

Carbohydrate Counting untuk Penderita Diabetes Mellitus dengan Terapi Insulin Menggunakan Algoritma Koloni Lebah Buatan

Oktriza Melfazen, Harry Soekotjo Dachlan, Ali Mustofa

Abstrak—Takaran makan yang tepat, penting untuk menjaga kestabilan glukosa darah penderita diabetes mellitus (DM). *Carbohydrate counting* merupakan suatu cara perencanaan makan penderita DM dengan terapi insulin agar memperoleh jumlah asupan makan optimal sesuai kebutuhan. Untuk merealisasikan *serving* karbohidrat, takaran energi dan nutrisi makro yang optimal dalam makanan, dilakukan penelitian dengan menerapkan algoritma koloni lebah buatan.

Penelitian secara eksperimental, mendesain dan merealisasikan sistem penentuan kadar asupan makanan optimal. Sistem dibuat menggunakan program Borland Delphi 7, dijalankan pada sistem operasi Windows. Data uji didapatkan dari konsultasi gizi. Penilaian unjuk kerja sistem dalam menghasilkan nilai optimal *serving* karbohidrat dan takaran asupan energi dilakukan dengan uji verifikasi bersama ahli gizi.

Dalam pengujian, masukan berupa data fisik dan menu makanan yang diinginkan, algoritma koloni lebah buatan dapat bekerja untuk menghasilkan *serving* karbohidrat dan kadar energi optimal. Proses optimasi *serving* karbohidrat terbaik didapatkan pada pengaturan parameter populasi 50, iterasi 40, siklus 1000, SPP 100, laju perubahan 0,6. Penggunaan algoritma ini untuk mendapatkan *serving* karbohidrat dan energi optimal mempunyai tingkat keberhasilan tinggi.

Kata Kunci— *Carbohydrate counting*, Diabetes Mellitus, *Serving* karbohidrat, Optimasi Koloni Lebah Buatan.

I. PENDAHULUAN

ALGORITMA koloni lebah buatan merupakan salah satu algoritma optimasi berbasis *Evolutionary Computation* (EC) adalah algoritma atau metode numerik untuk menemukan nilai x sedemikian hingga menghasilkan $f(x)$ yang bernilai sekecil atau sebesar mungkin untuk suatu fungsi f yang diberikan, yang mungkin disertai dengan beberapa batasan pada x . (Karaboga, 2010).

Pada penelitian ini optimasi dengan algoritma koloni lebah buatan diterapkan untuk menghitung karbohidrat (*carbohydrate counting*) dan ukuran penyajian makanan

(dengan kandungan nutrisi makro dan energi) harian bagi penderita diabetes mellitus (DM) yang menjalani terapi insulin. Pemenuhan kebutuhan energi dan nutrisi makro bagi penderita DM disesuaikan dengan jenis kelamin, usia, data antropometri dan kondisi khusus lain dari penderita tersebut. Jenis makanan sesuai kandungan energi dan nutrisi makro juga penting diperhatikan. Metode *carbohydrate counting* dapat memenuhi perencanaan makan penderita DM agar bisa memperoleh jumlah asupan sesuai kebutuhan. Selama itu penderita akan tetap dalam sasaran kendali kadar glukosa darah yang diinginkan [1].

Optimasi koloni lebah buatan terinspirasi oleh perilaku mencari makan lebah madu, merupakan algoritma optimasi global dengan kelebihan dapat digunakan untuk optimasi numerik maupun kombinatorial, memerlukan cukup tiga parameter kontrol (ukuran populasi, jumlah siklus maksimum dan limit) yang ditentukan pengguna [2]. Optimasi ini akan memberi solusi pengaturan asupan energi harian yang tepat bagi penderita DM dengan hasil berupa *serving* karbohidrat, takaran energi optimum harian dengan detail komposisi nutrisi makro yang dibutuhkan serta variasi makanan yang ingin dikonsumsi sesuai jumlah energi yang sudah ditentukan mengacu pada variabel masukan.

Hasil penelitian diharapkan bermanfaat untuk membantu penderita DM dalam menentukan ukuran penyajian makanan secara tepat dan mandiri dengan *serving* karbohidrat yang optimum sesuai dengan kadar insulin yang digunakan dan kebutuhan energi penderita DM sehingga sangat membantu dalam pengendalian glukosa darah dari waktu ke waktu.

II. LANDASAN TEORI

A. Diabetes Mellitus Dengan Terapi Insulin dan Kebutuhan Nutrisi

Tujuan utama terapi DM adalah mempertahankan kadar glukosa darah normal atau mendekati normal. Terapi insulin merupakan salah satu cara utama terapi DM. Pada DM tipe 1 (faktor genetik), insulin merupakan satu-satunya obat hipoglikemi yang efektif. Sementara pada diabetes tipe 2 (faktor gaya hidup), selain insulin juga dapat menggunakan obat hipoglikemi oral. Sasaran terapi kendali glukosa darah pada penderita DM untuk semua tipe adalah sama, namun dibedakan dengan tingkat usia, jenis kelamin dan modifikasi gaya hidup, perubahan berat badan.

Oktriza Melfazen adalah mahasiswa Program Magister dan Doktor Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (email beefazen@yahoo.com).

Harry Soekotjo Dachlan adalah dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (Telp.0341-554166; email harysd@ub.ac.id).

Ali Mustofa adalah dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (Telp.0341-554166; email alim@ub.ac.id)

Penderita DM dengan terapi insulin sebaiknya mampu menghitung jumlah asupan karbohidrat yang sesuai dengan dosis insulin yang diberikan. Untuk setiap 10g karbohidrat yang dikonsumsi dibutuhkan 1.0-1.5 ml insulin [1], atau untuk setiap 7-20 (rerata 15)g karbohidrat yang dikonsumsi dibutuhkan 1ml insulin [1]. Usia dan berat badan mempengaruhi kebutuhan insulin untuk karbohidrat yang dikonsumsi.

Carbohydrate Counting

Isu penting pada penderita DM tipe 1 dan 2 dengan terapi insulin intensif (*Multiple Daily Insulin=MDI*) adalah komposisi karbohidrat dalam energi yang dibutuhkan harus sebanding dengan unit insulin yang digunakan. Cara yang diyakini efektif untuk menangani masalah nutrisi pada DM dengan terapi insulin adalah *Carbohydrate Counting (carbing)*, merupakan metode perencanaan makan bagi penderita DM, pengguna MDI dengan melakukan penghitungan jumlah gram atau satuan penukar karbohidrat dalam makanan dan kudapan.

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam *carbing* antara lain (1) *Carbing* memerlukan perhitungan dengan fokus kebutuhan insulin dan jumlah total asupan karbohidrat. (2) Selalu melakukan penyesuaian perencanaan makan. *Carbing* memberikan kebebasan bagi penderita DM untuk meningkatkan kualitas perencanaan makannya. (3) Selalu mengingat pola makan sehat dan terjadwal. (4) Walaupun disebut penghitungan karbohidrat, namun penghitungan asupan tetap mencakup nutrisi makro (protein, lemak, dan energi) untuk mempertahankan kualitas asupan yang sehat dan seimbang.

Aplikasi Carbohydrate Counting

Acuan kebutuhan gizi penderita DM [1] :

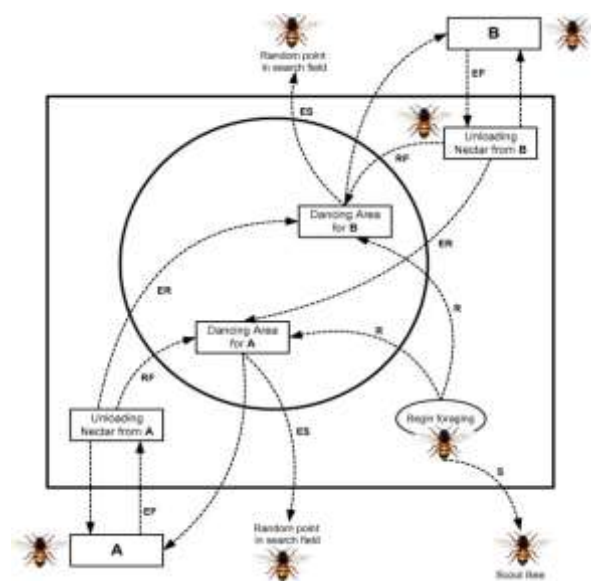
- ❖ Perhitungan energi basal
 - Laki-laki : $66,5 + (13,75 \times \text{BBI}) + (5 \times \text{TB}) - (6,78 \times \text{umur})$
 - Perempuan : $655 + (9,56 \times \text{BBI}) + (1,85 \times \text{TB}) - (4,68 \times \text{umur})$
- ❖ Faktor aktifitas
 - Bed rest* (10%) ; Sangat ringan (20%) ; Ringan (30%) ; Sedang (40%) ; Berat (50%)
- ❖ Energi total : energi basal + faktor aktifitas
- ❖ Komposisi nutrisi makro
 - Karbohidrat (45 – 65%) ; Lemak ($\pm 25\%$) ; Protein ($\pm 25\%$)
- ❖ 1 unit insulin = 1 *serving* karbohidrat = 15 gram *carbohydrate*.

B. Algoritma Koloni Lebah Buatan

Algoritma koloni lebah buatan termasuk jenis algoritma optimasi probabilistik berbasis koloni yang pertama kali diusulkan oleh Devis Karaboga tahun 2005 untuk mengoptimasi persoalan numerik. Sejatinya didasarkan pada model perilaku koloni lebah madu mencari makanan. Algoritma ini mengarahkan koloni lebah madu tiruan untuk mencari sumber makanan tiruan yang kaya (solusi-solusi terbaik untuk permasalahan yang ada) dan meninggalkan sumber makanan (solusi) yang tidak baik [3].

Pada algoritma koloni lebah buatan, suatu koloni

terdiri dari tiga kelompok lebah: *employed bees*, *onlookers* dan *scout*. Setengah bagian koloni merupakan *employed bees* dan setengahnya lagi adalah *onlookers*. Pada setiap sumber makanan hanya terdapat satu *employed bees*. Permasalahan optimasi pertama-tama diubah menjadi permasalahan untuk mencari vektor parameter terbaik yang meminimalkan fungsi tujuan. Kemudian lebah-lebah tiruan akan menemukan sebuah populasi dari vektor-vektor solusi awal secara acak, selanjutnya memperbaikinya secara iterasi dengan menerapkan strategi: bergerak ke arah solusi-solusi yang lebih baik dengan memanfaatkan sebuah mekanisme pencarian pesekitaran (*neighbour search mechanism*) dan mengabaikan solusi-solusi yang kurang baik.



Gambar 1. Tingkah Laku Lebah Mencari Makanan

Algoritma ini dapat bekerja dengan parameter kontrol seminimal mungkin yang ditetapkan pengguna dan menggunakan proses seleksi yang “acak” antara kandidat dan solusi induk. Parameter kontrol mempengaruhi kinerja algoritma secara signifikan.

Dari penelitian-penelitian terdahulu untuk penerapan algoritma koloni lebah buatan ini pada beberapa permasalahan [3]-[5], telah diketahui beberapa kelebihanannya antara lain : (1) Sangat efisien dalam mencari solusi optimal, (2) Mengatasi masalah optimasi lokal maupun global, (3) Dapat dijalankan dengan parameter kontrol seminimal mungkin, (4) *Remarkable robustness*, (5) Hasil proses optimasi lebih cepat dibanding algoritma lain dengan tingkat keberhasilan tinggi dan akurat, (6) Kandidat solusi dihasilkan dengan operasi sederhana.

Langkah-langkah utama proses optimisasi algoritma koloni lebah buatan diuraikan sebagai berikut [4]:

1. Inisialisasi posisi sumber makanan.
2. Tentukan sumber makanan lama yang harus ditinggalkan dan alokasikan lebah pekerja sebagai *scout* untuk mencari sumber makanan baru berdasarkan pencarian secara acak dengan memakai rumus (1).

(1)

Diasumsikan sumber makanan yang ditinggalkan adalah x_i dan $j \in \{1,2,\dots,D\}$.

- Gerakkan lebah pekerja menuju sumber-sumber makanan dan tentukan jumlah nektarnya. Untuk tiap lebah pekerja, sebuah sumber makanan baru dihasilkan melalui rumus (2).

(2)

Dengan

V_{ij} = kandidat posisi sumber makanan baru

x_{ij} = area sumber makanan

$k \in \{1,2,\dots,SN\}$, indeks yang dipilih secara acak

$j \in \{1,2,\dots,D\}$, indeks yang dipilih secara acak
= nilai acak antara $[-1,1]$

- Gerakkan lebah onlooker menuju sumber-sumber makanan dan tentukan jumlah nektarnya. Pada langkah ini, lebah *onlooker* memilih sebuah sumber makanan dengan menggunakan perhitungan probabilitas (1) dan mendapatkan sebuah sumber makanan baru dalam area sumber makanan yang telah dipilih melalui rumus (3).

(3)

Dengan

P_i = sumber makanan baru terpilih

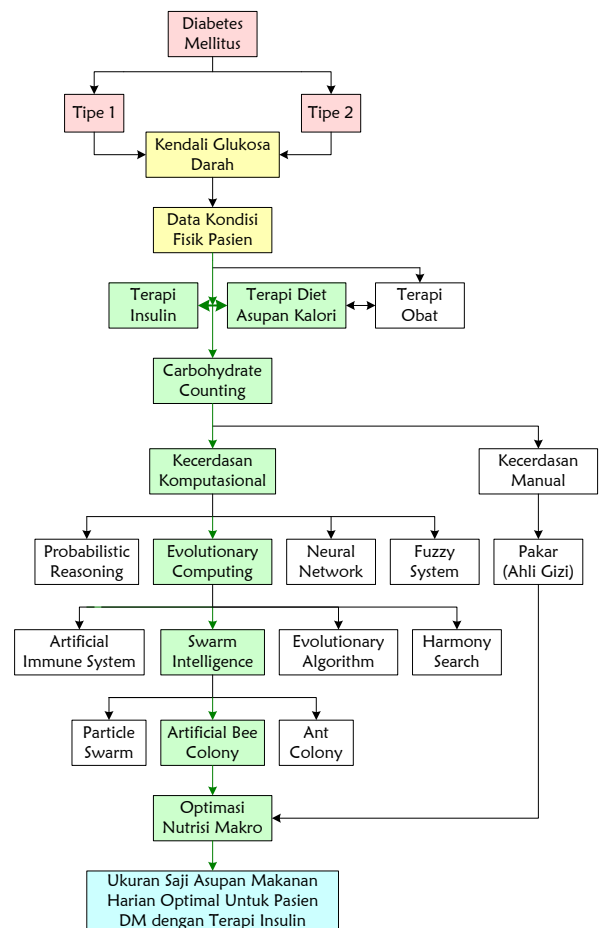
fit_i = nilai fitness dari solusi I dengan jumlah nektar yang proporsional pada sumber makanan

SN = jumlah sumber makanan (sama dengan jumlah *employed bees* ataupun *onlooker bees*).

- Catat sumber makanan terbaik yang telah ditemukan sejauh ini.
- Ulangi langkah 2 sampai langkah 5 hingga kriteria yang diinginkan terpenuhi.

III. KERANGKA KONSEP PENELITIAN

Diabetes mellitus banyak diderita masyarakat Indonesia. Salah satu tindakan terapi untuk penyakit DM adalah terapi insulin dikombinasi dengan diet ukuran saji asupan makanan harian. Metode paling efektif untuk mencapai kestabilan kendali glukosa darah yang direkomendasikan ahli gizi adalah *carbohydrate counting*. Penerapan terapi cara ini, masih secara manual oleh ahli gizi, terkadang menghasilkan ukuran saji asupan makanan yang belum optimal sehingga kadar glukosa darah penderita pun tidak selalu mencapai titik stabilnya. Kecerdasan komputasional dianggap dapat membantu permasalahan ini dengan mencari nilai optimal ukuran saji asupan makanan harian menggunakan suatu algoritma optimasi, dalam hal ini algoritma koloni lebah buatan yang dapat menyediakan solusi tepat dengan kualitas pakar. Dengan mendapatkan nilai optimal untuk takaran makanan penderita DM, diharapkan akan didapat kadar glukosa darah yang normal dengan tingkat kestabilan terkendali.



Gambar 2. Kerangka Solusi Masalah dengan Algoritma ABC

IV. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan-tahapan penelitian sebagai berikut :

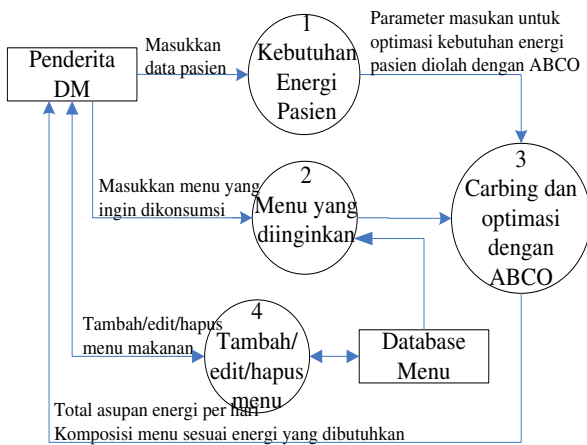
- Penelitian pendahuluan, konsultasi pada ahli gizi mengenai standar kecukupan *serving* karbohidrat dan energi pada asupan makanan harian penderita DM dengan terapi insulin. Data awal dari pakar, diolah secara manual untuk mengetahui kondisi standar penderita DM.
- Identifikasi masalah dengan batasan yang jelas tentang parameter penentu kecukupan energi dalam asupan makanan harian penderita DM dengan terapi insulin dan observasi terhadap objek untuk mengetahui kondisi nyata objek yang diteliti.
- Analisis. Akuisisi data dan informasi hasil konsultasi dengan ahli, desain basis data dan menerapkan algoritma koloni lebah buatan untuk optimasi dari data yang ada berdasarkan variabel yang ditentukan.
- Desain sistem, meliputi desain antarmuka, pengolahan input, basis data dan output berupa solusi kebutuhan *serving* karbohidrat, energi dan nutrisi makro dalam asupan makanan penderita DM. Juga verifikasi awal terhadap basis data dan algoritma koloni lebah buatan.

5. Pengujian awal untuk melihat apakah algoritma ini dapat memberikan hasil ukuran saji makanan harian optimal dengan kecukupan energi dan nutrisi makro.
6. Pengujian sistem secara keseluruhan, verifikasi pengujian sistem dengan ahli gizi. Pengujian sistem juga dilakukan kepada beberapa objek. Gambar 5 memperlihatkan diagram alir tahapan penelitian.

V. PERANCANGAN DAN REALISASI SISTEM

A. Perancangan Aliran Data Sistem

Perlu dianalisis sebelum membuat perancangan sistem, yaitu ruang lingkup sistem, tujuan sistem, dan siapa saja yang terlibat dalam sistem tersebut. Gambar 4 adalah gambaran sistem yang dirancang dalam bentuk Diagram Aliran Data mengenai proses yang perlu dilakukan secara rinci untuk mencapai pelaporan sistem.



Gambar 4. Diagram Aliran Data

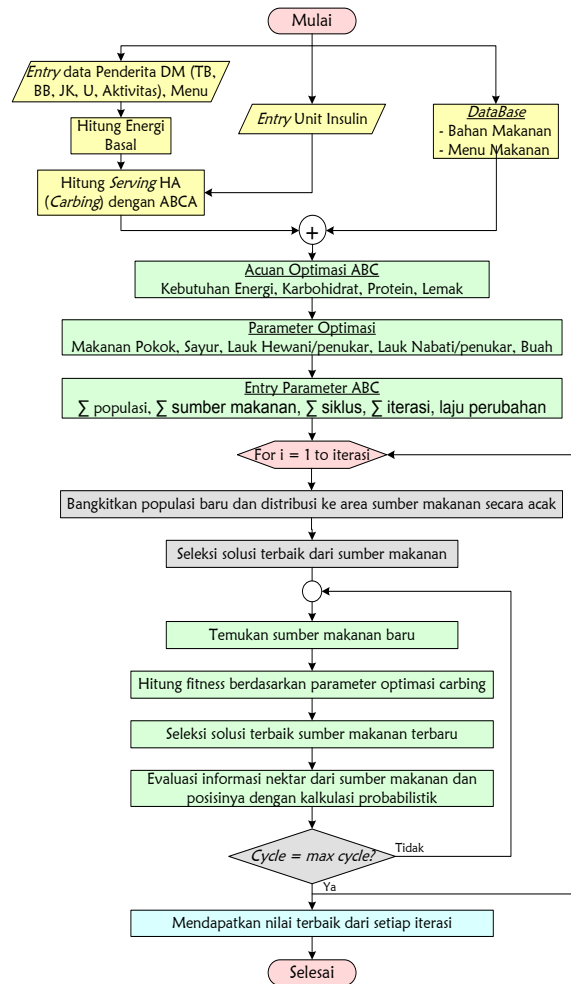
B. Perancangan Sistem dengan Algoritma Koloni Lebah Buatan

Parameter-parameter yang diperlukan pada proses optimasi *carbohydrate counting* ini direpresentasikan menjadi parameter-parameter algoritma koloni lebah buatan. Representasi tersebut terlihat dalam Tabel I.

TABEL I
REPRESENTASI ALGORITMA KOLONI LEBAH BUATAN
UNTUK OPTIMASI CARBOHYDRATE COUNTING

Algoritma Koloni Lebah Buatan	Optimasi <i>carbing</i> untuk mendapatkan serving HA dan energi harian penderita DM
Posisi sumber makanan	Jumlah tiap menu makanan yang diasup dalam satu kali makan
Dimensi	Jumlah energi dan nutrisi makro yang dibutuhkan sesuai kriteria masukan penderita DM
<i>Fitness</i>	Kandidat nilai <i>serving</i> HA terpilih

Langkah-langkah penyelesaian masalah optimasi kadar asupan energi harian berdasarkan kadar insulin penderita DM menggunakan algoritma koloni lebah buatan ini terlihat dalam diagram alir seperti Gambar 5.



Gambar 5. Kerangka Solusi Masalah dengan Algoritma ABC

C. Implementasi Algoritma Koloni Lebah Buatan untuk Proses Optimasi

Pencarian nilai optimal kadar asupan energi harian berdasarkan kadar insulin penderita DM menggunakan algoritma koloni lebah buatan ini dilakukan pada setiap tahapan makan.

Proses Kerja Sistem

Proses bekerjanya sistem ini secara keseluruhan dijelaskan dalam langkah-langkah berikut ini :

1. Pengguna meng-*entry*: data fisik (tinggi badan, berat badan, umur, jenis kelamin, faktor aktifitas), kadar insulin dan menu makanan yang ingin dimakan dalam 1 hari
2. Program melakukan tahap sebagai berikut:
 - a. Melakukan perhitungan berat badan ideal
 - b. Koreksi *Body Mass Ratio* (BMR) berdasar faktor aktifitas
Total energi harian = BMR + (f.aktifitasxBMR)
 - c. Perhitungan kebutuhan karbohidrat berdasar insulin.
 - d. Perhitungan kebutuhan nutrisi makro
 - e. Menjalankan program koloni lebah buatan untuk melakukan optimasi jumlah makanan yang dikonsumsi dengan mengikuti parameter di atas (a s/d d).

D. Proses Optimasi Algoritma ABC

Berikut akan dijabarkan proses penerapan Algoritma

Koloni Lebah Buatan dalam mengoptimasi nilai *Carbohydrate Counting* untuk mendapatkan nilai optimal kadar asupan kalori harian berdasarkan kadar insulin dan kadar energi basal penderita DM. Berikut proses yang terjadi :

❖ **Prosedur 1 : Setting Parameter**

Pengaturan parameter-parameter yang diperlukan untuk berlangsungnya proses ini :

- a. Parameter ABC. Parameter yang ditentukan untuk melakukan optimasi. Terdiri atas parameter optimasi dan parameter acuan ABC.
 - Parameter masalah yang akan dioptimasi (d). Disediakan maksimal 6 jenis menu makanan yang dapat diasup dalam 1 (satu) kali makan.
 - Parameter acuan terdiri atas :
 - ✓ Jumlah populasi.
 - ✓ Siklus maksimum.
 - ✓ Jumlah iterasi.
 - ✓ Laju perubahan.
 - ✓ *Scout Production Period* (SPP).
- b. Pengaturan batas atas dan batas bawah (*range*) dari parameter yang dioptimasi.

❖ **Prosedur 2 : Iterasi**

Dalam satu putaran iterasi terdiri beberapa proses berikut :

1. Inisialisasi
Membuat matriks $x(i,j)$ secara acak dengan matriks d (parameter optimasi) dan N_p (jumlah sumber makanan).
 2. *Best*, melakukan perhitungan solusi terbaik pertama dari matriks $[d, N_p]$ terhadap fungsi utama terbaik, fitness terbaik, dan gangguan terbaik. kemudian mencatatnya.
 3. Melakukan pengulangan program di bawah ini sejumlah siklus yang ditentukan untuk mendapatkan hasil terbaik dari seluruh siklus tersebut.
 - ✓ Lebah pekerja, menghasilkan modifikasi posisi sumber makanan baru di lingkungan tetangga, mengevaluasi jumlah nektar (*fitness value* dan *quality*) dari sumber makanan baru tersebut dan memilih satu solusi terbaik dari yang dihasilkan semua lebah pekerja. Langkah-langkah lebah pekerja dalam mendapatkan solusi baru sebagai berikut:
 - ✓ *Onlooker bee*, Setelah semua lebah bekerja menyelesaikan proses pencarian, mereka berbagi informasi nektar dari sumber makanan dan informasi posisi mereka dengan lebah onlooker pada daerah tari dengan menghitung nilai probabilitas
-
- ✓ *Best*, melakukan perhitungan solusi terbaik dari sumber makanan baru dari matriks $[d, N_p]$ kemudian mencatatnya untuk fungsi utama terbaik, fitness terbaik, dan gangguan terbaik.
 - ✓ *Scout bee*, setelah semua *onlooker bee* didistribusikan maka sumber makanan yang tidak layak disingkirkan dan diganti dengan sumber makanan baru yang dihasilkan secara

acak oleh *scout bee* sesuai dengan periode produksinya.

- ✓ Mencatat nilai terbaik yang dihasilkan oleh sumber makanan dalam siklus yang dilakukan.

4. Menentukan nilai terbaik dari tiap-tiap siklus yang telah dilakukan dan menjadikannya sebagai nilai terbaik pada iterasi tersebut.

Proses langkah 1 sampai 4 diulangi sejumlah iterasi yang ditetapkan, kemudian dicari nilai terbaik dari semua iterasi yang telah dilakukan. Nilai yang didapat adalah solusi terbaik dalam proses optimasi menggunakan algoritma koloni lebah buatan dalam menentukan *serving* karbohidrat dan jumlah energi.

Realisasi Antarmuka Pengguna

Antarmuka sistem dengan pengguna dibuat dengan program visual Borland Delphi 7 dan telah diusahakan agar semudah mungkin untuk diaplikasikan oleh pengguna. Tampilan menu terdiri atas tiga bagian yaitu :

- (1) menu utama
- (2) sub menu bahan makanan
- (3) sub menu "menu makanan".

VI. PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

Pengujian dan analisis dilakukan untuk mengetahui kinerja algoritma koloni lebah buatan pada sistem dalam menghasilkan nilai optimal *serving* karbohidrat dan takaran asupan energi.

Performansi Sistem

Uji coba sistem bertujuan untuk mengetahui apakah semua bagian menu dapat ditampilkan dan beroperasi dengan baik, dan apakah sistem yang dibuat telah memenuhi kebutuhan pengguna. Sistem dikatakan beroperasi dengan baik jika kriteria berikut :

A. Menu Utama

Ketika di-klik tombol "hitung" setelah pengguna *entry* data fisik, sistem menampilkan kebutuhan total energi dan nutrisi makro pengguna. Ketika di-klik tombol "ABC", sistem menampilkan takaran menu makanan yang dipilih serta takaran energi dan nutrisi makro yang sesuai.

B. Sub Menu "Bahan Makanan"

Menampilkan daftar bahan makanan beserta kadar energi dan nutrisi makro yang terkandung didalamnya per 100 gram.

C. Sub Menu "Menu makanan"

Menampilkan daftar menu makanan yang tersedia serta bahan makanan dan jumlah yang diperlukan untuk membuatnya dengan hasil kadar energi dan nutrisi makro yang diperlukan.

Pengujian dan Analisis Algoritma Koloni Lebah Buatan dalam Sistem

Untuk melihat kinerja algoritma koloni lebah buatan pada sistem dalam menghasilkan nilai optimal kadar asupan energi harian dengan *carbing* untuk penderita DM, dilakukan pengujian dengan perubahan terhadap (1) populasi, (2) iterasi, (3) siklus, (4) *scout production period* [SPP], (5) laju perubahan [LP]. Data uji (objek)

yang digunakan adalah tinggi Badan (TB) 169 cm, berat badan (BB) 62 kg, usia 67 tahun, jenis kelamin pria, aktifitas ringan dan konsumsi insulin 18 unit per hari. Menu makanan yang ingin diasup oleh penderita DM di-entry kedalam sistem seperti terlihat dalam Tabel II.

TABEL II
DATA DAFTAR MENU UNTUK PENGUJIAN

Makan Pagi	Makan Siang	Makan Malam
Nasi Putih	Nasi putih	Nasi putih
Sayur bayam bening	Rawon	Sop daging
Tempe goreng	Telur asin rebus	Tahu goreng
Arbei	Tahu goreng	Terong goreng
	Belimbing	Duku

Proses hitung total energi dan kadar nutrisi makro yang dibutuhkan berdasarkan data tersebut menghasilkan data dalam Tabel III.

TABEL III
KEBUTUHAN ENERGI DAN NUTRISI MAKRO

Rincian Kebutuhan Nutrisi	Per Hari	Per Makan
Energi (kal) ± 10%	1702.6	567.53
Karbohidrat (45% s/d 65%) min	191.7	63.9
Karbohidrat (45% s/d 65%) max	276.9	92.3
Protein (20%)	85.2	28.4
Lemak (25%)	47	15.67
Serving HA	18	6

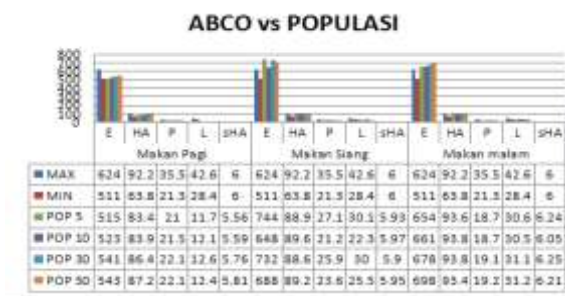
1. Koloni Lebah dengan Perubahan Populasi

Diberikan data untuk parameter acuan algoritma koloni lebah buatan seperti pada Tabel IV.

TABEL IV
DATA PARAMETER UNTUK UJI UBAH POPULASI

Percobaan ke-	Populasi	Iterasi	Siklus	SPP	LP
1	5	3	1000	400	0.9
2	10	3	1000	400	0.9
3	30	3	1000	400	0.9
4	50	3	1000	400	0.9

Hasil yang didapatkan untuk pengujian dengan parameter diatas terlihat dalam Gambar 7.



Gambar 7. Grafik ABC0 terhadap perubahan Populasi

Semakin tinggi nilai populasi maka tingkat capaian terhadap optimasi semakin baik, tetapi hal ini tidak terlalu signifikan karena adanya variabel acak pada proses algoritma koloni lebah yang mempunyai dampak yang lebih besar. Jumlah populasi yang besar juga menyebabkan proses untuk menghasilkan nilai-nilai optimal butuh waktu cukup lama sekitar 50 detik. Sedangkan nilai populasi kecil hanya butuh waktu

proses 2 detik hingga 5 detik.

2. Koloni Lebah dengan Perubahan Iterasi

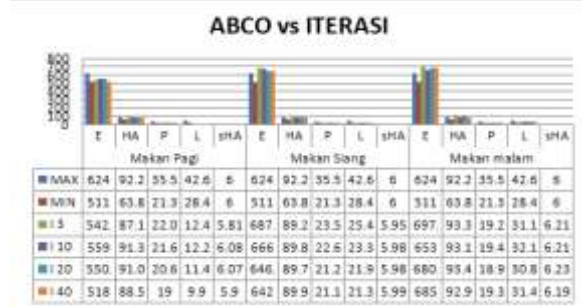
Data uji parameter acuan algoritma koloni lebah buatan terlihat pada Tabel V.

Hasil yang didapatkan untuk pengujian dengan

TABEL V
DATA PARAMETER UNTUK UJI UBAH ITERASI

Percobaan ke-	Populasi	Iterasi	Siklus	SPP	LP
1	50	3	1000	400	0.9
2	50	10	1000	400	0.9
3	50	20	1000	400	0.9
4	50	40	1000	400	0.9

parameter diatas terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik ABC0 terhadap perubahan Iterasi

Semakin banyak nilai iterasi yang dilakukan menghasilkan nilai optimasi yang semakin baik. Nilai akhir didapat dari nilai optimasi terbaik dari iterasi yang dilakukan. Kisaran energi mendekati hasil perhitungan dengan iterasi 20 dan 40. Namun besarnya jumlah iterasi yang diberikan membuat proses untuk menghasilkan nilai optimasi jadi agak lambat, bisa mencapai 40 detik hingga 25 detik.

3. Koloni Lebah dengan Perubahan Siklus

Data uji parameter acuan algoritma koloni lebah buatan terlihat pada Tabel VI.

TABEL VI
DATA PARAMETER UNTUK UJI UBAH SIKLUS

Percobaan ke-	Populasi	Iterasi	Siklus	SPP	LP
1	50	20	1000	400	0.9
2	50	20	500	400	0.9
3	50	20	250	400	0.9
4	50	20	100	400	0.9

Hasil yang didapatkan untuk pengujian dengan parameter diatas terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik ABC0 terhadap perubahan Siklus

4. Koloni Lebah dengan Perubahan *Scout Production Period* (SPP)

Data parameter acuan algoritma koloni lebah buatan seperti terlihat dalam Tabel VII.

TABEL VII
DATA PARAMETER UNTUK UJI UBAH SPP

Percobaan	Populasi	Iterasi	Siklus	SPP	LP
1	50	20	1000	400	0.9
2	50	20	1000	200	0.9
3	50	20	1000	100	0.9
4	50	20	1000	50	0.9

Hasil pengujian terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik ABCO terhadap Perubahan SPP

Semakin kecil nilai *Scout Production Period* (SPP) maka semakin sering *scout* diproduksi, sehingga semakin sering pula terjadi pencarian terhadap sumber makanan baru, data menjadi lebih labil dan akibatnya nilai optimasi semakin buruk. Jika nilai SPP yang diberikan terlalu besar maka periode perubahan untuk mencari sumber makanan baru terlalu lama karena produksi *scout* yang lambat sehingga proses pencarian sumber makanan baru tidak lagi optimal. Perubahan nilai SPP tidak banyak mempengaruhi waktu proses optimasi, rerata waktu proses 15 detik.

5. Koloni Lebah dengan Perubahan Laju Perubahan

Data parameter acuan algoritma koloni lebah buatan terlihat dalam Tabel VIII.

TABEL VIII
DATA PARAMETER UNTUK UJI UBAH LP

Percobaan	Populasi	Iterasi	Siklus	SPP	LP
1	50	20	1000	100	0.9
2	50	20	1000	100	0.6
3	50	20	1000	100	0.3

Hasil pengujian dengan parameter diatas terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik ABCO terhadap Laju Perubahan
Laju perubahan merupakan suatu nilai yang berfungsi

untuk membatasi besarnya perubahan nilai acak pada algoritma ini yang nilainya berkisar dari 0 hingga 1. Semakin besar laju perubahan maka semakin baik nilai optimasi yang didapat.

Dari data-data pengujian dapat diketahui bahwa semakin besar nilai populasi, siklus dan iterasi, waktu yang dibutuhkan dalam mencari optimasi semakin lama. Karena semakin besar populasi maka matriks optimasi semakin besar sedangkan semakin besar nilai siklus dan iterasi maka pengulangan untuk mendapatkan nilai terbaik semakin banyak. Terjadinya *error* proses optimasi pada *serving* karbohidrat, energi, protein dan lemak karena ketidaktepatan kombinasi pemilihan menu dalam satu kali makan, hal ini dapat dilihat dalam tabel pengujian dengan merubah menu makanan yang diinginkan (pada makan pagi, siang, malam). Sebagai contoh: Pada uji makan siang didapat nilai *serving* karbohidrat yang paling bagus tetapi kebutuhan protein dan lemak kurang dari ketentuan, sedang pada uji makan malam didapat nilai protein dan lemak yang sesuai toleransi tetapi terjadi *error* pada *serving* karbohidrat dengan error rata-rata 3% (dalam batas toleransi)

Dari semua percobaan yang dilakukan untuk masing-masing data uji, bisa mendapatkan nilai *serving* karbohidrat dan takaran energi yang optimal (dalam area perhitungan). Ketahanan sistem untuk mendapatkan nilai optimal adalah baik. Proses optimasi *serving* karbohidrat terbaik didapat saat setting parameter algoritma koloni lebah, pada populasi 50, iterasi 40, siklus 1000, SPP 100, LP 0,6.

6. Verifikasi Sistem

Verifikasi bertujuan mengetahui kesesuaian penerjemahan algoritma koloni lebah buatan untuk menemukan nilai optimal *serving* karbohidrat dan energi dengan standar yang diberlakukan ahli gizi, dengan membandingkan hasil yang diperoleh sistem dengan hasil perhitungan ahli gizi. Berikut salah satu kasus untuk uji verifikasi ini :

Penderita DM anak N, usia 12 tahun, tinggi badan 137 cm, berat badan 25 kg adalah penderita DM tipe 1. Kegiatan harian anak N adalah sekolah *one day school* dan berolahraga basket seminggu 3 kali. Anak N menyukai makanan apa saja dan mengkonsumsi susu satu kali dalam sehari. Anjuran/resep injeksi insulin dari dokter setiap hari @ 5 unit insulin 3x sehari sebelum makan. Dengan data tersebut, didapat perhitungan kebutuhan individu Anak N berupa Berat Badan Ideal 33 kg. Dengan BBI 33 kg, Anak N membutuhkan energi, *serving* karbohidrat dan nutrisi makro seperti terlihat dalam Tabel IX.

TABEL IX
KEBUTUHAN NUTRISI PENDERITA DM KASUS 1

Rincian Kebutuhan Nutrisi	Per Hari	Per Makan
Energi (kal) \pm 10%	1751.6	583.87
Karbohidrat (45% s/d 65%) min	197	65.67
Karbohidrat (45% s/d 65%) max	284.6	94.87
Protein (20%)	87.5	29.17

Lemak (25%)	48.3	16.1
Serving HA	15	5

Dengan data perhitungan total energi diatas, contoh perbandingan perencanaan makan yang dapat diasup oleh Anak N dengan ketentuan harus memenuhi kebutuhan *serving* karbohidrat, energi dan nutrisi makro yang dihasilkan ahli dan sistem terlihat dalam Tabel X.

TABEL X

PERBANDINGAN RENCANA MENU PAKAR DAN SISTEM

Perencanaan Menu Makan	Pakar	Sistem
	Jmlh (gr)	Jmlh (gr)
Total Makan Pagi	560.0	482.1
- Nasi beras putih	60.0	66.3
- Sop daging	100.0	109.6
- Omelet	150.0	156.1
- Semangka	250.0	150.1
Total Energi	573.1 kal	585.2 kal
Total Serving Karbohidrat	5.1	5.0
Total Karbohidrat	76.5	75.1
Total Protein	29.9	31.4
Total Lemak	16.8	17.7
Total Makan Siang	565.0	501.5
- McD Chicken Sandwich (*)	75.0	86.5
- Rolade tahu	50.0	30.0
- Wortel rebus	100.0	66.9
- Buncis rebus	100.0	89.6
- Sari jeruk	240.0	228.4
Total Energi	584.5 kal	583.8 kal
Total Serving Karbohidrat	5.0	5.0
Total Karbohidrat	75.6	75.0
Total Protein	27.1	27.7
Total Lemak	18.1	16.9
Total Makan Malam	500.0	510.8
- Mie goreng jawa	200.0	143.1
- Ikan teri goreng	60.0	87.8
- Susu	30.0	30.0
- Sirsak	210.0	249.9
Total Energi	578.0 kal	566.1 kal
Total Serving Karbohidrat	5.0	5.0
Total Karbohidrat	75.6	75.1
Total Protein	25.8	26.9
Total Lemak	20.71	19.42

Dengan injeksi 3 x 5 unit insulin sebelum makan untuk klien, *serving* karbohidrat yang dibutuhkan adalah 15 unit dalam satu hari atau 5 unit dalam satu kali makan. Maka hal utama yang harus diperhatikan dalam perencanaan menu makan penderita DM ini yaitu menemukan komposisi menu makanan yang dapat memberikan takaran *serving* karbohidrat sebanyak 5 unit secara tepat dalam satu kali makan. Ketepatan pemberian *serving* karbohidrat ini yang sangat berperan bersama asupan unit insulin untuk mendapatkan kadar gula darah penderita DM berada pada kondisi normal atau stabil. Setelah memenuhi *serving* karbohidrat secara tepat, perlu dipenuhi kebutuhan energi, protein dan lemak, sehingga nutrisi yang dikonsumsi sesuai kebutuhan.

VII. KESIMPULAN DAN SARAN

Serangkaian percobaan yang telah dilakukan menghasilkan kesimpulan bahwa algoritma koloni lebah buatan dapat bekerja dengan baik untuk mengoptimasi

perhitungan nilai *serving* karbohidrat dan energi. Penelitian ini juga membuktikan bahwa algoritma koloni lebah buatan bekerja efektif dengan proses yang tidak memakan waktu lama untuk mencari nilai optimal.

Nilai optimal dapat ditemukan baik dengan merubah jumlah populasi lebah ataupun dengan merubah nilai siklus atau iterasinya. Untuk kasus ini nilai optimal didapatkan dengan setting parameter algoritma koloni lebah, pada populasi 50, iterasi 40, siklus 1000, SPP 100, laju perubahan 0,6.

Perencanaan menu makan dengan menggunakan algoritma koloni lebah buatan dapat menemukan nilai optimal jumlah *serving* karbohidrat, jumlah energi serta takaran nutrisi makro yang dibutuhkan dalam batas toleransi, dan jumlah takaran masing-masing menu yang boleh diasup dalam hitungan detik. Hal ini menjadi kelebihan dari sistem ini dibandingkan cara manual yang membutuhkan waktu lebih lama untuk proses perencanaan menu dengan komposisi optimal.

Sebagai saran, perlu dilakukan penelitian untuk kasus ini (mencari nilai optimal *serving* karbohidrat untuk diet penderita DM dengan terapi insulin metode *carb*) menggunakan algoritma atau metode optimasi jenis lainnya. Sehingga dapat dilakukan perbandingan unjuk kerja masing-masing algoritma atau metode mana yang dapat menghasilkan tingkat paling optimal.

Sistem ini juga dapat dikembangkan dengan ditambahkan sistem penunjang keputusan untuk menentukan kombinasi dan komposisi menu sehingga bisa menghasilkan perencanaan menu makanan dengan *serving* karbohidrat, jumlah energi dan kandungan nutrisi makro yang optimal dalam komposisi menu yang optimal. Dengan pengembangan menjadi sebuah sistem penunjang keputusan, juga dapat menangani pengaturan atau perencanaan makan untuk penderita DM yang mengalami komplikasi dengan penyakit lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Soeatmaji, DW. Dkk., (2007), Menghitung Karbohidrat dan Terapi Insulin., Universitas Negeri Malang, Malang.
- [2] K. Dervis. (2011, December 15), *An Idea Based On Honey Bee Swarm for Numerical Optimization*, Technical Report-TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, Turkey: Springer-link, 2005.
- [3] Teodorovic, D., Dell, M. O. (December 15, 2011). Bee colony optimization – a cooperative learning approach to complex transportation problems, In Proceedings of 10th EWGT Meeting and 16th Mini EURO Conference, 2005.
- [4] A. Malik., S. Abdullah. (2011, December 29), *Comparison on the Selection Strategies in the Artificial Bee Colony Algorithm for Examination Timetabling Problem.*, International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE) ISSN: 2231-2307, Volume-1, Issue-5, November 2011.
- [5] K. Dervis. (2011, December 15), *Artificial bee colony (ABC) optimization algorithm for solving constrained optimization problems*, Advances in Soft Computing: Foundations of Fuzzy Logic and Soft Computing, Volume 4529 of LNCS: 789-798, Springer, Berlin, 2007.
- [6] Karaboga, D., Basturk, B. (2011, December 29), "On The Performance of Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm", Applied Soft Computing, 8(1):687-697, 2008.
- [7] Nurhan Karaboga. (2011, December 29), "A New Design Method Based on Artificial Bee Colony Algorithm for Digital IIR Filters", Journal of the Franklin Institute November 2008.
- [8] Suyanto, *Algoritma Optimasi*. Jogjakarta, Graha Ilmu, 2010, pp. 190-215.