

Pengembangan Algoritma Greedy Berbasis Graf untuk Rekomendasi Menu dengan Pertimbangan Kecocokan Resep dan Batasan Nutrisi

Harfhan Ikhtiar Ahmad Ridzky - 18223213

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung

E-mail: harfhanikhtiar@gmail.com, 18223123@std.stei.itb.ac.id

Abstrak: Perencanaan menu makanan merupakan masalah kombinatorial yang menuntut pemilihan sejumlah resep dari himpunan resep yang besar dengan memperhatikan kecocokan bahan dan relasi antar-resep. Pendekatan terdahulu umumnya menekankan rekomendasi resep berdasarkan ko-okurensi bahan, tetapi keseimbangan nutrisi belum dijadikan fokus utama. Pada makalah ini dikembangkan algoritma Greedy berbasis graf untuk rekomendasi menu yang mempertimbangkan kecocokan resep sekaligus batasan nutrisi sederhana, seperti rentang kalori, protein minimum, dan keseimbangan kategori makanan. Masalah dimodelkan sebagai graf berbobot dengan simpul yang merepresentasikan resep dan sisi yang merepresentasikan tingkat kecocokan antar-resep. Fungsi seleksi greedy memilih resep yang memberikan tambahan skor kecocokan tertinggi dengan tetap menjaga kelayakan terhadap batasan nutrisi. Eksperimen dilakukan menggunakan subset data yang diekstraksi dari dataset nutrisi makanan dengan tiga skenario, yaitu greedy berbasis kecocokan bahan, greedy dengan penalti nutrisi, dan greedy dengan batasan kalori serta protein. Hasil menunjukkan bahwa penambahan batasan nutrisi menurunkan skor kecocokan bahan secara terbatas, tetapi meningkatkan pemenuhan batasan gizi dan keberagaman kategori menu. Temuan ini menegaskan adanya trade-off antara kecocokan bahan, kualitas nutrisi, dan keberagaman menu yang perlu dikelola secara eksplisit.

Kata kunci: algoritma greedy; graf berbobot; rekomendasi menu; batasan nutrisi; optimasi kombinatorial

I. PENDAHULUAN

Perencanaan menu makanan adalah masalah pemilihan sejumlah resep dari himpunan resep yang besar agar membentuk satu kesatuan menu yang baik. Masalah ini tergolong masalah kombinatorial karena banyaknya kombinasi resep yang mungkin tumbuh secara cepat seiring bertambahnya ukuran himpunan resep. Apabila terdapat n resep dan dipilih k resep, banyaknya kombinasi mencapai $C(n, k)$ sehingga pencarian solusi terbaik secara menyeluruh menjadi mahal ketika n besar. Oleh karena itu, dibutuhkan strategi algoritma yang mampu menghasilkan solusi yang baik dalam waktu yang wajar.

Rekomendasi menu yang baik perlu memperhatikan dua aspek secara bersamaan, yaitu kecocokan antarbahan resep dan kandungan nutrisi menu secara keseluruhan. Kecocokan bahan menentukan apakah resep-resep yang dipilih lazim disajikan bersama dan saling melengkapi dari sisi penyajian. Kandungan nutrisi menentukan apakah menu yang terbentuk tergolong sehat dan seimbang, misalnya dari sisi total kalori dan asupan protein. Kedua aspek tersebut sering kali saling bertolak belakang sehingga pemenuhan salah satu aspek dapat menurunkan kualitas aspek yang lain.

Pendekatan terdahulu pada rekomendasi resep umumnya berfokus pada ko-okurensi (co-occurrence) bahan atau kecocokan antar-resep. Kuo dan rekan memodelkan relasi antar-resep sebagai graf dan menghasilkan menu melalui pendekatan pohon Steiner sehingga resep yang sering disajikan bersama cenderung terpilih [1]. Pendekatan semacam ini menghasilkan menu yang serasi dari sisi bahan, tetapi keseimbangan nutrisi belum dijadikan tujuan utama. Akibatnya, menu yang direkomendasikan berpotensi memiliki kandungan kalori yang berlebihan atau asupan protein yang kurang, terutama apabila resep populer cenderung tinggi kalori.

Makalah ini bertujuan mengembangkan algoritma Greedy berbasis graf untuk rekomendasi menu yang memasukkan batasan nutrisi sederhana sebagai bagian dari proses seleksi. Kontribusi makalah ini ada tiga. Pertama, masalah rekomendasi menu dimodelkan sebagai pemilihan subhimpunan simpul pada graf berbobot dengan batasan nutrisi. Kedua, dirancang heuristik greedy yang memadukan skor kecocokan bahan, kekompakan antar-resep, dan penalti pelanggaran nutrisi dalam satu fungsi seleksi. Ketiga, dilakukan eksperimen pada subset data nutrisi untuk membandingkan tiga skenario seleksi dan menelaah trade-off di antara kecocokan bahan, nutrisi, serta keberagaman menu.

II. LANDASAN TEORI

A. Strategi Algoritma Greedy

Algoritma greedy (rakus) adalah strategi penyelesaian masalah optimasi yang membangun solusi secara bertahap dengan selalu memilih opsi yang tampak paling menguntungkan pada setiap langkah. Pilihan tersebut bersifat lokal dan tidak ditinjau ulang pada langkah berikutnya. Algoritma greedy umumnya membutuhkan lima unsur, yaitu himpunan kandidat, fungsi seleksi, fungsi kelayakan, fungsi objektif, dan fungsi solusi. Keunggulan utamanya adalah kesederhanaan dan kecepatan, sedangkan kelemahannya adalah solusi yang dihasilkan tidak selalu optimal secara global.

B. Graf Berbobot

Graf $G = (V, E)$ terdiri atas himpunan simpul (vertex) V dan himpunan sisi (edge) E yang menghubungkan pasangan simpul. Pada graf berbobot, setiap simpul atau sisi diberi bobot (weight) yang merepresentasikan ukuran tertentu. Dalam konteks rekomendasi menu, simpul digunakan untuk merepresentasikan resep, sedangkan sisi merepresentasikan tingkat kecocokan antar-resep [1]. Representasi graf memudahkan perhitungan kekompakan

suatu himpunan resep melalui penjumlahan bobot sisi di antara resep-resep yang terpilih.

C. Konsep Perencanaan Menu

Perencanaan menu (menu planning) adalah proses pemilihan kombinasi resep untuk membentuk satu menu yang memenuhi sejumlah kriteria. Kriteria tersebut dapat berupa kecocokan bahan, preferensi pengguna, ketersediaan bahan, maupun kebutuhan gizi. Masalah ini berbeda dengan rekomendasi resep tunggal karena keputusan diambil pada tingkat himpunan resep, bukan pada satu resep saja. Akibatnya, kualitas menu bergantung pada interaksi antar-resep yang terpilih.

D. Batasan Nutrisi Sederhana

Batasan nutrisi sederhana adalah sekumpulan syarat numerik terhadap kandungan gizi total dari menu yang dipilih. Pada makalah ini digunakan tiga jenis batasan, yaitu rentang total kalori, batas minimum protein, dan keseimbangan kategori makanan. Batasan kalori menjaga agar total energi menu berada pada rentang yang wajar. Batasan protein memastikan asupan protein tidak kurang dari ambang tertentu, sedangkan keseimbangan kategori mendorong menu agar tidak didominasi oleh satu jenis makanan.

E. Fungsi Objektif dan Heuristik Greedy

Fungsi objektif adalah ukuran kuantitatif kualitas solusi yang hendak dioptimalkan. Pada rekomendasi menu, fungsi objektif menggabungkan skor kecocokan bahan dan kekompakan antar-resep, lalu dikurangi penalti pelanggaran nutrisi. Heuristik greedy memilih kandidat yang memberikan pertambahan nilai fungsi objektif terbesar pada setiap iterasi. Heuristik ini bersifat praktis karena hanya mengevaluasi dampak penambahan satu resep terhadap solusi parsial, bukan seluruh kombinasi yang mungkin.

F. Posisi terhadap Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu pada rekomendasi makanan dapat dikelompokkan menjadi rekomendasi resep tunggal dan perencanaan menu. Freyne dan Berkovsky mengembangkan rekomendasi resep personal untuk mendukung pola makan yang lebih sehat, tetapi keputusan tetap diambil pada tingkat resep tunggal. Kuo dan rekan memperluas persoalan ke tingkat menu melalui graf resep dan pendekatan pohon Steiner, dengan penekanan pada ko-okurensi bahan. Makalah ini menempatkan diri sebagai pengembangan dari arah tersebut dengan menambahkan batasan nutrisi pada proses seleksi greedy sehingga aspek gizi turut menentukan susunan menu yang dihasilkan.

III. PEMODELAN MASALAH

Misalkan terdapat himpunan resep $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ dan himpunan bahan $I = \{i_1, i_2, \dots, i_m\}$. Setiap resep r memiliki vektor bahan, vektor nutrisi, dan satu label kategori makanan. Himpunan nutrisi yang dipertimbangkan adalah $N = \{\text{kalori, protein, lemak, karbohidrat}\}$, dengan $tn(r)$ menyatakan nilai nutrisi n untuk resep r . Atribut tersebut menjadi dasar perhitungan skor kecocokan dan penalti nutrisi pada model.

Relasi antar-resep direpresentasikan sebagai graf berbobot $G = (V, E)$. Setiap simpul v pada V berpadanan dengan satu resep, sedangkan setiap sisi (u, v) pada E

diberi bobot $s(u, v)$ yang menyatakan tingkat kecocokan antar-resep. Bobot kecocokan dihitung dari kesamaan atau saling-lengkap antarbahan kedua resep, misalnya melalui indeks kesamaan himpunan bahan. Selain bobot sisi, setiap simpul diberi bobot $w(r)$ yang menyatakan skor kecocokan bahan resep terhadap bahan yang diminta pengguna.

Bobot sisi $s(u, v)$ dihitung menggunakan ukuran kesamaan himpunan bahan, misalnya indeks Jaccard, yaitu rasio antara banyaknya bahan yang sama dengan banyaknya bahan gabungan kedua resep. Nilai $s(u, v)$ yang tinggi menandakan dua resep memiliki banyak bahan bersama atau lazim disajikan bersama. Bobot simpul $w(r)$ dihitung dari kecocokan bahan resep terhadap daftar bahan yang diminta pengguna. Dengan demikian, graf merangkum dua jenis informasi sekaligus, yaitu relevansi tiap resep dan keterkaitan antar-resep.

Solusi dinyatakan sebagai subhimpunan resep S yang merupakan bagian dari R dengan ukuran $|S| = k$. Kualitas solusi diukur melalui fungsi objektif pada Persamaan (1), dengan $\text{Match}(S)$ menyatakan total bobot simpul, $\text{Coh}(S)$ menyatakan total bobot sisi antar-resep di dalam S , dan $\text{Pen}(S)$ menyatakan penalti pelanggaran nutrisi. Parameter α , β , dan γ adalah bobot kepentingan yang bernilai tak-negatif dan dapat diatur sesuai prioritas pengguna.

$$f(S) = \alpha \cdot \text{Match}(S) + \beta \cdot \text{Coh}(S) - \gamma \cdot \text{Pen}(S) \quad (1)$$

Penalti nutrisi dihitung sebagai total pelanggaran terhadap batas bawah dan batas atas tiap nutrisi, seperti pada Persamaan (2). Notasi $Tn(S)$ menyatakan total nutrisi n pada S , sedangkan L_n dan U_n adalah batas bawah dan batas atas nutrisi n . Penalti bernilai nol apabila seluruh nutrisi berada dalam rentang yang ditetapkan, dan bertambah seiring besarnya pelanggaran.

$$\text{Pen}(S) = \sum_n [\max(0, L_n - Tn(S)) + \max(0, Tn(S) - U_n)] \quad (2)$$

Suatu solusi dikatakan layak apabila total kalori berada pada rentang $[L_{\text{kal}}, U_{\text{kal}}]$, total protein tidak kurang dari batas minimum, dan kategori makanan cukup beragam. Tujuan masalah adalah memilih k resep yang memaksimalkan $f(S)$ dengan tetap menjaga kelayakan dan menghindari redundansi, yaitu pemilihan resep yang terlalu mirip satu sama lain. Dengan demikian, masalah ini merupakan masalah optimasi kombinatorial berbatasan yang ruang solusinya (solution space) tumbuh cepat terhadap ukuran data.

IV. RANCANGAN ALGORITMA GREEDY

A. Unsur-Unsur Greedy

Algoritma greedy yang dirancang dibangun atas lima unsur. Himpunan kandidat adalah seluruh resep pada R yang belum terpilih. Fungsi seleksi memilih resep dengan pertambahan nilai objektif tertinggi sesuai Persamaan (3). Fungsi kelayakan memeriksa apakah penambahan resep tidak melanggar batas atas kalori dan masih memungkinkan pemenuhan batas minimum protein. Fungsi objektif adalah $f(S)$ pada Persamaan (1), sedangkan kondisi berhenti tercapai ketika jumlah resep terpilih sama dengan k atau tidak ada kandidat yang layak.

Pada setiap iterasi, pertambahan nilai objektif akibat penambahan resep r ke solusi parsial S dihitung melalui Persamaan (3). Notasi $\Delta\text{Pen}(r)$ menyatakan perubahan penalti nutrisi setelah r ditambahkan ke S . Resep dengan

nilai $\Delta(r)$ terbesar dan tetap memenuhi fungsi kelayakan akan dipilih pada iterasi tersebut.

$$\Delta(r) = w(r) + \sum_{u \in S} s(u, r) - \gamma \cdot \Delta \text{Pen}(r) \quad (3)$$

B. Pseudokode

Rancangan algoritma greedy untuk rekomendasi menu disajikan dalam bentuk pseudokode berikut. Pseudokode ini menggambarkan alur seleksi resep tanpa merinci implementasi teknis program.

```
function GreedyMenu(R, G, k, batas):
  S ← himpunan kosong
  while |S| < k do
    kandidat ← { r ∈ R \ S :
                  layak(S ∪ {r}, batas) }
    if kandidat = kosong then
      break
    end if
    r* ← argmax Delta(r, S, G)
    S ← S ∪ { r* }
  end while
  return S
```

C. Contoh Ilustrasi Singkat

Sebagai ilustrasi, misalkan pengguna meminta menu beranggotakan lima resep dengan target kalori pada rentang 1.800 sampai 2.200 kkal dan protein minimum 60 gram. Apabila empat resep telah terpilih dengan total 1.500 kkal dan 48 gram protein, kandidat resep berikutnya dinilai berdasarkan tambahan skor kecocokan dan

kontribusinya terhadap pemenuhan batasan. Kandidat yang menambah protein secukupnya tanpa melampaui batas atas kalori akan memperoleh nilai $\Delta(r)$ yang lebih tinggi karena perubahan penaltinya kecil. Contoh ini memperlihatkan cara batasan nutrisi memengaruhi urutan pemilihan resep pada tiap iterasi.

D. Alasan dan Keterbatasan

Pendekatan greedy dipilih karena masalah pemilihan menu memiliki ruang solusi yang besar sehingga pencarian menyeluruh menjadi tidak praktis. Greedy memungkinkan solusi dibangun secara bertahap dengan biaya komputasi yang rendah pada tiap iterasi. Akan tetapi, sifat keputusan lokal greedy membuat solusi yang dihasilkan tidak selalu optimal secara global. Sebagai contoh, resep yang memberikan pertambahan skor tertinggi pada satu langkah dapat menutup peluang kombinasi yang lebih baik pada langkah berikutnya, terutama ketika batasan nutrisi saling berinteraksi.

V. RANCANGAN EKSPERIMEN

Eksperimen dirancang menggunakan subset data yang diekstraksi dari dataset nutrisi makanan publik. Sebanyak 40 entri makanan dipilih sebagai resep, dan setiap resep diberi atribut berupa daftar bahan, kalori, protein, lemak, serta kategori. Ukuran menu ditetapkan sebanyak $k = 5$ resep. Contoh sebagian data yang digunakan ditunjukkan pada Tabel I.

TABEL I
CONTOH SEBAGIAN DATA RESEP YANG DIGUNAKAN

No	Nama Resep	Kalori (kkal)	Protein (g)	Lemak (g)	Kategori
1	Nasi goreng ayam	612	21	18	Hidangan utama
2	Sup ayam sayuran	245	19	8	Sup
3	Tumis brokoli	120	6	5	Sayuran
4	Salad buah segar	180	3	2	Pencuci mulut
5	Ikan bakar bumbu	320	28	12	Hidangan utama
6	Telur dadar sayur	210	14	15	Lauk
7	Jus jeruk murni	110	2	0	Minuman
8	Tahu goreng tepung	265	12	17	Lauk

Sumber data diolah dari dataset nutrisi makanan publik.

Tiga skenario seleksi dibandingkan untuk mengamati pengaruh batasan nutrisi. Skenario pertama (S1) menggunakan greedy berdasarkan kecocokan bahan saja, yaitu $\gamma = 0$ tanpa fungsi kelayakan nutrisi. Skenario kedua (S2) menambahkan penalti nutrisi pada fungsi objektif dengan $\gamma > 0$, tetapi batasan tetap bersifat lunak. Skenario ketiga (S3) menerapkan batasan kalori dan protein sebagai syarat kelayakan yang harus dipenuhi.

Lima metrik evaluasi digunakan untuk menilai setiap skenario. Metrik pertama adalah total skor kecocokan bahan yang mengukur keserasian menu. Metrik kedua adalah jumlah batasan nutrisi yang terpenuhi dari empat batasan yang ditetapkan. Metrik ketiga adalah deviasi total kalori terhadap target, metrik keempat adalah waktu eksekusi algoritma, dan metrik kelima adalah keberagaman kategori yang dihitung dari banyaknya kategori unik pada menu. Target nutrisi ditetapkan pada rentang kalori 1.800 sampai 2.200 kkal dan protein minimum 60 gram.

Setiap skenario dijalankan pada subset data yang sama agar perbandingan bersifat adil. Untuk setiap skenario, sejumlah kombinasi bahan masukan dibangkitkan, lalu algoritma greedy dijalankan untuk menghasilkan menu beranggotakan lima resep. Nilai tiap metrik dicatat pada setiap percobaan, kemudian dirata-ratakan. Parameter bobot ditetapkan pada $\alpha = 1$, $\beta = 0,5$, dan $\gamma = 1$ untuk skenario yang melibatkan penalti nutrisi, sedangkan $\gamma = 0$ digunakan pada skenario yang hanya memperhatikan kecocokan bahan.

VI. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil eksperimen pada ketiga skenario dirangkum pada Tabel II. Nilai pada tabel merupakan rata-rata dari beberapa kali percobaan dengan kombinasi bahan masukan yang berbeda. Penyajian dalam satu tabel memudahkan perbandingan langsung antarskenario pada setiap metrik.

TABEL II
PERBANDINGAN HASIL ANTAR-SKENARIO SELEKSI

Metrik Evaluasi	S1	S2	S3
Total skor kecocokan bahan	8,74	8,21	7,95
Batasan nutrisi terpenuhi (dari 4)	1	3	4
Deviasi kalori dari target (kkal)	312	145	38
Waktu eksekusi (ms)	4,1	5,3	6,8
Keberagaman kategori (dari 5)	2	4	4

S1: kecocokan bahan; S2: penalti nutrisi; S3: batasan kalori dan protein.

Hasil menunjukkan bahwa skor kecocokan bahan tertinggi diperoleh pada skenario S1, kemudian menurun pada S2 dan S3. Penurunan ini terjadi karena penambahan penalti dan batasan nutrisi mempersempit ruang pilihan resep sehingga algoritma tidak selalu dapat memilih resep dengan kecocokan tertinggi. Akan tetapi, penurunan skor tergolong terbatas, yaitu sekitar sembilan persen dari S1 ke S3. Pola ini menunjukkan bahwa peningkatan kualitas nutrisi tidak mengorbankan kecocokan bahan secara berlebihan.

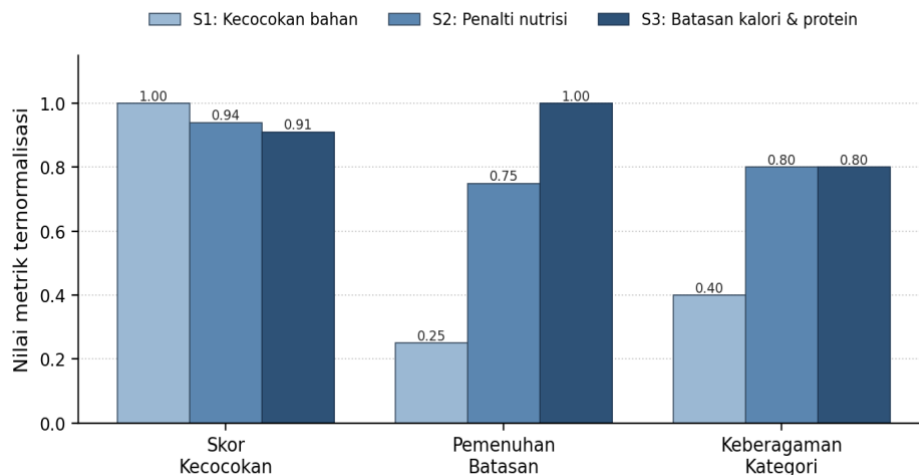
Sebaliknya, pemenuhan batasan nutrisi meningkat tajam dari S1 ke S3. Pada S1 hanya satu dari empat batasan yang terpenuhi karena proses seleksi mengabaikan nutrisi. Pada S3, seluruh batasan terpenuhi karena kelayakan nutrisi dijadikan syarat wajib pada fungsi kelayakan. Deviasi kalori terhadap target juga menurun drastis, dari 312 kkal pada S1 menjadi 38 kkal pada S3, yang menandakan total energi menu jauh lebih mendekati target.

Keberagaman kategori turut meningkat seiring penambahan batasan nutrisi. Pada S1, menu cenderung didominasi oleh dua kategori karena resep tinggi kalori yang serasi sering berasal dari kelompok yang sama. Pada S2 dan S3, dorongan untuk memenuhi batasan gizi

memaksa algoritma memilih resep dari kategori berbeda sehingga keberagaman naik. Waktu eksekusi sedikit bertambah dari 4,1 milidetik menjadi 6,8 milidetik akibat tambahan perhitungan kelayakan, tetapi peningkatan ini masih dapat diabaikan untuk ukuran data yang diuji.

Skenario S2 menempati posisi tengah di antara S1 dan S3 pada hampir seluruh metrik. Hal ini menunjukkan bahwa penalti nutrisi yang bersifat lunak mengarahkan solusi menuju menu yang lebih sehat tanpa menutup pilihan resep secara mutlak. Besarnya pengaruh penalti bergantung pada parameter γ , yaitu nilai γ yang lebih besar memperkuat dorongan menuju pemenuhan nutrisi, tetapi berisiko menurunkan skor kecocokan lebih jauh. Pemilihan nilai γ yang tepat karena itu menjadi bagian penting dari penyetelan sistem rekomendasi.

Perbandingan ketiga skenario pada tiga metrik utama yang telah dinormalisasi ditunjukkan pada Gambar 1. Grafik tersebut memperlihatkan bahwa S1 unggul pada skor kecocokan, tetapi rendah pada pemenuhan batasan dan keberagaman. Sebaliknya, S3 menunjukkan profil yang lebih seimbang pada seluruh metrik. Pola ini menegaskan keberadaan trade-off antara kecocokan bahan, nutrisi, dan keberagaman menu.



Gambar 1. Perbandingan tiga skenario pada metrik ternormalisasi.

Hasil ini menunjukkan bahwa batasan nutrisi mengubah karakter solusi secara mendasar. Tanpa batasan, algoritma menghasilkan menu yang paling serasi dari sisi bahan, tetapi kurang sehat dan kurang beragam. Dengan batasan, algoritma menghasilkan menu yang sedikit kurang serasi, tetapi lebih sehat dan lebih beragam. Pemilihan skenario yang tepat bergantung pada prioritas pengguna, dan parameter α , β , serta γ dapat digunakan untuk mengatur keseimbangan tersebut.

Perlu dicatat bahwa batasan nutrisi yang digunakan masih sangat sederhana dan belum mencerminkan kebutuhan gizi yang sebenarnya. Batasan hanya mencakup kalori, protein, dan keseimbangan kategori,

sedangkan kebutuhan diet medis melibatkan banyak faktor lain, seperti mikronutrien, alergi, dan kondisi kesehatan tertentu. Selain itu, hasil eksperimen bersifat ilustratif pada data berukuran kecil sehingga generalisasi pada data berskala besar memerlukan pengujian lebih lanjut. Refleksi ini menempatkan kontribusi makalah sebagai langkah awal, bukan solusi akhir, bagi rekomendasi menu yang sehat.

Beberapa faktor membatasi keberlakuan hasil eksperimen ini. Nilai pada Tabel II diperoleh dari subset data yang kecil sehingga cukup sensitif terhadap pemilihan resep yang dimasukkan. Selain itu, bobot kecocokan dan parameter penalti ditetapkan secara

manual sehingga hasil dapat berubah apabila parameter disetel berbeda. Pengujian pada dataset yang lebih besar dan beragam diperlukan untuk memperkuat kesimpulan yang diperoleh.

VII. ANALISIS KOMPLEKSITAS

Misalkan n adalah jumlah resep dan k adalah jumlah resep yang dipilih. Pada setiap iterasi, algoritma menghitung pertambahan nilai objektif untuk seluruh kandidat. Perhitungan $\Delta(r)$ untuk satu kandidat memerlukan penjumlahan bobot sisi terhadap resep yang sudah terpilih sehingga berbiaya $O(|S|)$. Karena terdapat hingga n kandidat dan ukuran S paling besar k , biaya satu iterasi adalah $O(n \cdot k)$.

Algoritma menjalankan sebanyak k iterasi sehingga kompleksitas waktu keseluruhan adalah $O(n \cdot k^2)$. Apabila k jauh lebih kecil daripada n , kompleksitas ini mendekati linear terhadap n . Kompleksitas ruang didominasi oleh penyimpanan graf dan atribut resep, yaitu $O(n + |E|)$ untuk graf dan $O(n \cdot |N|)$ untuk nilai nutrisi.

Sebagai pembandingan, pendekatan brute force mengevaluasi seluruh kombinasi k resep dari n resep sehingga berbiaya $O(C(n, k))$ yang tumbuh secara eksponensial terhadap k . Untuk $n = 40$ dan $k = 5$, jumlah kombinasi mencapai lebih dari setengah juta, sedangkan pendekatan greedy hanya memerlukan beberapa ratus evaluasi. Perbandingan ini menjelaskan alasan greedy jauh lebih efisien, meskipun greedy tidak menjamin solusi optimal global.

Sebagai gambaran kuantitatif, untuk $n = 40$ dan $k = 5$ banyaknya kombinasi $C(40, 5)$ bernilai 658.008, sedangkan algoritma greedy hanya melakukan sekitar $40 + 39 + 38 + 37 + 36$ evaluasi seleksi, yaitu kurang dari dua ratus operasi. Selisih ini semakin membesar ketika n bertambah sehingga keunggulan efisiensi greedy menjadi lebih nyata pada data berskala besar. Akan tetapi, efisiensi tersebut diperoleh dengan mengorbankan jaminan optimalitas global karena greedy tidak menelusuri seluruh ruang solusi.

VIII. KESIMPULAN DAN SARAN

Makalah ini telah mengembangkan algoritma greedy berbasis graf untuk rekomendasi menu yang mempertimbangkan kecocokan resep sekaligus batasan nutrisi sederhana. Pemodelan masalah sebagai pemilihan subhimpunan simpul pada graf berbobot dengan penalti nutrisi terbukti dapat menyatukan aspek kecocokan bahan dan keseimbangan gizi dalam satu fungsi seleksi. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penambahan batasan nutrisi menurunkan skor kecocokan bahan secara terbatas,

tetapi meningkatkan pemenuhan batasan gizi dan keberagaman kategori menu. Dengan demikian, pendekatan greedy mampu memberikan solusi yang cepat dan cukup baik untuk masalah perencanaan menu.

Pendekatan yang diusulkan memiliki beberapa keterbatasan. Solusi yang dihasilkan tidak selalu optimal secara global karena sifat keputusan lokal greedy. Dataset yang digunakan berukuran kecil dan bersifat ilustratif, sedangkan batasan nutrisi masih sederhana dan belum mencakup kebutuhan gizi yang kompleks.

Beberapa arah pengembangan disarankan untuk penelitian lanjutan. Penggunaan program dinamis atau metode branch and bound dapat dipertimbangkan untuk memperoleh solusi yang lebih mendekati optimal. Integrasi dengan model pembelajaran mesin dapat digunakan untuk personalisasi kebutuhan gizi, sedangkan penambahan informasi alergi dan preferensi pengguna dapat meningkatkan relevansi rekomendasi menu.

ACKNOWLEDGMENT

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan perlindungan-Nya sehingga makalah ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Dr. Ir. Rinaldi, M.T., selaku dosen pengampu

REFERENCES

- [1] F.-F. Kuo, C.-T. Li, M.-K. Shan, dan S.-Y. Lee, "Intelligent menu planning: recommending set of recipes by ingredients," dalam Proc. ACM Multimedia 2012 Workshop on Multimedia for Cooking and Eating Activities (CEA '12), Nara, Jepang, Nov. 2012, hlm. 1-6.
- [2] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, dan C. Stein, Introduction to Algorithms, edisi ke-3. Cambridge, MA: MIT Press, 2009, bab 16.
- [3] C. H. Papadimitriou dan K. Steiglitz, Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity. Mineola, NY: Dover Publications, 1998.
- [4] J. Freyne dan S. Berkovsky, "Intelligent food planning: personalized recipe recommendation," dalam Proc. 15th Int. Conf. Intelligent User Interfaces (IUI '10), Hong Kong, Feb. 2010, hlm. 321-324.
- [5] G. J. Stigler, "The cost of subsistence," Journal of Farm Economics, vol. 27, no. 2, hlm. 303-314, Mei 1945.
- [6] K. Stefanidis et al., "PROTEIN AI advisor: a knowledge-based recommendation framework using expert-validated meals for healthy diets," Nutrients, vol. 14, no. 20, art. 4435, Okt. 2022.
- [7] U. Dey, "Food Nutrition Dataset," Kaggle, 2022. [Daring]. Tersedia: <https://www.kaggle.com/datasets/utsavdey1410/food-nutrition-dataset>
- [8] R. Munir, "Algoritma Greedy (Bagian 1 dan 2)," Diktat Kuliah IF2211 Strategi Algoritma, Program Studi Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung, 2025.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 19 Juni 2026

Ttd



Harfhan Ikhtiar Ahmad Ridzky 18223123