DM sebanyak tiga kali sehari. Representasi kromosom tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

P	N	H	S	B	P	N	H	S	B	P	N	H	S	B
Pagi					Siang					Malam				

Gambar 1. Komposisi makanan sebagai kromosom

B. Uniform Crossover

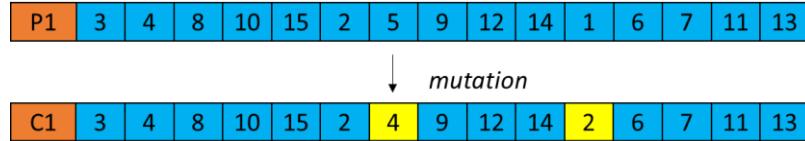
Pada teknik *uniform crossover*, dua individu atau kromosom induk dipilih secara acak dari populasi. Selanjutnya, diterapkan suatu pola biner secara random yang terdiri dari nilai 0 dan 1 sebagai panduan untuk menentukan gen mana yang akan dipertukarkan. Setiap posisi pada pola tersebut menunjukkan apakah terjadi pertukaran gen: jika bernilai 1, maka gen pada posisi tersebut ditukar antar induk dan jika bernilai 0, maka gen tetap di tempatnya. Ilustrasi dari teknik *uniform crossover* pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses Crossover

C. Random Resetting Mutation

Pada teknik ini, satu atau lebih gen dari kromosom yang terpilih akan mengalami perubahan dengan cara menggantikan nilai awalnya menggunakan nilai acak (*random*) yang diambil dari rentang nilai yang ditetapkan sesuai dengan karakteristik permasalahan. Teknik ini dianggap paling sesuai untuk digunakan karena memberikan peluang yang setara bagi setiap gen untuk mengalami mutasi. Contoh penerapan dari teknik *random resetting mutation* disajikan pada Gambar 3.

**Gambar 3.** Proses Mutasi

D. Seleksi

Seleksi merupakan salah satu tahapan penting dalam algoritma genetika, yang berfungsi untuk menentukan individu-individu yang akan dipertahankan dan dilanjutkan ke generasi berikutnya. Proses ini dilakukan dengan mengacu pada nilai *fitness* masing-masing individu. Terdapat berbagai metode seleksi yang dapat diterapkan, antara lain *Roulette Wheel Selection*, *Rank-Based Selection*, *Tournament Selection*, *Steady State Selection*, *Elitism Selection*, dan teknik lainnya.

Pada metode *elitism selection*, individu-individu dalam populasi gabungan akan disusun berdasarkan urutan nilai *fitness*, dari yang tertinggi hingga yang terendah. Selanjutnya, sejumlah individu dengan nilai *fitness* terbaik akan dipilih untuk dipertahankan dan diteruskan ke generasi berikutnya. Contoh penerapan dari metode *elitism selection* disajikan pada Gambar 4.

Individu	Fitness	Individu	Fitness
C1	0,059	C1	0,059
P1	0,051	P1	0,051
P4	0,048	P4	0,048
C2	0,038	C2	0,038
P3	0,037	P3	0,037
C3	0,022		
P2	0,016		
P5	0,012		

seleksi

Gambar 4. Proses Seleksi

Dalam algoritma genetika, menentukan parameter *crossover rate (cr)* dan *mutation rate (mr)* yang tepat adalah tantangan, karena setiap permasalahan membutuhkan nilai parameter yang berbeda, sehingga memerlukan pengujian yang memakan waktu. Untuk mengatasi hal ini, beberapa penelitian menggunakan mekanisme adaptif untuk mengubah *cr* dan *mr* selama algoritma berlangsung. Mekanisme adaptif ini terbukti mempercepat konvergensi algoritma ke solusi yang lebih optimal [7].

Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan parameter *cr* dan *mr* secara adaptif [14]:

$$cr = \begin{cases} cr_1 - \frac{(cr_1 - cr_2)(f' - f_{avg})}{f_{max} - f_{avg}} & , \quad f' > f_{avg} \\ cr_1 & , \quad f' \leq f_{avg} \end{cases} \quad (5)$$

dan

$$mr = \begin{cases} mr_1 - \frac{(mr_1 - mr_2)(f - f_{avg})}{f_{max} - f_{avg}} & , \quad f > f_{avg} \\ mr_1 & , \quad f \leq f_{avg} \end{cases} \quad (6)$$

keterangan:

f_{max} : Nilai *fitness* maksimum dari suatu populasi,

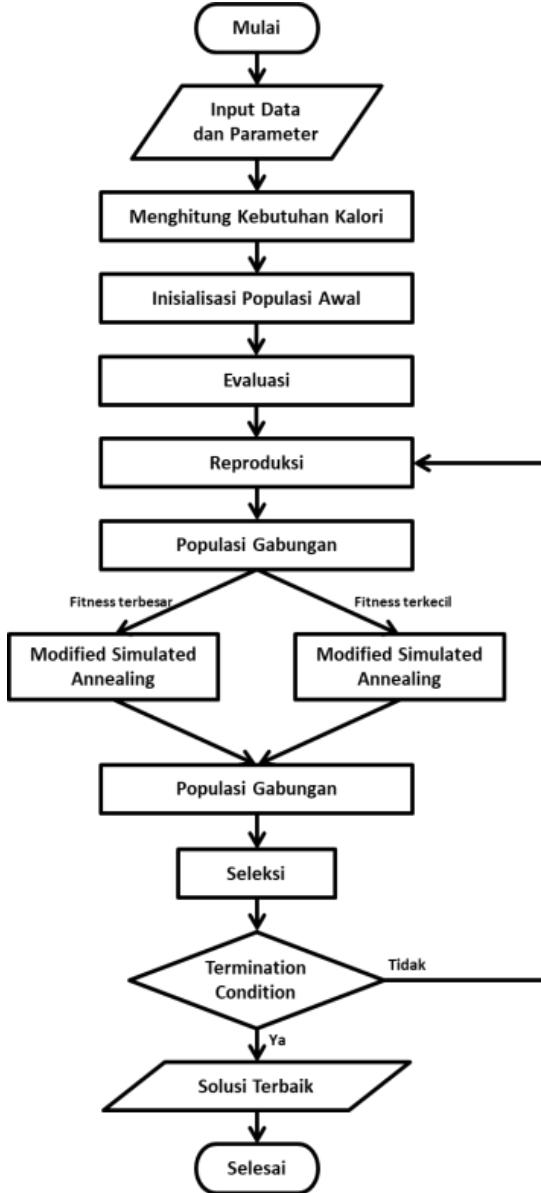
f_{avg} : Nilai *fitness* rata-rata dari suatu populasi,

f' : Nilai *fitness* tertinggi antara individu yang terpilih untuk melakukan *crossover*,

f : Nilai *fitness* individu yang terpilih untuk melakukan mutasi,

dengan $cr_1 = 0,9$, $cr_2 = 0,6$, $mr_1 = 0,1$, dan $mr_2 = 0,001$.

Penelitian ini mengombinasikan algoritma genetika adaptif (Adaptive Genetic Algorithm) dengan simulated annealing yang telah dimodifikasi (*Modified Simulated Annealing*), menciptakan Hybrid Adaptive Genetic Algorithm-Modified Simulated Annealing (Hybrid AGA-MSA). Pada penelitian ini, penulis memodifikasi simulated annealing dengan mengubah proses neighborhood dengan menggunakan salah satu teknik yang terdapat pada proses mutasi pada algoritma genetika. Hal ini perlu dilakukan sebab beberapa teknik pada proses neighborhood, seperti swap, insert ataupun scramble, tidak dapat diterapkan untuk mencari calon solusi baru pada permasalahan optimasi gizi. Sehingga diperlukan cara lain yang cocok untuk mengubah solusi yang terpilih tersebut menjadi calon solusi yang baru. Teknik mutasi yang digunakan untuk menghasilkan solusi baru pada saat proses neighborhood yaitu teknik random resetting mutation. Teknik random resetting mutation merupakan salah satu teknik yang cocok pada penelitian ini dikarenakan teknik ini merupakan salah satu teknik mutasi pada algoritma genetika yang digunakan untuk permasalahan dengan representasi integer. Teknik random resetting mutation diterapkan untuk memodifikasi solusi terpilih pada proses neighborhood. Proses ini dilakukan dengan cara memilih dua indeks secara acak dari solusi yang tersedia. Selanjutnya, nilai pada masing-masing indeks tersebut digantikan dengan nilai baru yang diambil secara acak dari domain yang sesuai dengan kategori jenis makanan pada posisi tersebut. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa solusi yang dihasilkan tetap valid dan realistik sebagai komposisi makanan yang memenuhi kebutuhan gizi pasien diabetes melitus. Gambar 5 merupakan alur dari proses optimasi gizi pada komposisi makanan untuk pasien pengidap penyakit DM tipe 2 dengan menggunakan *hybrid* AGA-MSA.



Gambar 5. Flowchart hybrid AGA-MSA

Pada tahap evaluasi, setiap individu dinilai dengan fungsi *fitness* yang menggambarkan seberapa baik individu tersebut sebagai solusi, dengan nilai *fitness* yang lebih tinggi menunjukkan solusi yang lebih baik. Setelah itu dilakukan proses reproduksi dengan menggunakan dua operator genetik berupa crossover dan mutasi. Hasil dari proses reproduksi yang berupa keturunan (offspring) akan digabungkan dengan populasi sebelumnya yang kemudian akan dievaluasi untuk mengetahui seberapa besar nilai *fitness* pada masing-masing individu. Nilai *fitness* tertinggi dan terendah pada hasil evaluasi akan diproses menggunakan metode simulated annealing. Setelah proses SA selesai dilakukan, seluruh individu yang dihasilkan melalui proses SA serta proses GA sebelumnya akan diseleksi sesuai dengan nilai *fitness* yang diperoleh oleh masing-masing individu. Proses hybrid ini akan terus berulang hingga kondisi pemberhentian telah tercapai.

Penelitian ini mengoptimalkan tiga aspek: kebutuhan gizi pasien diabetes melitus tipe 2, harga, dan variasi makanan. Untuk kebutuhan gizi pasien, asupan harus sesuai dengan perhitungan, yang kemudian dimodelkan dalam bentuk persamaan matematis berikut:

$$P(i) = \sum_{y=1}^m \left| a_y - \sum_{j=1}^n b_{y,j} \right| , \quad \forall i = 1, 2, \dots, r \quad (7)$$

keterangan:

$P(i)$: total penalti gizi pada individu ke- i ,

a_y : nilai kebutuhan gizi jenis y yang dibutuhkan,

$b_{y,j}$: total kandungan gizi jenis y pada makanan di dimensi ke- j ,

Pada pemasalahan harga, harga yang dihitung merupakan harga dari makanan yang dikonsumsi selama sehari. Hal tersebut dapat diformulasikan sebagai

$$H(i) = \sum_{j=1}^n h_j , \quad \forall i = 1, 2, \dots, r \quad (8)$$

keterangan:

$H(i)$: total harga pada individu ke- i ,

h_j : harga makanan ke- j .

Permasalahan selanjutnya adalah variasi makanan. Variasi yang dimaksud pada permasalahan ini yaitu banyaknya variasi makanan yang dikonsumsi perharinya. Permasalahan variasi makanan ini dapat dimodelkan menjadi:

$$V(i) = \sum_{j=1}^n v_j , \quad \forall j = 1, 2, \dots, r \quad (9)$$

dengan:

$v_1 = 1$

$$v_j = \begin{cases} 0 & , \quad x_{i,j} = x_{i,k} \quad \forall j = 1, 2, \dots, n-1 ; \quad k = j+1, j+2, \dots, j+n \\ 1 & , \quad \text{lainnya} \end{cases}$$

keterangan:

$V(i)$: total variasi pada individu ke- i ,

v_j : variasi makanan ke- j ,

$x_{i,j}$: posisi individu ke- i dan gen ke- j ,

$x_{i,k}$: posisi individu ke- i dan gen ke- k ,

Pengoptimalkan kebutuhan gizi pasien pengidap diabetes melitus tipe 2 dilakukan dengan meminimumkan penalti gizi, meminimumkan harga beli dari makanan yang akan dikonsumsi, dan

memaksimalkan variasi dari komposisi makanan yang akan dikonsumsi sehingga ketiga permasalahan tersebut dapat ditulis sebagai

$$F(i) = \frac{C_1}{P(i) + \varepsilon} + \frac{C_2}{H(i)} + \frac{V(i)}{C_3} \quad (10)$$

keterangan:

- $F(i)$: nilai fitness pada individu ke- i ,
- $P(i)$: total penalti gizi pada individu ke- i ,
- $H(i)$: total harga pada individu ke- i ,
- $V(i)$: total variasi pada individu ke- i ,
- ε : bilangan positif yang dianggap kecil,
- C_1, C_2, C_3 : konstanta.

Setelah didapatkan kandungan gizi dari hasil pengoptimalan kombinasi komposisi makanan, kemudian akan diukur tingkat akurasi dari metode ini. Akurasi didapat dengan cara menghitung galat atau *error* terlebih dahulu. Semakin kecil galatnya, maka solusi yang didapatkan semakin mendekati solusi yang sebenarnya [15]. Akurasi didapat dengan cara menghitung galat atau *error* terlebih dahulu. Galat merupakan besaran yang merupakan selisih antara nilai hampiran dengan nilai eksak [16]. Berikut ini merupakan rumus perhitungannya

$$\varepsilon = \frac{|x - \hat{x}|}{x} \times 100\% \quad (11)$$

keterangan:

- ε : galat atau *error*,
- x : solusi sejati atau solusi sebenarnya,
- \hat{x} : nilai aproksimasi atau solusi hampiran.

3 Hasil dan Pembahasan

Data makanan dan data pasien pengidap DM yang diperoleh bersumber dari salah satu Puskesmas di Bandar Lampung. Sedangkan data harga makanan yang diperoleh bersumber dari harga makanan di beberapa pasar yang berada di Tanjung Karang Pusat, Bandar Lampung pada bulan April 2022. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan 25 jenis makanan pokok, 11 jenis makanan nabati, 61 jenis makanan hewani, 59 jenis sayur dan 44 jenis buah yang mengandung gizi seperti kalori karbohidrat, protein, lemak, natrium dan serat [17]. Berikut ini beberapa daftar makanan beserta kandungan gizi dan harga seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Daftar kandungan gizi makanan per 100 gram dan harga per kilogram

Kode	Bahan Makanan	Kalori (kkal)	Karbohidrat (gr)	Protein (gr)	Lemak (gr)	Natrium (gr)	Serat (gr)	Harga (Rp/kg)	Kelompok
18	Roti	59	12,8	1,4	0,2	2	1	15000	Pokok
34	Tahu	80	0,8	10,9	4,7	2	0,1	20000	Nabati
41	Belut	70	1	14,6	0,8	55	0	65000	Hewani
99	Bayam	16	2,9	0,9	0,4	16	0,7	15000	Sayur

Kode	Bahan Makanan	Kalori (kkal)	Karbohidrat (gr)	Protein (gr)	Lemak (gr)	Natrium (gr)	Serat (gr)	Harga (Rp/kg)	Kelompok
159	Apel	58	14,9	0,3	0,4	2	2,6	47500	Buah

Dalam mengoptimalkan kebutuhan komposisi makanan untuk pasien pengidap DM, data-data pasien DM yang dibutuhkan yaitu jenis kelamin (JK), umur (U), berat badan (BB), tinggi badan (TB) dan aktivitas fisik atau pekerjaan (AF). Untuk kategori aktivitas fisik dibagi menjadi 4, yaitu istirahat/sudah tidak bekerja (1), aktivitas ringan (2), aktivitas sedang (3) dan aktivitas yang berat (4). Data karakteristik dari 10 pasien yang mengidap diabetes melitus (DM) yang akan diuji dijelaskan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Data Pasien DM

Pasien ke-	JK	U	BB	TB	AF
1	L	32	67	162	4
2	L	65	59	165	3
3	P	47	52	155	2
4	L	61	50	163	1
5	P	60	60	154	2
6	L	71	65	163	1
7	P	37	58	156	2
8	P	72	63	155	1
9	P	56	55	150	2
10	P	40	53	157	2

Dari data tersebut, masing-masing pasien akan dihitung kebutuhan kalori per harinya dengan menggunakan Persamaan (1), (2), (3) dan (4). Kemudian kalori tersebut akan dijadikan sebagai acuan dalam mengoptimalkan komposisi makanan untuk pasien pengidap DM. Kebutuhan gizi optimal yang disesuaikan untuk masing-masing pasien diabetes melitus dijelaskan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Kebutuhan Gizi Pasien DM

Pasien ke-	Kebutuhan Gizi Pasien					
	Karbohidrat (g)	Protein (g)	Lemak (g)	Natrium (mg)	Serat (g)	Kalori (kal)
1	301,32	85,37	51,34	1500	36	2008,8
2	315,9	89,51	53,82	1100	25	2106
3	213,47	60,48	36,37	1500	30	1423,12
4	255,15	72,29	43,47	1300	30	1701
5	164,03	46,47	27,95	1400	25	1093,5
6	229,64	65,06	39,12	1100	25	1530,9
7	226,8	64,26	38,64	1500	30	1512
8	129,94	36,82	22,14	1200	22	866,25
9	194,06	54,98	33,06	1400	25	1293,75
10	221,23	62,68	37,69	1500	30	1474,88

Kelima komponen zat gizi tersebut akan dijadikan sebagai acuan pengoptimalan dalam memilih kombinasi komposisi makanan yang tepat. Setelah itu, setiap pasien akan dilakukan pengujian masing-masing sebanyak 10 kali pengujian dan hasil terbaik dari 10 pengujian tersebut akan dijadikan sebagai solusi terbaik. Hasil terbaik dari setiap pengujian terhadap masing-masing pasien ditunjukkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Terbaik

Pasien ke-	Fitness	Penalti Gizi (kal)	Harga (Rp)	Variasi Makanan	Running Time (s)
1	4,46	1,27	36800	15	387
2	4,75	1,14	26800	12	402
3	6,39	0,58	34850	15	337
4	4,97	1,04	30525	15	408
5	6,82	0,48	28650	14	260
6	4,78	1,12	29300	14	522
7	4,14	1,45	38700	14	276
8	5,56	0,82	27650	12	361
9	4,67	1,17	33225	15	224
10	5,16	0,96	31150	15	486
Rata-rata	5,17	1,00	31765	14,1	366,3

Berdasarkan hasil terbaik pada Tabel 5, rata-rata penalti gizi yang diraih hanya sebesar 1 kalori, dengan rata-rata harga makanan yang diperlukan sekitar Rp 31.000, serta rata-rata variasi makanan yang diperoleh sekitar 14 macam makanan. Dalam mencari solusi dari permasalahan tersebut, rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk menemukan solusi tersebut yaitu 366 detik atau sekitar 6 menit 6 detik. Kandungan gizi yang diperoleh dari hasil optimasi menggunakan metode hybrid AGA-MSA untuk masing-masing pasien dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Kandungan Gizi Hasil Optimasi

Pasien ke-	Kandungan Gizi yang diperoleh dari Hasil Optimasi					
	Karbohidrat (g)	Protein (g)	Lemak (g)	Natrium (mg)	Serat (g)	Kalori (kal)
1	301,34	85,5	51,71	1499,5	35,75	2012,75
2	316,05	88,8	54	1100	25,1	2105,4
3	213,65	60,6	36,6	1500	29,95	1426,4
4	254,98	72,07	43,72	1300	30,4	1701,68
5	163,98	46,37	27,82	1400	24,8	1091,78
6	229,85	65,15	38,8	1099,5	25	1529,2
7	227,45	64,15	38	1500	29,95	1508,4
8	129,95	36,75	21,95	1200	21,45	864,35
9	194,55	55,3	32,95	1400	24,75	1295,95
10	220,95	62,75	37,8	1500,5	30	1475

Perbandingan antara kandungan gizi hasil optimasi dan kebutuhan gizi optimal menghasilkan selisih kandungan gizi yang ditunjukkan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Selisih Kandungan Gizi

Pasien ke-	Selisih Gizi					
	Karbohidrat (g)	Protein (g)	Lemak (g)	Natrium (mg)	Serat (g)	Kalori (kal)
1	0,02	0,13	0,37	-0,50	-0,25	3,95
2	0,15	-0,71	0,18	0,00	0,10	-0,60
3	0,18	0,12	0,23	0,00	-0,05	3,28
4	-0,17	-0,22	0,25	0,00	0,40	0,68
5	-0,05	-0,10	-0,13	0,00	-0,20	-1,72
6	0,21	0,09	-0,32	-0,50	0,00	-1,70
7	0,65	-0,11	-0,64	0,00	-0,05	-3,60
8	0,01	-0,07	-0,19	0,00	-0,55	-1,90
9	0,49	0,32	-0,11	0,00	-0,25	2,20
10	-0,28	0,07	0,11	0,50	0,00	0,12

Pasien ke-	Selisih Gizi					
	Karbohidrat	Protein	Lemak	Natrium	Serat	Kalori
	(g)	(g)	(g)	(mg)	(g)	(kal)
Rata-rata	0,12	-0,05	-0,03	-0,05	-0,09	0,07

Pada Tabel 5, selisih kandungan gizi yang bernilai positif memiliki arti bahwa kandungan gizi yang diperoleh dari hasil *hybrid* AGA-MSA lebih besar atau melebihi dari hasil perhitungan gizi yang optimal. Sedangkan, selisih kandungan gizi yang bernilai negatif memiliki arti bahwa kandungan gizi yang diperoleh dari hasil *hybrid* AGA-MSA lebih kecil dari hasil perhitungan gizi yang optimal. Galat pengukuran yang dinyatakan dalam bentuk persentase untuk masing-masing kandungan gizi pada setiap pasien dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Galat Pengukuran

Pasien ke-	Galat (%)					
	Karbohidrat	Protein	Lemak	Natrium	Serat	Kalori
	(g)	(g)	(g)	(mg)	(g)	(kal)
1	0,01	0,15	0,72	0,03	0,69	0,2
2	0,05	0,79	0,33	0	0,4	0,03
3	0,08	0,2	0,63	0	0,17	0,23
4	0,07	0,3	0,58	0	1,33	0,04
5	0,03	0,22	0,47	0	0,8	0,16
6	0,09	0,14	0,82	0,05	0	0,11
7	0,29	0,17	1,66	0	0,17	0,24
8	0,01	0,19	0,86	0	2,5	0,22
9	0,25	0,58	0,33	0	1	0,17
10	0,13	0,11	0,29	0,03	0	0,01
Rata-rata	0,10	0,29	0,67	0,01	0,71	0,14

Tingkat akurasi kandungan gizi hasil optimasi menggunakan *hybrid* AGA-MSA berdasarkan galat pengukuran ditunjukkan dalam Tabel 9.

Tabel 9. Tingkat Akurasi

Pasien ke-	Tingkat Akurasi (%)					
	Karbohidrat	Protein	Lemak	Natrium	Serat	Kalori
	(g)	(g)	(g)	(mg)	(g)	(kal)
1	99,99	99,85	99,28	99,97	99,31	99,8
2	99,95	99,21	99,67	100	99,6	99,97
3	99,92	99,8	99,37	100	99,83	99,77
4	99,93	99,7	99,42	100	98,67	99,96
5	99,97	99,78	99,53	100	99,2	99,84
6	99,91	99,86	99,18	99,95	100	99,89
7	99,71	99,83	98,34	100	99,83	99,76
8	99,99	99,81	99,14	100	97,5	99,78
9	99,75	99,42	99,67	100	99	99,83
10	99,87	99,89	99,71	99,97	100	99,99
Rata-rata	99,90	99,72	99,33	99,99	99,29	99,86

Rata-rata tingkat akurasi dari karbohidrat mencapai 99,90%, rata-rata tingkat akurasi protein mencapai 99,72%, rata-rata tingkat akurasi lemak mencapai 99,33%, rata-rata tingkat akurasi natrium mencapai 99,99%, rata-rata tingkat akurasi serat mencapai 99,29% dan rata-rata tingkat akurasi kalorinya mencapai 99,86%. Jika berkaca pada bidang kesehatan khususnya pada asupan

gizi yang diperoleh, tingkat akurasi tersebut terbilang sangat baik. Untuk permasalahan asupan gizi pada DM, tingkat toleransi galat atau *error* yang diperbolehkan yaitu sebesar $\pm 10\%$ dari perhitungan nilai gizi yang optimal. Jika dilihat berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengujian tersebut, *Hybrid AGA-MSA* ini mampu menghasilkan solusi yang mendekati optimal untuk masalah optimasi komposisi bahan makanan bagi pasien pengidap DM tipe 2 dan hasil yang diperoleh tidak ada yang melebihi batas *error* yang diperbolehkan. Sehingga *hybrid* dari kedua metode ini dapat diterapkan atau digunakan sebagai metode untuk pengoptimalan kasus komposisi bahan makanan bagi pasien pengidap DM tipe 2 ataupun kasus-kasus sejenisnya.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh, kesimpulan dari penerapan *Hybrid AGA-MSA* pada optimasi komposisi makanan bagi pasien pengidap diabetes melitus tipe 2 yaitu hybrid dari kedua metode ini sangat cocok dan efektif saat diterapkan pada permasalahan optimasi komposisi makanan untuk pasien pengidap diabetes melitus tipe 2, hal tersebut didasari pada:

1. Untuk masalah meminimumkan penalti gizi, rata-rata penalti gizi yang dihasilkan hanya sebesar 1 kalori. Pada masalah meminimumkan harga rata-rata harga makanan yang diperlukan sekitar Rp 31.000. Sedangkan pada masalah memaksimumkan jumlah variasi makanan, rata-rata variasi makanan yang diperoleh yaitu sebanyak 14 macam makanan.
2. Berdasarkan seluruh hasil pengujian pasien, galat dari kandungan gizi yang diperoleh tidak ada yang melebihi tingkat toleransi galat yang diperbolehkan yaitu sebesar $\pm 10\%$ dari perhitungan nilai gizi yang optimal.
3. Rata-rata tingkat akurasi dari karbohidrat mencapai 99,90%, protein mencapai 99,72%, lemak mencapai 99,33%, natrium mencapai 99,99%, serat mencapai 99,29% dan rata-rata tingkat akurasi kalorinya mencapai 99,86%.

5 Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Puskesmas Palapa Bandar Lampung atas penyediaan data penelitian ini, Institut Teknologi Sumatera atas dukungannya, reviewer atas masukannya, dan seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan artikel ilmiah ini.

6 Daftar Pustaka

- [1] R. Pahlevi, “Jumlah Penderita Diabetes di Indonesia Diproyeksikan Capai 28,57 Juta pada 2045,” Databoks. Accessed: Jan. 17, 2022. [Online]. Available: <https://databoks.katadata.co.id/layanan-konsumen-kesehatan/statistik/8380d72a010b4f0/jumlah-penderita-diabetes-di-indonesia-diproyeksikan-capai-2857-juta-pada-2045>
- [2] Yekti. Susilo and A. Wulandari, *Cara Jitu Mengatasi Kencing Manis : (Diabetes Mellitus)*, 1st ed. Yogyakarta: Yogyakarta: ANDI, 2011, 2011. [Online]. Available: <https://elibrary.bapelkesbatam.id/opac/detail-opac?id=626>
- [3] H. Tandra and A. Sahala, *Life healthy with diabetes : diabetes mengapa & bagaimana?* Yogyakarta: Rapha Publkishing, 2013. [Online]. Available: <https://balaiyanpus.jogjaprov.go.id/opac/detail-opac?id=271469>
- [4] Perkumpulan Endokrinologi Indonesia, “Pedoman Pengelolaan dan Pencegahan Diabetes Melitus Tipe 2 Dewasa di Indonesia 2021,” *Global Initiative for Asthma*, p. 46, 2021, [Online]. Available: www.ginasthma.org.
- [5] Maryamah, R. R. M. Putri, and S. A. Wicaksono, “Optimasi Komposisi Makanan Pada Penderita Diabetes Melitus dan Komplikasinya Menggunakan Algoritma Genetika,” *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (J-PTIIK) Universitas Brawijaya*, vol. 1, no. 4, pp. 270–281, 2017.
- [6] R. Kusgariana, “Penentuan Komposisi Menu Makanan Untuk Penderita Diabetes Mellitus Menggunakan Algoritma Genetika,” Universitas Brawijaya, 2013. [Online]. Available: <https://repository.ub.ac.id/id/eprint/145827>
- [7] W. Mahmudy, *Dasar-Dasar Algoritma Evolusi*. 2015.
- [8] C. P. Hamidah, “Optimasi Susunan Bahan Makanan Untuk Pemenuhan Gizi Keluarga Menggunakan Hybrid Algoritma Genetika Dan Simulated Annealing,” Uniersitas Brawijaya, 2016. [Online]. Available: <https://repository.ub.ac.id/id/eprint/147129>
- [9] F. Anggarsari, W. F. Mahmudy, and C. Dewi, “Optimasi Kebutuhan Gizi untuk Balita Menggunakan Hybrid Algoritma Genetika dan Simulated Annealing,” *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (J-PTIIK) Universitas Brawijaya*, vol. 3, no. 4, pp. 4040–4047, 2019.
- [10] A. N. Rosidha, L. Mardianto, I. Saputra, and A. S. Nasution, “Improved Particle Swarm Optimization in Nutrition Adjustment for Hypertension Patient,” *Transcendent Journal of*

Mathematics and Application, vol. 3, no. 1, pp. 1–10, 2024, [Online]. Available: <https://jurnal.usk.ac.id/AJM/article/view/37791/20731>

[11] S. E. A. Putri, B. Rahayudi, and I. Cholissodin, “Implementasi Hybrid Algoritma Genetika dan Simulated Annealing untuk Optimasi Nutrisi Makanan Atlet Endurance,” *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 5, no. 11, pp. 4812–4819, 2021, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>

[12] Hartanti, J. K. Pudjibudojo, L. Aditama, and R. P. Rahayu, “Pencegahan dan Penanganan Diabetes Mellitus Pendekatan Medis, Farmakologis, dan Psikologis,” *Fakultas Psikologi Universitas Surabaya*, pp. 1–96, 2013.

[13] R. W. Gayatri, *Diabetes Mellitus Dalam Era 4 . 0*, vol. 6, no. 1. 2022.

[14] W. Wen-jing, “Improved Adaptive Genetic Algorithm for Course Scheduling in Colleges and Universities,” *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, vol. 13, p. 29, May 2018, doi: 10.3991/ijet.v13i06.8442.

[15] I. Subakti, “Metode Numerik,” *Teknik Informatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya*, 2006.

[16] N. K. R. Purwati and N. K. Erawati, “Pengantar Metode Numerik,” 2020, *Klik Media*.

[17] Persatuan Ahli Gizi dan Asosiasi Dietisien Indonesia, *Penuntun Diet dan Terapi Gizi*, 4th ed. Jakarta: EGC, 2019. [Online]. Available: <https://www.ecgmedbooks.com/buku/detail/2419/penuntun-diet-dan-terapi-gizi-edisi-4>