

PENERAPAN METODE BRANCH AND BOUND DALAM OPTIMASI RUTE PENGIRIMAN PRODUK SKINCARE BERDASARKAN MINIMASI BIAYA OPERASIONAL

Serenity Devina Suryanto¹, Albert Cahayadi², Yohannes³

^{1,2,3} Universitas Multi Data Palembang
Jl. Rajawali No.14 Palembang, Indonesia

¹serenitydevinasuryanto_2327250009@mhs.mdp.ac.id, ²albertcahayadi_2327250014@mhs.mdp.ac.id,
³yohannesmasterous@mdp.ac.id

ABSTRAK

Skincare merupakan salah satu barang yang paling banyak didistribusikan. Distribusi produk *skincare* yang banyak juga membuat distributor mencari solusi dalam mencari rute pengiriman dengan guna meminimalkan biaya pengiriman. Permasalahan yang sering terjadi dalam proses distribusi adalah pemilihan rute pengiriman yang kurang optimal sehingga menyebabkan pengeluaran ekstra pada biaya transportasi. Rancangan sistem dalam upaya mencari rute optimal dengan biaya minimal menggunakan algoritma *Branch and Bound* dengan membatasi kemungkinan rute yang tidak memenuhi kriteria minimum sehingga proses pencarian menjadi lebih efisien. Data yang digunakan dalam penelitian meliputi *Costs, Location*, dan *transportation modes* pengiriman produk *skincare*. Penerapan ini menghasilkan cost minimum sebesar 772.40 dengan rute optimal pada *transportation modes* Air yang menjadi hasil yang paling efisien dibandingkan dengan *transportation modes* lain yaitu Road, Rail dan Sea. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode *Branch and Bound* mampu menghasilkan rute pengiriman yang lebih optimal dibandingkan metode konvensional, sehingga dapat mengurangi total biaya distribusi dan meningkatkan efisiensi proses pengiriman produk *skincare*. Dengan demikian, metode ini dapat dijadikan solusi dalam pengambilan keputusan untuk optimasi sistem distribusi pada perusahaan *skincare*.

Kata Kunci— *Branch and Bound* , Optimasi pemilihan rute pengiriman, *Skincare*, Optimasi biaya.

ABSTRACT

Skincare is one of the most widely distributed products. The extensive distribution of *skincare* products also forces distributors to seek solutions in finding shipping routes to minimize shipping costs. A common problem in the distribution process is the selection of suboptimal shipping routes, which results in extra expenses on transportation costs. The system design in an effort to find the optimal route with minimal costs uses the *Branch and Bound* algorithm by limiting the possibility of routes that do not meet the minimum criteria so that the search process becomes more efficient. The data used in the study include *Costs, Location*, and *transportation modes* for *skincare* product delivery. This application produces a minimum cost of 772.40 with the optimal route in Air transportation modes being the most efficient result compared to other transportation modes, namely Road, Rail, and Sea. Based on the results of this study, it can be concluded that the *Branch and Bound* method is able to produce a more optimal shipping route than conventional methods, thereby reducing total distribution costs and increasing the efficiency of the *skincare* product delivery process. Thus, this method can be used as a solution in decision-making for optimizing the distribution system in *skincare* companies.

Keywords— *Branch and Bound* , Delivery route optimization, *Skincare*, Cost Optimization.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri skincare di Indonesia mengalami peningkatan yang sangat pesat dalam beberapa tahun terakhir. Hal ini ditandai dengan semakin banyaknya produk skincare yang tersedia di pasaran serta kemudahan akses melalui platform online juga turut mendukung peningkatan penjualan produk skincare [1]. Tingginya minat masyarakat terhadap produk skincare ini juga menyebabkan banyak perusahaan skincare berlomba-lomba dalam meningkatkan kualitas layanan, khususnya pada proses distribusi dan pengiriman produk agar dapat menjangkau pasar yang lebih luas. Dalam proses distribusi produk, ada banyak faktor yang perlu dipertimbangkan, seperti peralatan, transportasi, ketersediaan, dan komunikasi dari pihak tertentu [2].

Proses distribusi produk juga diperlukan perencanaan rute dengan biaya yang murah agar proses pengiriman dapat berjalan secara efisien. Namun hal tersebut menjadi sebuah tantangan dimana kombinasi rute bersifat kompleks dengan banyak rute yang dapat dipilih, dan sering kali dipilih berdasarkan pengalaman dan perkiraan. Pendekatan tersebut berpotensi menghasilkan biaya distribusi atau *costs* yang tinggi dan proses distribusi menjadi tidak optimal, sehingga diperlukan melakukan proses optimasi agar dapat mencari rute terbaik dengan biaya optimal menggunakan algoritma optimasi, salah satunya adalah dengan menggunakan algoritma *Branch and bound*.

Branch and Bound Method adalah metode yang dapat menemukan jalur atau rute terpendek [3]. Algoritma *Branch and Bound* telah menjadi salah satu metode populer dalam menyelesaikan berbagai masalah optimasi, baik diskrit maupun kontinu. Algoritma ini pertama kali diperkenalkan sebagai cara sistematis untuk menyelesaikan masalah optimasi kombinatorial dengan melakukan eksplorasi dan evaluasi ruang solusi secara efisien [4]. Metode *Branch and Bound* adalah pendekatan yang efektif untuk mencari solusi optimal dalam program linier di mana variabel keputusan harus berupa bilangan bulat [5]. Metode ini dinilai optimal dikarenakan proses pencarian solusinya yang dibagi-bagi, sehingga hanya cabang yang berpotensi menghasilkan solusi terbaik yang akan diproses lebih lanjut.

Selain itu, pemilihan algoritma *Branch and Bound* didasarkan pada pertimbangan efisiensi dan optimalisasi solusi yang dihasilkan, seperti pada algoritma *Brute Force* yang mampu mengoptimalkan rute wisata di Yogyakarta dengan mengevaluasi seluruh kemungkinan rute [6]. Namun, pendekatan tersebut bersifat lambat dan kurang efisien pada jumlah

kemungkinan solusi yang banyak [7]. Penerapan algoritma lain yaitu Algoritma *Greedy* dalam melakukan optimasi penyaluran kabel udara di Cisu Indah secara cepat dengan jumlah simpul dan sisi *graf* yang besar, namun algoritma ini tidak menjamin solusi yang optimal karena hanya memilih opsi yang terbaik tanpa mempertimbangkan konsekuensi jangka panjang [7].

Melalui pertimbangan tersebut, algoritma *Branch and Bound* menjadi solusi yang mengatasi keterbatasan tersebut melalui pemangkasan solusi yang kurang optimal dan menjamin optimalitas solusi yang dihasilkan. Hal ini juga didukung oleh [8] yang membuktikan bahwa algoritma *Branch and Bound* menghasilkan rute optimal yang lebih baik dalam jarak, waktu dan biaya transportasi yang lebih rendah dibandingkan dengan algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* dalam penyelesaian *Travelling Salesman Problem*, dan juga didukung oleh [9] serta [10] yang menggunakan algoritma *Branch and Bound* dan kombinasinya dengan *Cheapest Insertion Heuristic* dalam optimasi rute distribusi dengan 11 dan 22 titik dan berhasil menghasilkan solusi rute yang optimal dengan jarak minimum. Dengan dukungan tersebut, hal ini menunjukkan bahwa algoritma *Branch and Bound* dapat diterapkan pada permasalahan distribusi berskala nyata.

Penerapan algoritma *Branch and Bound* pada optimasi rute pengiriman produk skincare mampu membantu perusahaan dalam menentukan jalur distribusi dengan biaya pengiriman paling murah melalui pengurangan pengeluaran operasional dan peningkatan efisiensi waktu pengiriman dan produktivitas distribusi serta dapat memberikan solusi yang efektif dalam mendukung sistem distribusi produk skincare yang lebih optimal dan efisien. Penelitian ini juga berkontribusi dalam penerapan algoritma *Branch and Bound* untuk mengoptimalkan rute pengiriman produk skincare berdasarkan biaya minimum serta membandingkan hasil optimasi pada berbagai mode transportasi agar didapatkan mode transportasi yang paling efisien dengan biaya minimum dan rute yang optimal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Metode *Branch and Bound*

Metode *Branch and Bound* adalah teknik untuk menemukan solusi dari masalah *ILP* dengan cara menghitung titik-titik dalam wilayah layak dari sub masalah. Prosedur ini membatasi solusi optimal yang menghasilkan pecahan dengan membuat cabang atas dan bawah untuk setiap variabel keputusan bernilai pecahan untuk memiliki nilai integer [11]. Setiap

simpul pada pohon diberi nilai cost yang menjadi taksiran lintasan termurah ke simpul status solusi. Tujuannya adalah agar tidak semua simpul dibangkitkan, tetapi hanya simpul dengan nilai cost paling optimal [12].

B. Teori Graf

Teori graf adalah salah satu cabang ilmu matematika. *Teori graf* merupakan suatu pokok bahasan yang mendapat banyak perhatian karena model-modelnya sangat berguna untuk diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari, diantaranya adalah digunakan dalam jaringan komunikasi, transportasi, ilmu komputer, riset operasi dan masih banyak aplikasi lainnya [13]. Secara singkat suatu *graph* dapat ditulis sebagai $G = (V, E)$ yang dalam hal ini $V =$ Himpunan berhingga dan titik kosong dari simpul-simpul vertices $= \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ dimana $E =$ Himpunan sisi yang menghubungkan sepasang simpul $= \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ [14]. Dalam aplikasinya, setiap simpul pada *graf* dapat dijadikan sebagai objek kehidupan, yaitu sebagai objek titik jaringan pesan atau komunikasi, lokasi penempatan kerja, titik kota, jalur transportasi dan lain sebagainya. Sedangkan untuk sisi *graf* dijadikan sebagai bobot jarak, waktu, biaya dan kendala lainnya. Dan juga busur (*arcs*) adalah yang menunjukkan hubungan atau relasi dari sepasang simpul [15].

C. Travelling Salesman Problem

Travelling Salesman Problem (TSP) tetap menjadi tantangan penting dalam optimasi kombinatorial, terutama dalam logistik dan perencanaan rute, di mana solusi yang efisien dapat secara signifikan mengurangi biaya operasional dan meningkatkan pengiriman layanan [16]. *Travelling Salesman Problem (TSP)* memiliki kompleksitas yang tinggi karena jumlah kemungkinan rute yang dapat dihasilkan meningkat secara eksponensial seiring dengan penambahan jumlah kota yang harus dikunjungi [17]. Permasalahan yang umum terjadi dan diselesaikan dengan memanfaatkan *teori graf*, yakni *Shortest Path Problem / SPP* dengan solusi yakni mengidentifikasi jalur terpendek melalui titik-titik tujuan yang hendak ditentukan [18].

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Branch and Bound* sebagai algoritma dalam memilih rute pengiriman produk skincare dengan *Cost* yang murah melalui bahasa pemrograman *Python* dan platform *Kaggle Notebook*. Proses pemilihan rute ini dilakukan dengan beberapa tahap yang dapat dilihat pada Gbr. 1.



Gbr. 1 Alur Tahapan Penelitian

A. Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan dataset Supply Chain Analysis yang berasal dari platform Kaggle [19]. Dataset ini mengenai pergerakan produk dan layanan dari pemasok ke pelanggan dan dikumpulkan dari sebuah startup bidang Fashion dan Kecantikan dan berfokus pada rantai pasokan produk Makeup melalui 24 fitur yaitu *Product type, SKU, Price, Availability, Number of products sold, Revenue generated, Customer demographics, Stock levels, Lead times, Order quantities, Shipping times, Shipping carriers, Shipping costs, Supplier name, Location, Lead time, Production volumes, Manufacturing lead time, Manufacturing costs, Inspection results, Defect rates, Transportation modes, Routes, dan Costs* serta jumlah data pada dataset ini adalah 100 data.

Fitur-fitur ini memiliki 3 jenis tipe data yaitu String (*Product Type, SKU, Customer demographics, Shipping Carrier, Supplier Name, Location, Inspection results, Transportation Modes, dan Routes*), Integer (*Availability, Number of products sold, Stock Levels, Lead times, Order quantities, shipping times, lead time, production volumes, dan manufacturing lead time*) dan Decimal (*Price, Revenue generated, Shipping Costs, Manufacturing Costs, Defect Rates dan Costs*).

B. Preprocessing Data

Preprocessing Data adalah tahap yang dilakukan untuk mengubah data mentah menjadi data yang dapat diolah di tahap selanjutnya [15]. *Preprocessing Data* yang dilakukan pada penelitian ini adalah memilih data *Product Type* yang paling banyak jumlahnya yaitu antara *haircare, skincare, atau cosmetic* dan pengambilan atribut yang relevan sebagai data yang akan digunakan pada tahap selanjutnya. Hal tersebut

dilakukan untuk menyesuaikan data dengan algoritma *Branch and Bound* yang membutuhkan node, edge dan bobot dalam proses implementasinya.

C. Representasi Graf

Data yang telah dipilih direpresentasikan dalam bentuk *graf* yang dibentuk dengan node dan edge. Fitur *Location* direpresentasikan sebagai vertex (node) karena merupakan lokasi distribusi yang akan dilalui dalam proses pencarian rute pengiriman, edge disini adalah hubungan antar lokasi atau node yang ditandai dengan bentuk tanda panah. Representasi *Graf* ini memberikan gambaran seluruh rute yang dapat dijalankan dari node awal sampai kembali lagi ke node awal.

Graf juga direpresentasikan dalam bentuk graf berbobot pada saat rute optimal telah ditemukan melalui node, edge dan bobot. Dalam graf ini, fitur *Costs* dipilih sebagai bobot karena merepresentasikan biaya distribusi yang dikeluarkan dalam proses supply chain suatu produk, dan dapat digunakan dalam mengestimasi biaya antar node pada *graf* distribusi melalui pendekatan selisih rata-rata nilai *Costs* antar lokasi atau node.

D. Pembentukan Cost Matrix

Cost Matrix adalah matriks yang menggambarkan suatu nilai pada hubungan antar node seperti jarak atau biaya antar node dengan sifat asimetris atau juga simetris [20] [12]. Nilai *matrix* dengan baris dan kolom yang sama akan diberikan infinite (∞) agar mencegah kembalinya jalur yang telah dilalui [12]. *Cost Matrix* ini dibentuk oleh fitur *Costs* melalui perhitungan selisih rata-rata *absolut* nilai *Costs* pada setiap lokasi dengan pembulatan angka desimal dan direpresentasikan sebagai biaya distribusi antar lokasi pada *supply chain*. Sebagai contoh, rata-rata nilai *costs* pada lokasi Mumbai (lokasi awal) adalah 546.522067 lalu dibulatkan menjadi 546.52 untuk menyederhanakan pembacaan hasil perhitungan agar mudah dipahami, dan rata-rata nilai *costs* pada lokasi Kolkata (lokasi tujuan sebesar 622.732290 dibulatkan menjadi 622.73. Kedua nilai tersebut dihitung dengan perhitungan selisih antar rata-rata lokasi awal dan lokasi tujuan secara *absolut*, seperti berikut:

$$|546.52 - 622.73| = 76.21$$

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan nilai *cost* distribusi antar lokasi awal yaitu Mumbai ke Kolkata sebagai lokasi tujuan atau sebaliknya sebesar 76.21. Perhitungan tersebut dilakukan secara berulang dengan lokasi awal dan tujuan yang berbeda.

E. Implementasi Algoritma Branch and Bound Dengan Reduced Cost Matrix

Algoritma *Branch and Bound* diimplementasikan melalui proses *reduksi cost matrix* yang telah dibentuk dalam mencari rute distribusi pengiriman dengan biaya yang minimum. Proses *reduksi cost matrix* dilakukan bersamaan dengan pembentukan root node dan memperoleh estimasi biaya minimum suatu node menuju solusi (*bound*) yang dipakai untuk memilih node yang layak dilanjutkan melalui perhitungan jumlah antara real cost dari jalur yang telah dilalui dan hasil *reduksi* baris dan kolom *Reduced Cost Matrix*.

Setelah itu, dilanjutkan dengan proses *branching* dalam pembentukan child node baru berdasarkan node yang belum dikunjungi dan matriks biaya diperbarui pada setiap child node baru dengan mengubah baris dan kolom tertentu menjadi infinite dan *reduksi* ulang *cost matrix* untuk memperoleh nilai *bound* yang baru. *Bound* akan dibandingkan dengan sebelumnya dengan memilih nilai *bound* paling kecil sebagai node yang akan dilanjutkan, sedangkan sisanya akan dipangkas atau tidak dilanjutkan. Proses ini berjalan secara terus menerus sehingga diperoleh rute distribusi optimal dengan biaya minimum. Proses implementasi algoritma *Branch and Bound* dengan *Reduced Cost Matrix* dijelaskan lebih lanjut melalui *pseudocode* berikut.

PROCEDURE

Branch_and_Bound_RCM(cost_matrix)

Input : cost_matrix
Output : best_path, best_cost

Deklarasi:

n ← integer
root_matrix ← matrix
root, current, child ← node
live_nodes ← list
best_path ← list
best_cost ← float
i, j ← integer
total_cost ← float

BEGIN

n ← panjang cost_matrix

root_matrix ← salinan cost_matrix

root ← create root node
root.matrix ← root_matrix
root.path ← [0]
root.vertex ← 0
root.level ← 0
root.real_cost ← 0
root.bound ← 0

```

root.bound ←
reduce_matrix(root_matrix)

live_nodes ← {root}
best_cost ← INF
best_path ← []

WHILE live_nodes ≠ kosong DO

    live_nodes.sort(by bound
ascending)

    current ← live_nodes.pop(0)

    i ← current.vertex

    IF current.bound ≥ best_cost THEN

        CONTINUE

    ENDIF

    IF current.level = n - 1 THEN

        IF cost_matrix[i][0] ≠ INF THEN

            total_cost ←
current.real_cost + cost_matrix[i][0]

            IF total_cost < best_cost
THEN

                best_cost ← total_cost

                best_path ← current.path +
[0]

            ENDIF

        ENDIF

        CONTINUE

    ENDIF

    FOR j ← 0 sampai n-1 DO

        IF current.matrix[i][j] ≠ INF
THEN

            child ← create_node(
                current.matrix,
                current.path,
                i,
                j,
                current.level + 1,
                cost_matrix,
                current.real_cost)

            IF child.bound < best_cost
THEN

                live_nodes.append(child)

            ENDIF

```

```

ENDIF
ENDFOR
ENDWHILE

RETURN best_path, best_cost

END

```

Pseudocode tersebut menunjukkan proses *branching* yang membentuk kemungkinan rute baru atau child node, perhitungan estimasi biaya minimum (*bound*) menggunakan *Reduced Cost Matrix*, dan mengurangi proses pencarian node yang tidak optimal secara lebih jelas.

F. Rute Distribusi Pengiriman Produk

Implementasi algoritma *Branch and Bound* menghasilkan rute distribusi pengiriman produk skincare yang optimal meliputi urutan node yang dikunjungi dari node awal sampai kembali ke node awal lagi ketika seluruh node telah dikunjungi, serta nilai minimum *cost* yang diperoleh dari total bobot edge pada lintasan rute yang optimal. Selain itu, hasil optimasi juga divisualisasikan dalam bentuk *graf* berbobot yang menunjukkan jalur distribusi, dan biaya distribusi antar lokasi yang dipilih oleh algoritma berdasarkan biaya minimum.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Dataset

Melalui dataset Supply Chain Analysis [14] yang didapatkan dari Kaggle, terdapat 100 data supply chain yang sudah bersih dengan 24 fitur yang menggambarkan informasi produk, pengiriman, dan supplier yang sebagian datanya dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL I
DATASET SUPPLY CHAIN ANALYSIS

No	Product Type	Location	Transportation Modes	Costs
0	haircare	Mumbai	Road	187.7 52075
1	skincare	Mumbai	Road	503.0 65579
2	haircare	Mumbai	Air	141.9 20282
3	skincare	Kolkata	Rail	254.7 76159
4	skincare	Delhi	Air	923.4 40632
...
95	haircare	Mumbai	Air	778.8 64241

96	cosmetics	Mumbai	Road	188.7 42141
97	haircare	Mumbai	Road	540.1 32423
98	skincare	Chennai	Rail	882.1 98864
99	haircare	Chennai	Rail	210.7 43009

B. Hasil Preprocessing Data

Preprocessing Data menghasilkan data spesifik yang akan digunakan melalui pemilihan data *Product Type* yang memiliki jumlah data terbanyak dan fitur yang relevan untuk pembentukan node, dan bobot yang digunakan pada tahap pembuatan dan visualisasi *graf*. Data *product type* yang dipilih adalah *skincare* dengan jumlah 40 data dan penggunaan fitur *Location*, *Costs* dan *Transportation modes* yang dapat dilihat sebagian datanya pada Tabel 2. Produk *skincare* dipilih karena memiliki jumlah data terbanyak yaitu 40 data dibandingkan dengan *haircare* dengan jumlah data sebesar 34 data dan *cosmetics* dengan jumlah data sebesar 26 data.

TABEL II
HASIL PREPROCESSING DATA PRODUK SKINCARE

No	Product Type	Location	Transportation Modes	Costs
1	skincare	Mumbai	Road	503.0 65579
3	skincare	Kolkata	Road	254.7 76159
4	skincare	Delhi	Air	923.4 40632
6	skincare	Kolkata	Sea	134.3 69097
9	skincare	Chennai	Rail	995.9 29461
...
80	skincare	Chennai	Sea	787.7 79850
82	skincare	Mumbai	Road	589.9 78556
86	skincare	Mumbai	Rail	264.2 54890
90	skincare	Bangalore	Rail	990.0 78473
98	skincare	Chennai	Rail	882.1 98864

Penelitian ini juga menggunakan beberapa pengujian implementasi berdasarkan data transportation mode yaitu road, rail, air, dan sea. Hal ini dilakukan agar dapat membandingkan rute dengan *cost* termurah dengan berbagai jenis transportasi. Dalam implementasi pengujian tersebut, dilakukan pembuatan *Data Frame* baru dengan produk yang sama namun transportation mode yang berbeda. *Preprocessing Data* produk *skincare* dengan berbagai transportation mode

menghasilkan 11 data dengan transportasi road, 9 data dengan transportasi rail, 13 data dengan transportasi air, dan 7 data dengan transportasi sea seperti pada Tabel 3, 4, 5, dan 6 yang akan digunakan pada tahap selanjutnya.

TABEL III
HASIL PREPROCESSING DATA PRODUK SKINCARE
DENGAN TRANSPORTASI MODE ROAD

No	Product Type	Location	Transportation Modes	Costs
1	skincare	Mumbai	Road	503.0 65579
10	skincare	Kolkata	Road	806.1 03178
13	skincare	Bangalore	Road	547.2 41005
19	skincare	Chennai	Road	477.3 07631
32	skincare	Kolkata	Road	761.1 73910
34	skincare	Chennai	Road	510.3 58000
40	skincare	Kolkata	Road	529.8 08724
42	skincare	Bangalore	Road	635.6 57121
58	skincare	Delhi	Road	110.3 64335
66	skincare	Kolkata	Road	393.8 43349
82	skincare	Mumbai	Road	589.9 78556

TABEL IV
HASIL PREPROCESSING DATA PRODUK SKINCARE
DENGAN TRANSPORTASI MODE RAIL

No	Product Type	Location	Transportation Modes	Costs
3	skincare	Kolkata	Rail	254.7 76159
9	skincare	Chennai	Rail	995.9 29461
31	skincare	Bangalore	Rail	609.3 79207
47	skincare	Chennai	Rail	581.6 02355
60	skincare	Kolkata	Rail	430.1 69097
65	skincare	Chennai	Rail	555.8 59104
86	skincare	Kolkata	Rail	264.2 54890
90	skincare	Bangalore	Rail	990.0 78473
98	skincare	Chennai	Rail	882.1 98864

TABEL V
HASIL PREPROCESSING DATA PRODUK SKINCARE
DENGAN TRANSPORTASI MODE AIR

No	Product Type	Location	Transportation Modes	Costs
4	skincare	Delhi	Air	923.4 40632
11	skincare	Kolkata	Air	126.7 23033
14	skincare	Kolkata	Air	929.2 35290
16	skincare	Bangalore	Air	865.5 25780
20	skincare	Chennai	Air	493.8 71215
36	skincare	Delhi	Air	403.8 08974
39	skincare	Kolkata	Air	653.6 72995
52	skincare	Mumbai	Air	602.8 98499
53	skincare	Delhi	Air	750.7 37841
56	skincare	Mumbai	Air	832.2 1080
64	skincare	Delhi	Air	771.2 25085
69	skincare	Kolkata	Air	207.6 63206
75	skincare	Chennai	Air	873.1 29648

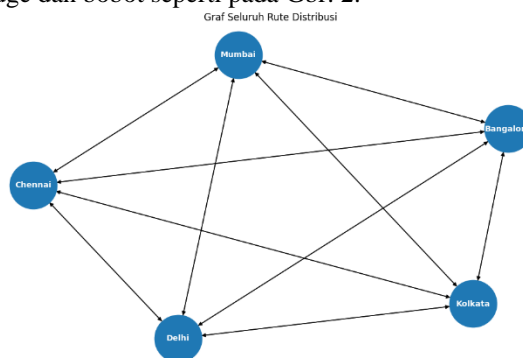
TABEL VI
HASIL PREPROCESSING DATA PRODUK SKINCARE
DENGAN TRANSPORTASI MODE SEA

No	Product Type	Location	Transportation Modes	Costs
6	skincare	Kolkata	Sea	134.3 69097
15	skincare	Bangalore	Sea	127.8 61800
37	skincare	Kolkata	Sea	183.9 32968
41	skincare	Chennai	Sea	275.5 24371
63	skincare	Bangalore	Sea	687.2 86178
67	skincare	Mumbai	Sea	169.2 71801
80	skincare	Chennai	Sea	787.7 79850

C. Visualisasi Graf Seluruh Rute

Graf seluruh rute distribusi pada semua jalur divisualisasikan menggunakan graf berarah yang terdiri dari 5 node yaitu Mumbai, Kolkata, Delhi, Chennai, dan Bangalore. Setiap node saling terhubung dengan node lainnya melalui edge atau jalur dengan simbol tanda panah sebagai hubungan antar node. Visualisasi ini menggunakan library *NetworkX* dan *Matplotlib* dari

bahasa pemrograman Python dalam menampilkan node, dan edge dan bobot seperti pada Gbr. 2.



Gbr. 2 Graf Seluruh Rute Distribusi

D. Hasil Pembentukan Cost Matrix

Cost Matrix dibentuk dari perhitungan selisih rata-rata *cost* dari hasil *preprocessing data* pada berbagai mode transportasi yaitu road, rail, air, dan sea. Nilai pada *cost matrix* secara diagonal diberi nilai *infinite* (inf), dan nilai pada data produk skincare pada masing-masing mode transportasi yang memiliki data lokasi yang tidak lengkap, akan digunakan nilai 1.000.000 agar tidak terjadi data kosong atau error dalam melanjutkan proses perhitungan dan pembentukan *cost matrix* seperti pada Tabel 7, 8, 9, dan 10 untuk setiap mode transportasi.

TABEL VII
COST MATRIX ROAD

From / To	Mumbai	Kolkata	Delhi	Chennai	Bangalore
Mumbai	inf	76.21	436.16	52.69	44.93
Kolkata	76.21	inf	512.37	128.90	31.28
Delhi	436.16	512.37	inf	383.47	481.08
Chennai	52.69	128.90	383.47	inf	97.62
Bangalore	44.93	31.28	481.08	97.62	inf

TABEL VIII
COST MATRIX RAIL

From / To	Mumbai	Kolkata	Delhi	Chennai	Bangalore
Mumbai	inf	116.87	99965.279	481.96	642.87
Kolkata	116.87	inf	99953.592	365.09	526.00
Delhi	999.65279	999.53592	inf	999.17083	9990.992

Chennai	481.96	365.09	999170.83	inf	160.91
Bangalore	642.87	526.00	999009.92	160.91	inf

TABEL IX
COST MATRIX AIR

From / To	Mumbai	Kolkata	Delhi	Chennai	Bangalore
Mumbai	inf	238.23	5.25	34.05	147.97
Kolkata	238.23	inf	232.98	204.18	386.20
Delhi	5.25	232.98	inf	28.80	153.22
Chennai	34.05	204.18	28.80	inf	182.03
Bangalore	147.97	386.20	153.22	182.03	inf

TABEL X
COST MATRIX SEA

From / To	Mumbai	Kolkata	Delhi	Chennai	Bangalore
Mumbai	inf	10.12	999830.73	362.38	238.30
Kolkata	10.12	inf	999840.85	372.50	248.42
Delhi	999830.73	999840.85	inf	999468.35	999592.43
Chennai	362.38	372.50	999468.35	inf	124.08
Bangalore	238.30	248.42	999592.43	124.08	inf

Berdasarkan tabel pada hasil *preprocessing data* dengan transportation mode rail dan sea yaitu Tabel 4 dan Tabel 6 menunjukkan bahwa data pengiriman produk skincare dengan transportasi rail dan sea tidak ada lokasi Delhi, sehingga saat pengambilan nilai rata-rata *cost* pada tiap lokasi menggunakan nilai $1e6$ (1.000.000) dalam melanjutkan pembuatan *cost matrix* dan menghasilkan nilai pada baris dan kolom Delhi memiliki nilai yang cukup besar dibandingkan dengan lokasi lain, yaitu pada Tabel 8 dan 10.

E. Hasil Optimasi Algoritma Branch and Bound

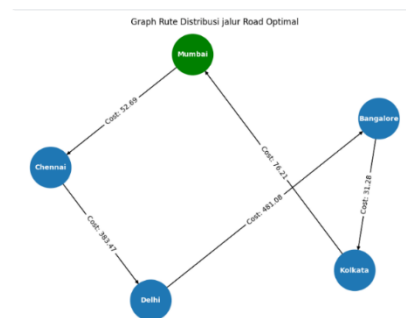
Implementasi algoritma *Branch and Bound* dilakukan dengan proses reduksi pada *cost matrix*, pada setiap *transportation modes*, *branching*, dan pemilihan node yang akan dilanjutkan untuk node selanjutnya. Hasil dari implementasi algoritma *Branch and Bound* menghasilkan rute optimal dari perhitungan menggunakan algoritma *Branch and Bound*,

serta *minimum cost* pada setiap *transportation modes* pada Tabel 11.

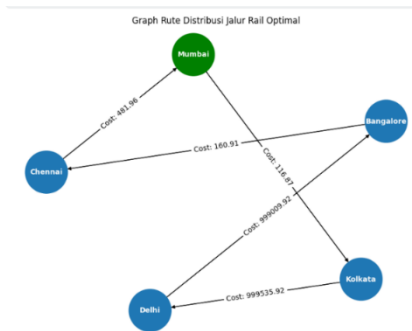
TABEL XI
HASIL IMPLEMENTASI ALGORITMA BRANCH AND BOUND

No	Transportation	Rute	Costs
0	Road	Mumbai ke Chennai ke Delhi ke Bangalore ke Kolkata ke Mumbai	1024.73
1	Rail	Mumbai ke Kolkata ke Delhi ke Bangalore ke Chennai ke Mumbai	1999305.58
2	Air	Mumbai ke Bangalore ke Delhi ke Kolkata ke Chennai ke Mumbai	772.40
3	Sea	Mumbai ke Kolkata ke Bangalore ke Chennai ke Delhi ke Mumbai	1999681.70

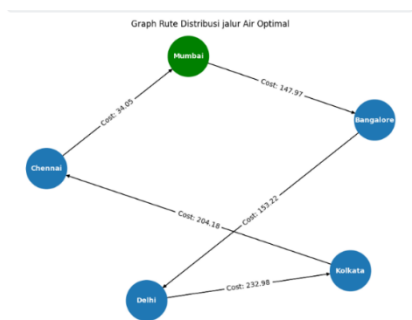
Hasil Optimasi juga menghasilkan visualisasi *graf* berbobot untuk rute optimal pada setiap *transportation modes* dengan nodes dari fitur *Location*, *edge* dan *bobot* dari fitur *Costs* yang telah diolah menjadi nilai pada *cost matrix* pada proses pembentukan *cost matrix*. Visualisasi *Graf* rute optimal pada setiap *transportation modes* (jalur) dapat dilihat pada Gbr. 3, 4, 5, dan 6.



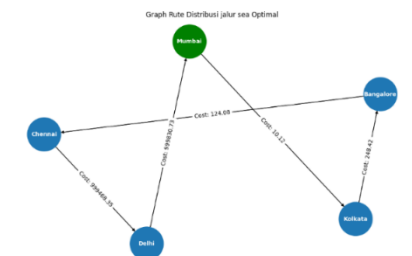
Gbr. 3 Graf Rute Optimal Distribusi Jalur Road



Gbr. 4 Graf Rute Optimal Distribusi Jalur Rail



Gbr. 5 Graf Rute Optimal Distribusi Jalur Air



Gbr. 6 Graf Rute Optimal Distribusi Jalur Sea

Berdasarkan Tabel 11 didapatkan bahwa rute optimal dengan *transportation modes* air yaitu Mumbai ke Bangalore ke Delhi ke Kolkata ke Chennai ke Mumbai memiliki *cost minimum* yang paling murah yakni 772.40, dibandingkan *transportation modes* lain dimana dengan *transportation mode* road menghasilkan *cost minimum* sebesar 1024.73, 1999305.58 untuk *transportation mode* rail, dan 1999681.70 untuk *transportation mode* sea. Hal tersebut terjadi karena nilai pada *cost matrix transportation modes* Air lebih rendah dibandingkan *cost matrix transportation modes* lain, sehingga menghasilkan *cost minimum* dengan nilai yang kecil. Hasil ini menunjukkan bahwa pengiriman dengan transportasi udara (Air) menjadi alternatif yang paling efisien berdasarkan *cost minimum* yang dihasilkan oleh algoritma.

Cost minimum pada *transportation modes* Road dengan nilai 1024.73 menempati posisi kedua yang termurah setelah *transportation modes* Air dengan nilai

772.40, hal ini terjadi karena *cost matrix* pada *transportation modes* Road yaitu pada tabel 7 memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan *transportation modes* Air, sehingga nilai *cost minimum* yang dihasilkan bernilai cukup tinggi dibandingkan yang *transportation modes* Air. Dengan selisih biaya yang tidak terlalu berbeda jauh tersebut, transportasi darat (Road) dapat menjadi alternatif yang cukup baik untuk dipilih atau opsi kedua dalam pemilihan rute dan jenis transportasi yang digunakan.

Sementara *cost minimum* pada *transportation modes* Rail dan Sea bernilai sangat besar yaitu 1999305.58 dan 1999681.70 yang menjadi biaya yang sangat mahal. Hal tersebut terjadi karena nilai pada *cost matrix transportation modes* tersebut pada kota Delhi bernilai cukup besar dimana saat proses pembentukan *cost matrix*, lokasi Delhi tidak ada di *transportation modes* Rail dan Sea sehingga digunakan nilai pengganti sebesar 1.000.000 dalam menghitung rata-rata *cost*. Kedua hasil tersebut menunjukkan bahwa transportasi kereta (Rail) dan Laut (Sea) kurang efektif untuk dipilih dalam pengiriman produk skincare karena memiliki *cost minimum* yang sangat besar atau mahal dibandingkan dengan *transportation modes* Air dan Road.

Pada *graf* rute optimal jalur Air yaitu gambar 5 juga didapatkan bahwa *cost* Mumbai ke Bangalore sebesar 147.97, Bangalore ke Delhi sebesar 153.22, Delhi ke Kolkata sebesar 232.98, Kolkata ke Chennai sebesar 204.18, dan Chennai ke Mumbai sebesar 34.05.

PENUTUP

Hasil optimasi pada penerapan algoritma *Branch and Bound* dengan *Reduced Cost Matrix* dapat digunakan dalam mengoptimasi rute pengiriman produk skincare dengan *cost* termurah pada berbagai mode transportasi, dengan rute Mumbai ke Bangalore ke Delhi ke Kolkata ke Chennai dan kembali ke Mumbai melalui *Transportation modes* Air. *Transportation modes* Air tersebut menghasilkan *cost minimum* sebesar 772.40 dimana merupakan *cost minimum* yang paling kecil dibandingkan *transportation modes* lain. Hasil ini menunjukkan bahwa rute dengan menggunakan transportasi udara merupakan alternatif yang paling efisien dan murah untuk melakukan pengiriman produk skincare dan membuktikan bahwa algoritma *Branch and Bound* efektif dalam menemukan rute distribusi yang optimal berdasarkan biaya minimum yang dihasilkan oleh berbagai mode transportasi yang digunakan dalam mengirim produk skincare.

REFERENSI

- [1] E. Permana, R. S. E. Putri, P. D. Alfinda, M. Mardhiyah, "Strategi Pemasaran Produk Skincare Somethinc di Kalangan Generasi Z," *Jurnal Pemasaran Kompetitif*, vol. 7, no. 2, pp.

- 119-135, Feb. 2024. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/9cca/f1b65c96910f0559dd34dccb29833c90b280.pdf>
- [2] N. S. Azzahra, N. N. Aulia, A. Binarsih, P Paduloh, "Analisis Optimasi Jalur Distribusi Menggunakan Pendekatan Tsp (Traveling Salesman Problem) Untuk Meningkatkan Efisiensi Biaya Distribusi Pada Toko Uthe Grosir," *HUMANITIS: Jurnal Humaniora, Sosial dan Bisnis.*, vol. 2, no. 6, pp. 542-553, Jun. 2024. Available: <https://humanisa.my.id/index.php/hms/article/view/140>
- [3] K. I. Manik, A. Syahri, A. Defiyanti, P. Harliana, "Penerapan Metode Graf untuk Optimasi Rute Pengantaran Catering Makanan Individu di Daerah Perkotaan," *Jurnal Nasional Komputasi dan Teknologi Informasi (JNKTI)*, vol. 7, no. 6, pp. 1577-1583, Des. 2024. Available: <https://ojs.serambimekkah.ac.id/jnkti/article/view/8170/pdf>
- [4] S. A. Musyaffa, N. P. Ramadhani, "Penerapan Algoritma Branch and Bound Dalam Penyelesaian Masalah," *JUSINFO (Jurnal Sains dan Informatika)*, vol. 1, no. 1, pp. 8-17, Jan. 2025. Available: <https://ejournal.pelitabina.com/index.php/Jusinfo/article/view/12>
- [5] S. P. Revika, J. Nurhakiki, B. Naysabilla, S. S. B. Ginting, "Systematic Literature Review: Penerapan Metode Branch and Bound dalam Optimalisasi Produksi," *Bilangan: Jurnal Ilmiah Matematika, Kebumihan Dan Angkasa.*, vol. 3, no. 3, pp. 141-155, Jun. 2025. Available: <https://journal.arimsi.or.id/index.php/Bilangan/article/view/596>
- [6] C. Wibawa, "Optimalisasi Rute Wisata Di Yogyakarta Menggunakan Metode Travelling Salesman Person Dan Algoritma Brute Force," *JURNAL Teknik dan Science (JTS)*, vol. 1, no. 3, pp. 59-65, Okt. 2022. Available: <https://doi.org/10.56127/jts.v1i3.512>
- [7] M. N. Aulia. (2024) Perbandingan Algoritma Brute Force dan Greedy dalam Optimasi Penjaluran Kabel Udara di Cisituh Indah, Kota Bandung on Makalah Mahasiswa Tahun 2024 Institut Teknologi Bandung. [Online]. Available: [https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Stmik/2023-2024/Makalah/Makalah-IF2211-Stima-2024%20\(70\).pdf](https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Stmik/2023-2024/Makalah/Makalah-IF2211-Stima-2024%20(70).pdf)
- [8] B. W. Lattan, J. M. Tupan, and D. B. Paillin, "Pemecahan Travelling Salesmen Problem Menggunakan Teknik Branch And Bound dan Cheapest Insertion Heuristic (Studi Kasus: FA. Bandil)," *i-tabaos.*, vol. 1, no. 1, pp. 13-22, Okt. 2021. Available: <https://doi.org/10.30598/i-tabaos.2021.1.1.13-22>
- [9] Juliani and H. Hamrul, "Optimasi Distribusi Buku menggunakan Algoritma Branch and Bound untuk Efisiensi Rute Terpendek," *Journal of Computer and Information System (J-CIS)*, vol. 5, no. 2, pp. 13-25, Okt. 2022. Available: <https://doi.org/10.31605/jcis.v5i2.2550>
- [10] E. Safitri, S. Basriati, W. Widiarti, and S. Sukmawati, "Kombinasi Algoritma Branch And Bound dan Cheapest Insertion Heuristic dalam Mengoptimalkan Rute Distribusi Kurir Paket JNT di Kecamatan Batang Cenaku," *Jurnal Lebesgue: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika dan Statistika.*, vol. 5, no. 1, pp. 561-572, Apr. 2024. Available: <https://doi.org/10.46306/lb.v5i1.472>
- [11] V. Devani, N. A. B. Sembiring, M. Wadhiah. "Optimasi Produksi Crumb Rubber dengan Menggunakan Metode Branch And Bound," *Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi dan Industri (SNTIKI)*, vol. 14, pp. 191-198, Okt. 2022. Available: <https://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/SNTIKI/article/view/18968>
- [12] A. Pranata, Hutrianto, "Rekayasa Perangkat Lunak Penentuan Jarak Terdekat Dalam Pengiriman Darah di PMI Kota Palembang Dengan Algoritma Branch dan Bound," *Journal of Information Technology Ampera.*, vol. 3, no. 2, pp. 244-255, Agu. 2022. Available: <https://journal-computing.org/index.php/journal-ita/article/view/294>
- [13] A. M. Nasir, Faisal, D. Setyawan, "Optimalisasi Penjadwalan Mata Kuliah Menggunakan Teori Pewarnaan Graf," *Jurnal Penelitian Matematika dan Pendidikan Matematika.*, vol. 5, no. 1, pp. 57-68, Feb. 2022. Available: <https://ejournal.my.id/proximal/article/view/1398>
- [14] I. Yaputera, R. Hanafi, M. Rusman, "Optimasi Rute Kunjungan Cluster Sales Officer (CSO) Menggunakan Ant Colony Optimization (ACO) (Studi Kasus: Indosat Ooredoo Hutchison Micro Cluster Mamuju)," *Jurnal Penelitian Enjiniring (JPE)*, Nov. 2022. Available: <https://repository.unhas.ac.id/eprint/23650/>
- [15] S. Mutmainah, T. A. Lorosae, E. E. Citra, "Genetic Algorithm Optimization for Solving the Traveling Salesman Problem in the Indonesian Business Environment," *Journix: Journal of Informatics and Computing*, vol. 1, no. 2, pp 88-98, Agu. 2025. Available: <https://ejournal.ranedu.or.id/index.php/journix/article/view/14>
- [16] M. I. Mubarak, I. Sukarsih, Y. Permanasari, "Analisis Panjang Populasi dan Banyak Generasi Algoritma Genetika pada Traveling Salesman Problem," *Bandung Conference Series: Mathematics*, vol. 3, no. 2, pp. 184-191, Agu. 2023. Available: <https://doi.org/10.29313/bcsm.v3i2.9467>
- [17] Y. L. Silitonga, Z. Indra, D. P. Purba, "Implementasi Algoritma Heuristik Dalam Penyelesaian Masalah Travelling Salesman Problem Pada Optimasi Jalur Pengiriman Makanan Untuk Layanan Online Menggunakan Python," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 9, no. 1, pp. 298-304, Feb. 2025. Available: <https://www.ejournal.itn.ac.id/jati/article/view/12336>
- [18] H. Singh. (2023) Supply Chain Analysis on Kaggle. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/harshsingh2209/supply-chain-analysis>
- [19] F. Alghifari, and D. Juardi, "Penerapan Data Mining Pada Penjualan Makanan Dan Minuman Menggunakan Metode Algoritma Naïve Bayes," *Jurnal Ilmiah Informatika (JIF)*, vol. 9, no. 2, pp. 75-81, Sep. 2021. Available: <https://doi.org/10.33884/jif.v9i02.3755>
- [20] R. S. Girsang, D. E. Siarit, and R. F. Sinaga, "Penentuan Rute Optimal Pendistribusian Barang Pada PT. Rajawali Cabang Pematangsiantar dengan Menggunakan Algoritma Branch and Bound," *Jurnal Pembelajaran Dan Matematika Sigma (JPMS)*, vol. 1, no.2, pp. 416-426, Nov. 2022. Available: <https://doi.org/10.36987/jpms.v8i2.3301>