

OPTIMALISASI RUTE DISTRIBUSI MENGGUNAKAN METODE EKSAK ALGORITMA BRANCH AND BOUND

Jessica Dewi Fortuna Br Marpaung¹⁾, Fitriani Tupa R. Silalahi²⁾,
Noramti Mardianti Manurung³⁾

Program Studi Manajemen Rekayasa Institut Teknologi Del

e-mail: ¹⁾jessicadfmarpaung@gmail.com, ²⁾fitrianitupa@gmail.com, ³⁾noramti54@gmail.com

ABSTRAK

CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem) adalah permasalahan rute dan kapasitas kendaraan dalam distribusi. Pada penelitian ini, dilakukan analisis biaya bahan bakar yang harus dikeluarkan berdasarkan rute distribusi selama mendistribusikan produk dengan mempertimbangkan jarak tempuh setiap distributor yang dilayani. Di sisi lain, kapasitas kendaraan juga perlu diperhitungkan untuk dapat mengirimkan produk sesuai dengan kebutuhan distributor. Penelitian ini menggunakan metode eksak algoritma Branch and Bound untuk optimalisasi rute distribusi. Tujuannya adalah untuk meminimalkan biaya distribusi produk di salah satu UMKM di Sumatera Utara yaitu Home Industry Sunny Glass. Sesuai dengan namanya, algoritma Branch and Bound membatasi penyelesaian yang akan menghasilkan bilangan pecahan, kemudian mencabangkan variabel keputusan yang tidak memiliki penyelesaian bilangan bulat, percabangan dilakukan terus hingga diperoleh penyelesaian variabel keputusan bernilai bulat (integer) dan optimal. Optimalisasi rute distribusi tidak hanya berdasarkan jarak tempuh distribusi, tetapi juga jenis kendaraan, kapasitas kendaraan dan harga bahan bakar minyak saat ini. Dengan berbagai skenario, hasil penelitian ini membuktikan bahwa biaya distribusi dapat diminimalisir hingga 72,1% dari biaya awal dengan rute distribusi optimal.

Kata kunci: Permasalahan Rute Kendaraan, Optimalisasi Distribusi, Program Linier Intejer, Metode Eksak, Algoritma Branch and Bound.

ABSTRACT

CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem) is a problem of route and vehicle capacity in distribution. Based on distribution channels, the authors analyze the fuel costs that must be incurred to distribute the product by considering the distance traveled by each distributor served. On the other hand, vehicle capacity also needs to be taken into account to be able to deliver products according to distributor needs. In this study, the authors optimize the distribution route using the Exact Branch and Bound algorithm method. The goal is to distribute products and costs in one of the MSMEs in North Sumatra, namely Sunny Glass Home Industry. As the name implies, the Branch and Bound algorithm limits the solutions that will produce numbers, then branching decision variables that do not have integer solutions, branching is done continuously until it produces integers and optimal decision variables. Optimization of distribution routes is not only based on distribution mileage, but also on vehicle type, vehicle capacity, and current fuel prices. With various scenarios, the results of this study prove that distribution costs can be minimized up to 72.1% of initial costs with optimal distribution routes.

Keywords: Vehicle Routing Problem, Optimization Distribution, Integer Linear Programmin, Exact Method, Branch and Bound Algorithm.

PENDAHULUAN

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, pada tahun 2020 terdapat 64 juta UMKM (Usaha Mikro Kecil Menengah) yang ada di Indonesia dengan kontribusi terhadap perekonomian Indonesia pada mencapai 60,3%. Angka tersebut membuktikan bahwa perekonomian Indonesia disokong oleh UMKM. Untuk meningkatkan perekonomian Indonesia, maka kontribusi UMKM di setiap sektor juga harus ditingkatkan. Menurut Haryati (2018), sektor UMKM dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu sektor Pertanian dan Non-Pertanian [1].

Home Industry Sunny Glass adalah salah satu UMKM yang berlokasi di Desa Sidua-dua, Kabupaten Labuhan Batu Utara, Sumatera Utara. UMKM tersebut bergerak di bidang

industri pengolahan. Industri pengolahan adalah bidang usaha yang memiliki kegiatan produksi untuk mengubah bentuk bahan baku/mentah menjadi barang setengah jadi atau barang jadi yang siap untuk digunakan atau dikonsumsi. *Home Industry Sunny Glass* adalah industri pengolahan yang menghasilkan produk pembersih dalam bentuk cairan yang diberi nama “Sunny Glass”. Produk Sunny Glass telah dipasarkan di enam Kabupaten di Sumatera Utara yaitu Kabupaten Labuhan Batu, Labuhan Batu Utara, Labuhan Batu Selatan, Asahan, Simalungun dan Deli Serdang.

Melalui hasil interview dengan pemilik *Home Industry Sunny Glass*, dalam proses pengiriman produk Sunny Glass pemilik usaha belum pernah melakukan pemetaan rute distribusi. Rute yang dilalui saat mengirimkan produk hanya berdasarkan ingatan dan pengalaman saja. Hal ini mengakibatkan biaya distribusi menjadi tidak terkontrol. Jika diabaikan terus-menerus, maka akan terjadi penurunan profit pada *Home Industry Sunny Glass*. Selain itu, *Home Industry Sunny Glass* melakukan distribusi masih menggunakan kendaraan pribadi. Padahal dalam beberapa kasus terjadi permintaan produk yang sangat tinggi dan kapasitas kendaraan kurang memadai untuk mengangkut semua produk sesuai dengan jumlah permintaan. Apabila pemilik usaha terus-menerus mengabaikan hal tersebut, tentu akan mengakibatkan ketidakefektifan proses distribusi.

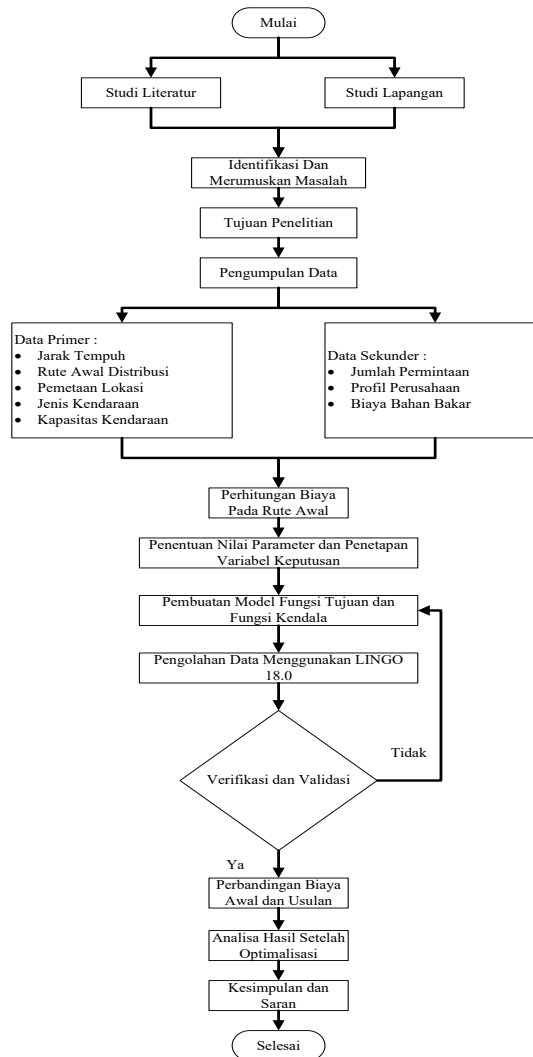
Penelitian ini akan membahas penyaluran produk dari sebuah produsen menuju ke sejumlah distributor. Untuk mengoptimalkan biaya distribusi, maka perlu melakukan pemetaan rute yang optimal. Pemetaan rute harus mempertimbangkan jarak terdekat dan kapasitas kendaraan yang digunakan. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan pemetaan terhadap jarak tempuh antar lokasi, jumlah distributor dan biaya bahan bakar. Untuk menyelesaikan masalah ini juga perlu mempertimbangkan kapasitas kendaraan yang digunakan. Selama ini pemilik usaha masih menggunakan kendaraan pribadi, maka dalam penelitian ini akan dilakukan perbandingan biaya distribusi terhadap kendaraan alternatif yang memiliki kapasitas yang lebih besar dan biaya bahan bakar yang lebih murah.

Permasalahan ini tergolong dalam *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)* yaitu penentuan rute distribusi dengan mempertimbangkan batasan jarak dan kapasitas kendaraan [2]. Penelitian terdahulu dengan permasalahan CVRP sudah dilakukan. Permasalahan CVRP dapat digunakan untuk penentuan rute distribusi koran [3,4], penentuan rute distribusi depo perusahaan ritel nasional [5], rute pengantaran obat pada perusahaan farmasi [6] dan penentuan rute distribusi bahan bakar minyak [7]. Penelitian lain menyelesaikan permasalahan CVRP dengan mempertimbangkan kapasitas alat angkut [8].

Penelitian menggunakan metode eksak yaitu pendekatan dengan menghitung setiap solusi dengan pemodelan matematis hingga memperoleh hasil optimal. Salah satu contoh metode eksak adalah *Branch and Bound*. Sesuai dengan namanya, algoritma *Branch and Bound* membatasi penyelesaian yang akan menghasilkan bilangan pecahan, kemudian mencabangkan variabel keputusan yang tidak memiliki penyelesaian bilangan bulat, percabangan dilakukan terus hingga diperoleh penyelesaian variabel keputusan bernilai bulat (*integer*) dan optimal. Oleh karena itu, peneliti menggunakan metode eksak dengan algoritma *Branch and Bound* untuk melakukan optimalisasi rute distribusi agar meminimalisasi biaya distribusi di *Home Industry Sunny Glass*.

METODE PENELITIAN

Dalam pelaksanaan penelitian ini, dibutuhkan kerangka penelitian yang disusun berdasarkan langkah-langkah yang harus dilakukan pada penelitian ini untuk memudahkan dalam melakukan penelitian. Kerangka penelitian yang dilakukan dalam pengerjaan penelitian ini pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Penelitian

Dalam manajemen rantai pasok, perlu melakukan perbaikan pada proses hilir yaitu penyaluran produk pada pelanggan atau distribusi [9]. Rute distribusi menjadi hal yang penting untuk dioptimalkan agar dapat meminimumkan biaya distribusi. *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) adalah bentuk paling dasar dari VRP [10].

Tujuan umum VRP (*Vehicle Routing Problem*) adalah melayani sekumpulan pelanggan yang melibatkan rute kendaraan yang berbasis depot [11]. Dalam penelitian ini, yang menjadi pelanggan adalah distributor produk pembersih dan yang berperan sebagai depot adalah *Home Industry Sunny Glass* selaku produsen produk pembersih. Setelah mengetahui permasalahan yang dialami, maka dapat dilakukan studi literatur untuk mengetahui metode yang paling sesuai untuk menyelesaikan CVRP.

Terdapat dua metode yang dapat digunakan dalam penyelesaian CVRP yaitu metode eksak dan metode heuristik. Penyelesaian permasalahan CVRP dapat dilakukan dengan metode eksak dan metode heuristik.

Metode eksak adalah melakukan pendekatan dengan menghitung setiap solusi hingga memperoleh jawaban terbaik (optimal) dari persoalan optimasi. Menurut metode ini menghasilkan solusi eksak (riil), dengan menggunakan algoritma *Branch and Bound* atau algoritma *Branch and Cut*. Dengan menggunakan algoritma tersebut, metode eksak dapat menghasilkan solusi dengan tingkat akurasi yang tinggi. Namun, waktu komputasi yang diperlukan untuk menyelesaikan CVRP lebih lama dibandingkan metode heuristik. Hal ini dikarenakan, CVRP termasuk dalam NP-hard (Non Polynomial-hard) sehingga

kompleksitas penyelesaian permasalahan akan meningkat secara eksponensial dengan semakin rumitnya permasalahan.

Metode heuristik adalah penyelesaian masalah optimasi dengan cara mencoba satu per satu dari semua solusi yang mungkin terjadi. Algoritma yang digunakan dalam metode heuristik sangat banyak yaitu *Clarke and Wright*, *Two Matching based methods*, *Sweep*, *1-Petal*, *2-Petal*, *Tabu Search*, *Genetic Algorithm*, *Simulated Annealing* dan sebagainya. Metode heuristik tidak terlalu mengeksplorasi ruang pencarian solusi dan biasanya hanya menghasilkan solusi dengan kualitas cukup baik. Metode heuristik merupakan metode yang memberikan solusi yang hanya mendekati optimal namun waktu komputasi yang diperlukan lebih cepat dibandingkan dengan metode eksak. Oleh karena itu, pengolahan data dalam jumlah besar, metode heuristik memiliki keunggulan dalam waktu komputasi yang sangat singkat.

Berdasarkan kedua metode yang telah ditemukan, setiap metode memiliki berbagai kriteria dalam mencari solusinya. Kriteria yang biasa digunakan adalah akurasi, kecepatan, kesederhanaan dan fleksibilitas. Akurasi Solusi berarti mengukur tingkat ketepatan solusi berdasarkan tingkat solusi yang paling optimal. Kecepatan adalah waktu komputasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan model VRP. Dalam beberapa kasus, kecepatan waktu komputasi penting untuk mengambil keputusan dalam waktu singkat dan ekstrem, seperti *express pickup and delivery*. Kesederhanaan diperlukan karena beberapa algoritma dalam metode heuristik jarang diterapkan karena terlalu sulit dimengerti dan sulit untuk dibuat kode programnya.

Tabel 1. Perbandingan Metode Eksak dan Metode Heuristik

Kriteria	Metode Eksak	Metode Heuristik
Akurasi	Tinggi	Menengah
Kecepatan	Menengah	Tinggi
Simplifikasi	Tinggi	Menengah
Fleksibilitas	Tinggi	Tinggi

Berdasarkan Tabel 1, tingkat akurasi pada metode eksak lebih tinggi dibandingkan dengan metode heuristik. Hal ini dikarenakan, pada metode eksak menghasilkan solusi yang riil, bukan pendekatan, sedangkan pada metode heuristik hanya mendekati optimal. Namun, pada metode heuristik memiliki tingkat kecepatan atau waktu komputasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode eksak. Hal ini dikarenakan metode heuristik tidak terlalu mengeksplorasi ruang pencarian solusi dan biasanya hanya menghasilkan solusi dengan kualitas cukup baik, sedangkan metode eksak menghitung setiap solusi hingga memperoleh jawaban terbaik (optimal).

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode eksak dengan prioritas tingkat akurasi yang tinggi agar memperoleh solusi yang sesuai dengan hasil nyata (riil).

Pengumpulan Data

Faktor yang berpengaruh pada biaya distribusi adalah rute yang dilalui dan jenis kendaraan yang digunakan. Untuk itu, skenario dalam penelitian ini terdiri atas 4 skenario yang dibedakan berdasarkan jenis wilayah dan jenis kendaraan, seperti yang ditampilkan pada Tabel 2. Berdasarkan jenis wilayah, terdiri atas wilayah A dan wilayah B. Wilayah A adalah wilayah distribusi yang terdiri dari kumpulan distributor yang sebelumnya digunakan oleh pemilik usaha. Wilayah ini tidak sesuai dengan kabupaten asal. Wilayah B adalah wilayah distribusi yang sudah dikelompokkan sesuai dengan kabupaten asalnya. Oleh karena itu, jumlah distributor di setiap jenis wilayah juga berbeda-beda seperti pada Tabel 2 yang menunjukkan perbedaan berdasarkan jenis wilayah. Data jumlah permintaan per bulan di setiap distributor dan di setiap jenis wilayah juga perlu dikumpulkan untuk

menghasilkan pemodelan yang sesuai dengan keadaan nyata sehingga memperoleh hasil optimasi yang tepat sasaran. Data jumlah permintaan setiap wilayah ditampilkan di Tabel 2.

Berdasarkan jenis kendaraan, terdiri atas kendaraan awal dan kendaraan alternatif. Kendaraan awal adalah kendaraan yang saat ini dimiliki oleh pemilik usaha yaitu mobil Xenia 1.3, sedangkan kendaraan alternatif adalah kendaraan yang disarankan kepada pemilik usaha karena memiliki kapasitas yang lebih besar dan biaya bahan bakar yang lebih murah yaitu kendaraan Mitsubishi L300 atau pickup. Perbandingan jenis kendaraan dapat dilihat pada Tabel 3. Setelah itu, data jarak tempuh dikumpulkan dalam bentuk matriks seperti pada Tabel 4.

Tabel 2. Data Jumlah Distributor Berdasarkan Jenis Wilayah

Jenis Wilayah	Kabupaten Labuan Batu	Kabupaten Labuan Batu Selatan	Kabupaten Labuan Batu Utara	Kabupaten Asahan	Kabupaten Simalungun Deli Serdang
Jumlah Distributor di Wilayah A	22	12	12	14	7
Jumlah Distributor di Wilayah B	27	7	10	16	7
Jumlah Permintaan di Wilayah A (Kotak)	93	64	38	47	19
Jumlah Permintaan di Wilayah B (Kotak)	126	31	34	51	19

Tabel 3. Perbandingan Jenis Kendaraan Berdasarkan Kapasitas dan Harga Bahan Bakar Minyak

Jenis Kendaraan	Kapasitas (kotak)	Jenis Bahan Bakar Minyak	Harga Bahan Bakar Minyak
Kendaraan Awal	48	Pertalite	Rp. 7.850/L
Kendaraan Alternatif	480	Solar Subsidi	Rp. 5.150/L

Setelah itu, mengumpulkan data jarak tempuh dalam bentuk matriks seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Matriks Jarak Tempuh

Nama Toko	Pabrik	Mujur Jaya	78 Motor	Star Motor	Prima Jaya	Sabar Motor	Sumber Jaya	Prima Jaya	Aneka ria	Mitra Motor	Mandiri Motor	Sinar Jaya Motor	Cakra wala Kencana
Pabrik	0	80,3	80,2	80	80,1	80,15	114	114,1	114,15	114,8	131	75,6	137
Mujur Jaya Aek Nabara	80,3	0	0,1	0,3	0,2	0,15	33,8	33,9	33,95	34,6	50,8	17,6	79
78 Motor Aek Nabara	80,2	0,1	0	0,2	0,1	0,05	33,9	34	40,5	41,15	57,35	17,5	78,9
Star Motor Aek Nabara	80	0,3	0,2	0	0,1	0,15	34	34,1	34,15	34,8	51	17,3	57
Prima Jaya Aek Nabara	80,1	0,2	0,1	0,1	0	0,05	33,9	34	34,05	34,7	50,9	17,4	56,9
Sabar Motor Aek Nabara	80,15	0,15	0,05	0,15	0,05	0	33,85	33,95	34	34,65	50,85	17,45	56,85
Sumber Jaya Kota Pinang	114	33,8	33,9	34	33,9	33,85	0	0,1	0,15	0,8	17	51,4	23
Prima Jaya Kota Pinang	114,1	33,9	34	34,1	34	33,95	0,1	0	0,05	0,7	16,9	51,5	22,9
Aneka ria Kota Pinang	114,15	33,95	40,5	34,15	34,05	34	0,15	0,05	0	0,65	16,85	51,55	22,85
Mitra Motor Cikampek	114,8	34,6	41,15	34,8	34,7	34,65	0,8	0,7	0,65	0	16,2	52,2	22,2
Mandiri Motor Cikampak	131	50,5	57,05	51	50,9	50,85	17	16,9	16,85	16,2	0	68,1	6
Sinar Jaya Motor Cikampak	75,6	17,6	17,5	17,3	17,4	17,45	51,4	51,5	51,55	52,2	68,1	0	74,6
Cakra wala Kencana Motor Cikampak	137	56,9	56,8	57	56,9	56,85	23	22,9	22,85	22,2	6	74,6	0

Dengan mengetahui jarak tempuh antar distributor, maka dapat menghitung biaya distribusi rute awal. Tabel 5 menunjukkan contoh biaya distribusi rute awal di Kabupaten Labuan Batu Selatan pada Skenario 1.

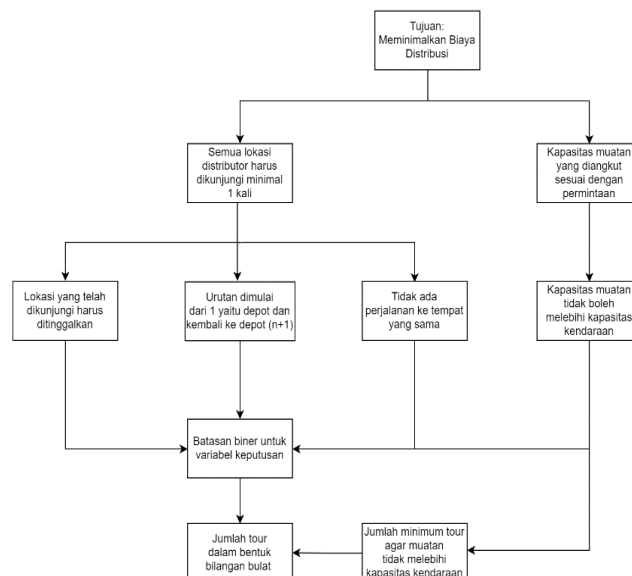
Tabel 5. Biaya Distribusi Rute Awal Pada Skenario 1 di Kabupaten Labuhan Batu Selatan

	Pabrik	Trip 1	Trip 2	Trip 3	Trip 4	Trip 5	Trip 6	
Tour 1	Pabrik	Toko Mujur Motor Aek Nabara	Toko 78 Motor Aek Nabara	Star Motor Aek Nabara	Prima Jaya Aek Nabara	Sabar Motor Aek Nabara	Toko Sumber Jaya Kota Pinang	Total Jarak Tour 1 (km)
Jarak (km)	0	80,3	0,1	0,2	0,1	0,05	33,85	411,3
	Trip 7	Trip 8	Trip 9	Trip 10	Trip 11	Trip 12	Trip 13	
Tour 1	Prima Jaya Kota Pinang	Anekaria Kota Pinang	Toko Mitra Motor Cikampak	Toko Mandiri Motor Cikampak	Toko Jaya Motor Cikampak	Cakrawala Kencana Motor Cikampak	Pabrik	Total Biaya Tour 1 (Rp)
Jarak (km)	0,1	0,05	0,65	16,2	68,1	74,6	137	Rp 322.871
	Pabrik	Trip 1	Trip 2	Trip 3	Trip 4	Trip 5	Trip 6	
Tour 2	Pabrik	Toko Mujur Motor Aek Nabara	Toko 78 Motor Aek Nabara	Star Motor Aek Nabara	Prima Jaya Aek Nabara	Sabar Motor Aek Nabara	Toko Sumber Jaya Kota Pinang	Total Biaya Tour 2 (Rp)
Jarak (km)	0	80,3	0,1	0,2	0,1	0,05	33,85	Rp 322.871
	Trip 7	Trip 8	Trip 9	Trip 10	Trip 11	Trip 12	Trip 13	
Tour 2	Prima Jaya Kota Pinang	Anekaria Kota Pinang	Toko Mitra Motor Cikampak	Toko Mandiri Motor Cikampak	Toko Jaya Motor Cikampak	Cakrawala Kencana Motor Cikampak	Pabrik	Total Biaya Seluruh Tour (Rp)
Jarak (km)	0,1	0,05	0,65	16,2	68,1	74,6	137	Rp 645.741

Pada Tabel 5, terdapat istilah *tour* dan *trip*. *Tour* adalah jumlah perjalanan distribusi yang dimulai dari lokasi awal pengiriman (depot). *Trip* adalah jumlah perjalanan antar lokasi dalam satu *tour*. Biaya distribusi rute awal diperoleh dari hasil perkalian harga bahan bakar minyak dengan jumlah jarak tempuh dalam setiap *tour*, sehingga total seluruh biaya distribusi rute awal pada Skenario 1 di Kabupaten Labuhan Batu Selatan seharga Rp. 645.741.

Pengolahan Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah método eksak dengan algoritma Branch and Bound. Menurut (Widyastiti, M; Kamila, 2019), terdapat 2 konsep dasar dalam algoritma *Branch and Bound*, yaitu *branching* dan *bounding* [12]. *Branching* adalah masalah yang dibagi ke dalam sub masalah yang mungkin mengarah ke solusi optimal dan *bounding* adalah cara cepat untuk mencari batas atas dan batas bawah untuk mendapatkan solusi optimal [13]. Konsep pembuatan model dengan algoritma *Branch and Bound* terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2. Konsep Pemodelan dengan Algoritma Branch and Bound

Berdasarkan Gambar 2, tujuan yang ingin dicapai yaitu meminimalkan biaya distribusi. Dalam *linear programming*, model matematis tujuan disebut fungsi tujuan. Namun, untuk mencapai tujuan, terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi yang disebut sebagai fungsi kendala. Sesuai dengan konsep permasalahan CVRP (*Capacitated Vehicle Routing Problem*), maka rute distribusi harus menghasilkan jarak terdekat dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan. Oleh karena itu terdapat dua poin penting yang menjadi cabang (*branch*) untuk mencapai tujuan tersebut.

Cabang yang pertama mengenai syarat lokasi kunjungan yang akan dioptimasi untuk menghasilkan jarak terdekat, yaitu semua lokasi distributor harus dikunjungi minimal 1 kali. Namun, ada batasan (*bound*) yang harus dipenuhi yaitu lokasi yang telah dikunjungi harus ditinggalkan. Hal ini dilakukan agar pengiriman tidak berhenti di satu lokasi saja. Kemudian, urutan dimulai dari 1 yaitu depot dan kembali ke depot ($n+1$). Depot adalah lokasi awal pendistribusian, yaitu *Home Industry Sunny Glass*. Lalu, tidak ada perjalanan ke tempat yang sama. Hal ini dilakukan karena jarak ke tempat yang sama bernilai 0.

Pada cabang yang kedua, yaitu mengenai kapasitas muatan yang akan dioptimasi untuk mencegah kelebihan kapasitas kendaraan. Dalam satu *tour* (satu kali perjalanan) distribusi, kapasitas muatan yang diangkut harus memenuhi permintaan konsumen. Jumlah permintaan akan bernilai sama dengan kapasitas muatan. Namun ada batasan (*bound*) yang harus dipenuhi yaitu kapasitas muatan tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi kelebihan muatan pada kendaraan.

Hasil dari cabang pertama dan kedua akan menghasilkan variabel keputusan. Variabel keputusan diberi batasan biner. Batasan biner sangat diperlukan untuk menyatakan rute yang dipilih, yaitu bernilai 0 atau 1. Apabila rute tidak layak dilalui, maka akan bernilai 0 dan jika rute layak dipilih untuk dilalui maka akan bernilai 1. Kemudian, dibuat pemodelan untuk menghasilkan jumlah minimum *tour*. Jumlah minimum *tour* dibuat untuk mengetahui jumlah perjalanan distribusi dengan cara menyesuaikan kapasitas kendaraan [14]. Lalu, jumlah minimum *tour* dibuat dalam bentuk bilangan bulat agar memudahkan pemilik usaha dalam merencanakan berapa kali jumlah perjalanan distribusi.

Jumlah *tour* juga harus disesuaikan dengan hasil variabel keputusan. Tabel 6 menjelaskan notasi yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 6. Notasi Penelitian

Notasi	Deskripsi	Satuan
n	Notasi pabrik dan distributor	
x	Notasi variabel keputusan rute	
y	Notasi muatan kendaraan	Kotak
D	Notasi permintaan konsumen	Kotak
Q	Notasi kapasitas kendaraan	Kotak
c	Notasi jarak	km
t	Notasi minimum <i>tour</i>	
T	Notasi <i>tour</i> setelah dibulatkan	
Himpunan		
N	Himpunan pabrik dan distributor	
N_c	Himpunan semua distributor	
Index		
i, j, p	Indeks node (pabrik dan distributor)	
Parameter		
D_i	Permintaan untuk setiap konsumen	Kotak
Q	Kapasitas kendaraan	Kotak
c_{ij}	Jarak tempuh dari lokasi i menuju lokasi j	Km
Variabel Keputusan		
x_{ij}	Rute yang dipilih dari lokasi i menuju lokasi j	

1. Fungsi Objektif

Total Cost = Harga bahan bakar minyak per km $\times$ total jarak tempuh (km) $\times$ total rute yang dipilih (1)

Tujuan dalam penelitian ini adalah meminimalkan biaya distribusi, sehingga fungsi tujuan diperoleh dari hasil perkalian harga bahan bakar minyak per kilometer, total jarak tempuh dalam satuan kilometer dan total rute yang dipilih berdasarkan variable keputusan.

2. Fungsi Kendala

Pembatas 1: Semua lokasi distributor harus dikunjungi minimal 1 kali.

$$\sum_{i \in N} x_{ij} \geq 1 \quad \forall j \in N_C \quad (2)$$

Pembatas 2: Lokasi yang telah dikunjungi harus ditinggalkan.

$$\sum_{i \in N} x_{ip} = \sum_{j \in N} x_{jp} \quad \forall p \in N_C \quad (3)$$

Pembatas 3: Urutan dimulai dari 1 yaitu depot dan kembali ke depot (n+1).

$$\sum_{i \in N} x_{i,n+1} = 1 \quad \forall i \in N \quad (4)$$

Pembatas 4: Tidak ada perjalanan ke tempat yang sama.

$$x_{ii} = 0 \quad \forall p \in N \quad (5)$$

Pembatas 5: Kapasitas muatan yang diangkut sesuai dengan permintaan konsumen.

$$\sum_{i \in N} y_{ij} - \sum_{i \in N} y_{ji} = D_i x_{ij} \quad \forall i \in N_C \quad (6)$$

Pembatas 6: Kapasitas muatan tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan.

$$D_j x_{ij} \leq y_{ij} \leq (Q - D_i) x_{ij} \quad \forall j \in N_C \quad \forall i, j \in N \quad (7)$$

Pembatas 7: Batasan biner untuk variabel keputusan.

$$x_{ij} \in (0,1) \quad \forall i \in N \quad \forall j \in N \quad (8)$$

Pembatas 8: Jumlah minimum *tour* agar muatan tidak melebihi kapasitas kendaraan.

$$\sum_{i \in N_C} D_i / Q = t \quad \forall i \in N_C \quad (9)$$

Pembatas 9: Jumlah *tour* dalam bentuk bilangan bulat dan sesuai dengan hasil yang diperoleh.

$$\sum_{i \in N} x_{ij} \geq 1 \quad \forall j \in N_C \quad (10)$$

Terdapat 9 pembatas dalam penelitian ini dengan mempertimbangkannya dengan kapasitas, jarak dan jumlah *tour* yang perlu dilakukan. Menurut Rachman (2014), variabel keputusan dapat diberi batasan biner yaitu 0 dan 1, dimana 1 adalah rute yang layak dipilih dan 0 adalah rute yang tidak layak dipilih [15].

Setelah melakukan pemodelan matematis fungsi tujuan dan fungsi kendala, maka terjemahkan model tersebut sesuai dengan *code* dalam bahasa pemrograman software LINGO.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Verifikasi dan validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh sudah sesuai dengan data dan tujuan penelitian, sehingga dilakukan setelah memperoleh hasil LINGO. Dari hasil perhitungan, biaya distribusi setelah optimasi pada skenario 1 sebanyak Rp. 350.816,5 atau dibulatkan menjadi Rp. 350.817. Padahal, biaya distribusi sebelum optimasi sebanyak Rp. 645.741, maka model yang dibuat telah sesuai dengan tujuan penelitian. Selanjutnya, dilakukan validasi model berdasarkan rute distribusi.

Algoritma branch and bound menemukan solusi dengan membagi masalah ke dalam sub masalah yang mungkin mengarah ke solusi optimal seperti pada fungsi kendala kemudian memberi batas untuk mendapatkan solusi optimal. Konsep pembuatan model dengan algoritma *Branch and Bound* terdapat pada Gambar 2, sehingga diperoleh hasil berupa bilangan biner dalam bentuk matriks persegi pada Tabel 7.

Tabel 7. Variabel Keputusan Sebagai Hasil Pengolahan Data Skenario 1 di Kabupaten Labuhan Batu Selatan

Nama Toko	Pabrik	Mujur Jaya Aek Nabara	78 Motor Aek Nabara	Star Motor Aek Nabara	Prima Jaya Aek Nabara	Sabar Motor Aek Nabara	Sumber Jaya Kota Pinang	Prima Jaya Kota Pinang	Aekaria Kota Pinang	Mitra Motor Cikampak	Mandiri Motor Cikampak	Sinar Jaya Motor Cikampak	Cakrawala Kencana Motor Cikampak
Pabrik	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Mujur Jaya Aek Nabara	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
78 Motor Aek Nabara	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Star Motor Aek Nabara	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
Prima Jaya Aek Nabara	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabar Motor Aek Nabara	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sumber Jaya Kota Pinang	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Prima Jaya Kota Pinang	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Aekaria Kota Pinang	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Mitra Motor Cikampak	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Mandiri Motor Cikampak	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Sinar Jaya Motor Cikampak	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cakrawala Kencana Motor Cikampak	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

Lalu, urutkan rute distribusi sesuai dengan hasil variabel keputusan yang diperoleh seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Rute Distribusi Skenario 1 di Kabupaten Labuhan Batu Selatan

TOUR 01							Total Demand Tour 1 (Kotak)					
TOUR	Pabrik	Trip 1	Trip 2	Trip 3	Trip 4	Trip 5						
Tour 01	Pabrik	Star Motor Aek Nabara	Prima Jaya Aek Nabara	Star Motor Aek Nabara	Sinar Jaya Cikampak	Pabrik						
DEMAND (Kotak)	0	3	12	0	12	0						
TOUR 02							Total Demand Tour 2 (Kotak)					
TOUR	Pabrik	Trip 1	Trip 2	Trip 3	Trip 4	Trip 5		Trip 6	Trip 7	Trip 8	Trip 9	Trip 10
Tour 02	Pabrik	Sumber Jaya Kota Pinang	Prima Jaya Kota Pinang	Aekaria Kota Pinang	Mitra Motor Cikampak	Cakrawala Kencana Motor Cikampak		Mandiri Motor Cikampak	Mujur Jaya Aek Nabara	78 Motor Aek Nabara	Sabar Motor Aek Nabara	Pabrik
DEMAND (Kotak)	0	10	1	2	2	1		3	12	5	1	0

Sesuai dengan hasil LINGO, jumlah *tour* yang harus dilalui adalah sebanyak dua *tour*. Oleh karena itu, rute distribusi juga harus dikelompokkan berdasarkan *tour*.

Perbandingan Hasil Optimasi Berdasarkan Rute Distribusi dan Kapasitas Kendaraan

Setelah melakukan hasil optimasi, selanjutnya melakukan perbandingan rute distribusi dan kapasitas produk yang dibawa sebelum dan setelah optimasi pada setiap skenario, seperti pada Tabel 9.

Tabel 9. Perbandingan Hasil Berdasarkan Trip dan Demand

Kabupaten	Tour	Sebelum Optimasi		Skenario 1		Skenario 2		Skenario 3		Skenario 4	
		Trip	Demand	Trip	Demand	Trip	Demand	Trip	Demand	Trip	Demand
Labuhan Batu	Tour 1	23	48	12	45	25	93	9	40	33	126
	Tour 2	23	48	16	48	-	-	12	38	-	-
	Tour 3	-	-	-	-	-	-	16	48	-	-
Labuhan Batu Selatan	Tour 1	13	48	5	27	13	64	11	31	9	31
	Tour 2	13	48	10	37	-	-	-	-	-	-
Labuhan Batu Utara	Tour 1	12	48	17	38	17	38	13	34	13	34
Asahan	Tour 1	15	48	16	47	16	47	3	4	18	51
	Tour 2	-	-	-	-	-	-	17	47	-	-
Simalungun dan Deli Serdang	Tour 1	8	48	8	39	8	39	-	-	-	-

Rute distribusi yang optimal dapat dilihat dari jumlah *trip* yang dihasilkan. Semakin sedikit jumlah *trip* yang dihasilkan maka akan semakin optimal karena menunjukkan bahwa total jarak tempuh yang dilalui semakin sedikit. Tabel 9 menunjukkan bahwa di Kabupaten Labuhan Batu Selatan sebelum optimasi terdapat 2 *tour*, dimana jumlah *trip* sebelum optimasi di Labuhan Batu dalam *tour* 1 terdapat 13 *trip* dan pada *tour* 2 juga 13 *trip*. Hal ini menunjukkan bahwa pemilik usaha melakukan distribusi ke tempat yang sama di setiap *tour* tanpa mempertimbangkan rute dan jarak tempuh. Jumlah *trip* setelah optimasi, pada skenario 1 adalah 5 *trip* pada *tour* 1 dan 10 *trip* pada *tour* 2. Hal ini menunjukkan bahwa rute distribusi lebih optimal setelah dioptimasi.

Kapasitas kendaraan adalah jumlah produk yang dibawa sesuai dengan demand yang dibutuhkan seperti pada skenario 1 di Labuhan Batu Selatan, jumlah demand di setiap *tour* adalah 48, padahal jumlah demand setelah melakukan optimasi adalah sebanyak 27 pada *tour* 1 dan 37 pada *tour* 2. Hal ini menunjukkan bahwa pemilik usaha melakukan distribusi ke tempat yang sama di setiap *tour* tanpa mempertimbangkan kapasitas yang dibawa.

Berdasarkan rute distribusi di Kabupaten Labuhan Batu Selatan, jarak tempuh yang dihasilkan oleh skenario 1 lebih optimal dibandingkan dengan sebelum optimasi. Hal ini dikarenakan jumlah *trip* lebih sedikit dibandingkan sebelum optimasi. Selain itu, Tabel 9 memperlihatkan bahwa sebelum optimasi, terdapat 23 *trip* di setiap *tour*, sedangkan setelah optimasi di skenario 2 memperlihatkan bahwa hanya membutuhkan 1 *tour* dengan 13 *trip*. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar kapasitas kendaraan semakin minimum biaya distribusi.

Berdasarkan kapasitas kendaraan, hasil rute distribusi menunjukkan bahwa apabila menggunakan jenis kendaraan yang sama dan jumlah distributor yang sama maka akan menghasilkan jumlah *tour* yang sama. Sebagai contoh di Kabupaten Labuhan Batu Selatan, seperti pada Tabel 10, jumlah distributor dan jenis kendaraan sebelum optimasi dan skenario 1 adalah sama, maka jumlah *tour* yang dihasilkan adalah sama, yaitu 2 *tour*. Namun, apabila menggunakan kendaraan yang berbeda, seperti pada skenario 2, maka terlihat sangat jelas perbedaan daya angkut yaitu sebelum optimasi adalah sebanyak 48 kotak, sedangkan setelah optimasi pada skenario 2 membutuhkan 64 kotak dalam 1 *tour*. Hal ini tentu berdampak pada biaya distribusi yang lebih optimal.

Perbandingan Hasil Optimasi Berdasarkan Biaya Distribusi

Berdasarkan biaya distribusi, perbandingan sebelum dan setelah optimasi di setiap kabupaten dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan Hasil Berdasarkan Biaya Distribusi

Kabupaten	Biaya Awal Sebelum Optimasi Menggunakan Rute Wilayah A (Sebelum Optimasi)	Biaya Setelah Optimasi Menggunakan Rute Wilayah A		Biaya Setelah Optimasi Menggunakan Rute Wilayah B	
	Menggunakan Kendaraan Awal (Sebelum Optimasi)	Menggunakan Kendaraan Awal (Skenario 1)	Menggunakan Kendaraan Alternatif (Skenario 2)	Menggunakan Kendaraan Awal (Skenario 3)	Menggunakan Kendaraan Alternatif (Skenario 4)
Labuhan Batu	Rp. 246.717	Rp. 191.720	Rp. 52.971	Rp. 313.306	Rp. 61.937
Labuhan Batu Selatan	Rp. 645.741	Rp. 350.817	Rp. 123.042	Rp. 200.882	Rp. 123.042
Labuhan Batu Utara	Rp. 158.727	Rp. 20.560	Rp. 11.240	Rp. 19.767	Rp. 10.807
Asahan	Rp. 241.843	Rp. 123.653	Rp. 67.602	Rp. 113.232	Rp. 53.262
Simalungun dan Deli Serdang	Rp. 450.041	Rp. 432.771	Rp. 236.600	Rp. 432.771	Rp. 236.600
Total Biaya	Rp. 1.743.069	Rp. 1.119.521	Rp. 491.456	Rp. 1.079.958	Rp. 485.648
Efisien (%)		35,8%	71,8%	38,0%	72,1%
Total Efisiensi Berdasarkan Jenis Wilayah		108%		110%	
Total Efisiensi Berdasarkan Jenis Kendaraan		79%		144%	

Seperti yang telah dijelaskan pada Tabel 2, rute awal sebelum optimasi menggunakan wilayah A dan kendaraan awal, sama dengan skenario 1. Namun, sebelum optimasi tidak ada optimalisasi dan pemodelan fungsi, sedangkan skenario 1 telah melalui proses optimalisasi, pemodelan fungsi dan pengolahan data menggunakan LINGO. Tabel 10 menunjukkan biaya distribusi sebelum optimasi dan setelah optimasi di setiap kabupaten. Biaya distribusi setelah optimasi dibagi ke dalam 4 skenario yang dibedakan berdasarkan jenis wilayah (Wilayah A dan Wilayah B) serta jenis kendaraan (Kendaraan Awal dan Kendaraan Alternatif). Seperti yang telah dijelaskan pada Tabel 2, berdasarkan jenis wilayah, skenario 1 sama dengan skenario 3 dan skenario 2 sama dengan skenario 4.

Skenario 1 menggunakan wilayah A dengan kendaraan awal. Dari seluruh kabupaten, hanya di kabupaten Labuhan Batu pada skenario 1 yang memiliki biaya distribusi lebih minimum dibandingkan dengan skenario 3. Hal ini dikarenakan jumlah distributor skenario 1 di Kabupaten Labuhan Batu lebih sedikit dibandingkan dengan skenario 3. Pada Kabupaten Simalungun dan Deli Serdang, biaya distribusi skenario 1 dan skenario 3 sama, karena memiliki jumlah *tour* yang sama yaitu hanya satu kali perjalanan. Namun, di kabupaten lainnya, biaya distribusi skenario 1 lebih mahal dibandingkan skenario 3. Pada total biaya distribusi, diketahui bahwa skenario 1 memiliki biaya **distribusi paling mahal diantara semua skenario**.

Skenario 2 menggunakan wilayah A dengan kendaraan Pickup. Dari seluruh kabupaten, hanya di kabupaten Labuhan Batu pada skenario 2 yang memiliki biaya distribusi lebih minimum dibandingkan dengan skenario 4. Hal ini dikarenakan jumlah distributor skenario 2 di Kabupaten Labuhan Batu lebih sedikit dibandingkan dengan skenario 4. Pada Kabupaten Labuhan Batu Selatan serta Simalungun dan Deli Serdang, biaya distribusi skenario 2 dan skenario 4 sama, karena memiliki jumlah *tour* yang sama yaitu hanya satu kali perjalanan. Di Kabupaten Labuhan Batu Utara dan Asahan, skenario 2 memiliki biaya distribusi yang lebih mahal dibandingkan dengan skenario 4. Pada total biaya distribusi, diketahui bahwa biaya distribusi skenario 2 lebih mahal dibandingkan dengan skenario 4.

Skenario 3 menggunakan wilayah B dengan kendaraan Xenia. Dari seluruh kabupaten, hanya di kabupaten Labuhan Batu pada skenario 3 yang memiliki biaya distribusi lebih mahal dibandingkan dengan skenario 1. Hal ini dikarenakan jumlah distributor skenario 1 di Kabupaten Labuhan Batu lebih sedikit dibandingkan dengan skenario 3, sehingga jumlah perjalanannya juga lebih banyak. Pada Kabupaten Simalungun dan Deli Serdang, biaya distribusi skenario 1 dan skenario 3 sama, karena memiliki jumlah *tour* yang sama yaitu hanya satu kali perjalanan. Namun, di kabupaten lainnya, biaya distribusi skenario 3 lebih minimum dibandingkan skenario 1. Pada total biaya distribusi,

diketahui bahwa skenario 3 memiliki biaya distribusi yang lebih mahal dibandingkan dengan skenario 2.

Skenario 4 menggunakan wilayah B dengan kendaraan Pickup. Dari seluruh kabupaten, hanya di kabupaten Labuhan Batu pada skenario 4 yang memiliki biaya distribusi lebih mahal dibandingkan dengan skenario 2. Hal ini dikarenakan jumlah distributor skenario 2 di Kabupaten Labuhan Batu lebih sedikit dibandingkan dengan skenario 4. Pada Kabupaten Labuhan Batu Selatan serta Simalungun dan Deli Serdang, biaya distribusi skenario 2 dan skenario 4 sama, karena memiliki jumlah *tour* yang sama yaitu hanya satu kali perjalanan. Namun, di Kabupaten Labuhan Batu Utara dan Asahan, skenario 4 memiliki biaya distribusi yang lebih minimum dibandingkan dengan skenario 2. Seperti yang telah dijelaskan pada Tabel 2, di Kabupaten Simalungun dan Deli Serdang, skenario 1 sama dengan skenario 3 dan skenario 2 sama dengan skenario 4. Pada total biaya distribusi, diketahui bahwa skenario 4 memiliki biaya distribusi **paling minimum** diantara semua skenario.

Berdasarkan Tabel 10, dapat diketahui bahwa secara keseluruhan, tingkat efisiensi Skenario 4 memperoleh hasil yang tertinggi yaitu 72,1%, disusul dengan Skenario 2 yaitu 71,8%, selanjutnya Skenario 3 sebesar 38% dan Skenario 1 sebesar 35,8%. Maka sebaiknya pemilik usaha menggunakan **Skenario 4** karena memiliki tingkat efisiensi yang paling tinggi dibandingkan dengan semua skenario.

Secara keseluruhan, berdasarkan jenis wilayah menunjukkan bahwa selisih total efisiensi wilayah A dan wilayah B adalah 2,6%. Meskipun hanya 2,6% dapat membuktikan bahwa wilayah B (kumpulan nama distributor yang berasal dari kabupaten yang sama) **lebih efisien** dibandingkan dengan wilayah A (kumpulan nama distributor yang tidak berasal dari kabupaten yang sama).

Secara keseluruhan, berdasarkan jenis kendaraan menunjukkan bahwa selisih total efisiensi kendaraan awal dan kendaraan alternatif adalah 70%. Hal ini menunjukkan bahwa menggunakan kendaraan Pickup jauh **lebih efisien** dibandingkan dengan menggunakan mobil Xenia, bahkan hasil optimasi kendaraan Pickup lebih unggul hingga 2 kali lipat dibandingkan dengan mobil Xenia.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa optimalisasi rute distribusi dengan menggunakan metode eksak sangat membantu dalam meminimalkan biaya distribusi dengan tingkat efisiensi mencapai 72,1% dengan hasil yang riil. Algoritma branch and bound mampu menemukan solusi optimal dengan mencabangkan berbagai masalah dan memberi batas. Sehingga hasil yang diberikan sesuai dengan yang diharapkan yaitu meminimumkan biaya distribusi, dengan kendaraan yang efektif dan mempunyai muatan sesuai dengan *demand*. Berdasarkan jenis wilayah, tingkat efisiensi tertinggi dihasilkan dari wilayah B dengan selisih 2,6%. Berdasarkan jenis kendaraan, tingkat efisiensi tertinggi dihasilkan dari kendaraan alternatif dengan selisih mencapai 70%. Secara keseluruhan, skenario yang memperoleh tingkat efisiensi tertinggi adalah skenario 4 yaitu 72,1%. Dalam penelitian ini, prioritas yang dioptimalkan adalah rute distribusi, jarak tempuh dan kapasitas produk yang dibawa, sehingga menghasilkan biaya distribusi yang paling minimum.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D.M. Haryanti, *Potret UMKM Indonesia: Si Kecil yang Berperan Besar*, 2018.
- [2] P. Toth and D. Vigo, "An Overview of Vehicle Routing Problems," *The Vehicle Routing Problem*, pp. 1-26, 2002.

- [3] R. Saraswati, W. Sutopo, and M. Hisjam, "Penyelesaian Capacitated Vehicle Routing Problem dengan Menggunakan Algoritma Sweep untuk Penentuan Rute Distribusi Koran: Studi Kasus," *Jurnal Manajemen Pemasaran*, vol. 11, no. 2, pp. 41-44, 2017.
- [4] I. Hidayat, Emut, and N.H. Waryanto, "Penerapan Algoritma Genetika pada Penyelesaian Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) untuk Distribusi Surat Kabar Kedaulatan Rakyat di Kabupaten Sleman," *Jurnal Kajian dan Terapan Matematika*, vol. 5, no. 6, 2016.
- [5] V. Nono, M. Sofitra, and D. Wijayanto, "Penyelesaian Capacitated Vehicle Routing Problem dengan Menggunakan Algoritma Sweep untuk Penentuan Rute Distribusi untuk Depo PT. ABC Kubu Raya," *Jurnal Teknik Industri Universitas Tanjungpura*, vol. 4, no. 2, pp. 232-238, 2020.
- [6] S. Kristina, R.D. Sianturi, and R. Husnadi, "Penerapan Model Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) Menggunakan Google OR-Tools untuk Penentuan Rute Pengantaran Obat pada Perusahaan Pedagang Besar Farmasi (PBF)," *Jurnal Telematika*, vol. 15, no. 2, pp. 101-106, 2020.
- [7] E. Nurlathifah, F.K.P. Pudjiantoro, N. Ammar, W. Sutopo, and Y. Yuniaristanto, "Optimalisasi Rute Distribusi BBM dengan Penerapan Capacitated Vehicle Routing Problem dan Excel Solver di Kabupaten Magetan," *Teknoin*, vol. 26, no. 2, pp. 116-126, 2020.
- [8] N.R. Andriyani, "Penentuan Rute Pendistribusian Produk Cat Menggunakan Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) dengan Mempertimbangkan Kapasitas Alat Angkut Berdasarkan Dimensi Kubikasi," Tugas Akhir, Universitas Pasundan, 2019.
- [9] G.M. Sari, R.M. Heryanto and Santoso, "Penentuan Rute Distribusi Menggunakan Model Integer Linear Programming dengan Metode Branch and Bound," *Go-Integratif: Jurnal Teknik Sistem dan Industri*, vol. 1, no. 1, pp. 69-79, 2020.
- [10] S. Rupiah, M. Mulyono, and E. Sugiharti, "Efektivitas Algoritma Clarke-Wright dan Sequential Insertion dalam Penentuan Rute Pendistribusian Tabung Gas LPG," *UNNES Journal of Mathematics*, vol. 6, no. 2, pp. 198-210, 2017.
- [11] C.B.K. Wulandari, "Penentuan Rute Distribusi Menggunakan Metode Nearest Neighbors dan Metode Branch and Bound untuk Meminimumkan Biaya Distribusi di PT. X," *Jurnal Optimasi Teknik Industri*, vol. 2, no. 1, pp. 7-12, 2020.
- [12] M. Widyastiti and I. Kamila, "Model Vehicle Routing Problem dalam Menentukan Banyaknya Rute dan Armada Pengangkutan Sampah di Kota Bogor," *Ekologia: Jurnal Ilmiah Ilmu Dasar dan Lingkungan Hidup*, vol. 19, no. 1, pp. 39-43, 2020.
- [13] T. Marulizar, U. Sinulingga, and E. Nababan, "Optimisasi Program Linear Integer Murni dengan Metode Branch and Bound," in *Talenta Conference Series: Science and Technology (ST)*, vol. 1, no. 2, pp. 175-181. 2018.
- [14] A.M. Mubarak, "Route Optimization For LPG Distribution," Tesis Institut Teknologi Bandung, 2018.
- [15] A. Rachman and A. Suparno, "Alokasi Ruang Operasi dengan Metode Binary Integer Linear Programming di Rumah Sakit PMI Bogor," *Jurnal PASTI*, vol. 8, no. 1, pp. 109-121, 2014.