Perancangan Rute Distribusi Menggunakan Metode Clarke And Wright Savings Algorithm Dan Tabu Search Algorithm Untuk Meningkatkan Service Level Di Pt Xyz

1st Samuel Fernando Rajagukguk
Universitas Telkom
Fakultas Rekayasa Industri
Bandung, Indonesia
samuelfernandor@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Iphov Kumala Sriwana
Universitas Telkom
Fakultas Rekayasa Industri
Bandung, Indonesia
iphovkumala@telkomuniversity.ac.id

3rd Muhammad Nashir Ardiansyah
Universitas Telkom
Fakultas Rekayasa Industri
Bandung, Indonesia
nashirardiansyah@telkomuniversity.ac.id

PT. XYZ merupakan perusahaan manufaktur yang melakukan kegiatan distribusi produk kepada customer di wilayah Jabodetabek. Berdasarkan kondisi operasional perusahaan, proses distribusi saat ini masih dilakukan berdasarkan pengalaman dan keputusan driver tanpa adanya perencanaan rute distribusi yang terstruktur. Kondisi tersebut menyebabkan performansi distribusi perusahaan belum optimal dan target service level distribusi pada beberapa periode belum tercapai. Oleh karena itu, diperlukan perancangan rute distribusi yang lebih terstruktur untuk mendukung peningkatan kinerja distribusi perusahaan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang rute distribusi usulan menggunakan metode Clarke and Wright Savings Algorithm (CWSA) dan Tabu Search Algorithm (TSA) serta menganalisis perbedaan kinerja distribusi antara kondisi aktual dan hasil perancangan. Permasalahan distribusi dimodelkan ke dalam bentuk Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) dengan mempertimbangkan batasan kapasitas kendaraan dan permintaan customer. Evaluasi kinerja distribusi difokuskan pada tingkat keterlayanan customer berdasarkan hasil pembentukan rute distribusi. Validasi dilakukan menggunakan Mean Absolute Error (MAE) dan Root Mean Squared Error (RMSE) untuk mengukur kesenjangan performansi antara kondisi aktual perusahaan dan hasil perancangan rute distribusi usulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem distribusi aktual perusahaan masih belum terstruktur sehingga target service level distribusi belum tercapai secara optimal. Sementara itu, hasil perancangan rute distribusi menggunakan metode CWSA dan TSA mampu menghasilkan rute distribusi yang lebih terstruktur dan feasible sesuai batasan kapasitas kendaraan. Pada model usulan, seluruh customer berhasil dialokasikan ke dalam rute distribusi pada seluruh periode simulasi. Berdasarkan hasil analisis dan validasi yang dilakukan, perancangan rute distribusi usulan dinilai mampu meningkatkan kinerja distribusi perusahaan dan dapat digunakan sebagai alternatif perbaikan sistem distribusi di PT. XYZ.

Kata kunci: distribusi, perancangan rute, service level, Clarke and Wright Savings Algorithm, Tabu Search Algorithm.

I. PENDAHULUAN

Distribusi merupakan salah satu aktivitas penting dalam rantai pasok yang berperan dalam memastikan produk dapat sampai kepada pelanggan dalam jumlah yang sesuai dan kondisi yang baik [1]. Kinerja distribusi yang efektif dan efisien menjadi faktor penting dalam meningkatkan daya saing perusahaan serta kepuasan pelanggan. Salah satu permasalahan yang sering ditemui dalam kegiatan distribusi adalah penentuan rute pengiriman yang optimal. Permasalahan ini dikenal sebagai Vehicle Routing Problem (VRP), yaitu permasalahan optimasi yang bertujuan menentukan rute distribusi terbaik dengan mempertimbangkan berbagai kendala operasional [2]. Salah satu pengembangan VRP yang banyak digunakan pada kasus distribusi nyata adalah Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP), yang mempertimbangkan keterbatasan kapasitas kendaraan dalam proses distribusi [3].

PT XYZ merupakan perusahaan manufaktur yang mendistribusikan produk pasir kucing di wilayah Jabodetabek. Berdasarkan kondisi operasional perusahaan, proses perencanaan rute distribusi masih dilakukan secara manual berdasarkan pengalaman pengemudi tanpa adanya perencanaan rute yang terstruktur. Kondisi tersebut menyebabkan sistem distribusi yang berjalan belum optimal sehingga target service level distribusi pada beberapa periode belum tercapai. Selain itu, perencanaan rute yang belum terstruktur berpotensi menghasilkan jarak tempuh distribusi yang lebih besar dibandingkan kondisi optimal dan menyebabkan pemanfaatan armada yang kurang efisien.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini memodelkan sistem distribusi sebagai Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan dan permintaan pelanggan. Model kemudian diselesaikan menggunakan dua pendekatan, yaitu Clarke and Wright Savings Algorithm (CWSA) dan Tabu Search Algorithm (TSA). Metode CWSA digunakan sebagai pendekatan heuristik untuk membentuk rute distribusi berdasarkan konsep penghematan jarak [4]. Sementara itu, TSA digunakan

sebagai pendekatan metaheuristik yang diawali dengan pembentukan solusi awal menggunakan metode Nearest Neighbor (NN) dan dilanjutkan dengan proses pencarian iteratif untuk memperoleh solusi yang lebih baik. Hasil dari kedua pendekatan kemudian dibandingkan berdasarkan kinerja distribusi yang dihasilkan [5].

Penelitian ini bertujuan menghasilkan usulan rute distribusi yang lebih efisien dengan tetap memperhatikan kapasitas kendaraan yang tersedia. Selain itu, penelitian juga dilakukan untuk mengevaluasi kinerja distribusi berdasarkan service level dan total jarak tempuh yang dihasilkan dari masing-masing metode. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi masukan bagi perusahaan dalam meningkatkan efektivitas dan efisiensi sistem distribusi yang dijalankan.

II. KAJIAN TEORI

A. Transportasi Distribusi

Transportasi distribusi merupakan aktivitas yang bertujuan memindahkan produk dari titik asal menuju pelanggan akhir dengan memperhatikan aspek waktu pengiriman, biaya operasional, dan kapasitas angkut yang tersedia. Aktivitas ini memiliki peran penting dalam menjamin ketersediaan produk sesuai kebutuhan pelanggan sehingga dapat mendukung pencapaian tingkat pelayanan perusahaan. Dalam sistem rantai pasok, transportasi distribusi menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi operasional dan kepuasan pelanggan. Perencanaan transportasi yang kurang baik berpotensi menyebabkan peningkatan biaya distribusi, keterlambatan pengiriman, serta menurunnya kualitas pelayanan. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan rute distribusi yang efektif untuk mendukung kelancaran proses distribusi secara keseluruhan [1].

B. Vehicle Routing Problem (VRP)

Vehicle Routing Problem (VRP) merupakan permasalahan optimasi yang berfokus pada penentuan rute distribusi terbaik dari depot menuju sejumlah pelanggan dengan tujuan meminimalkan biaya distribusi yang umumnya direpresentasikan dalam bentuk jarak tempuh. Permasalahan ini banyak dijumpai pada sistem distribusi nyata yang melibatkan sejumlah pelanggan dengan kebutuhan yang berbeda-beda. Kompleksitas VRP meningkat seiring bertambahnya jumlah pelanggan karena jumlah kombinasi rute yang mungkin terbentuk juga semakin besar. Oleh karena itu, diperlukan metode optimasi untuk memperoleh solusi distribusi yang efisien [2]

C. Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)

Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) merupakan salah satu variasi Vehicle Routing Problem yang mempertimbangkan batasan kapasitas kendaraan dalam proses distribusi. Pada model ini, total permintaan pelanggan yang dilayani dalam satu rute tidak diperbolehkan melebihi kapasitas kendaraan yang digunakan. Dengan mempertimbangkan batasan tersebut, solusi yang dihasilkan menjadi lebih realistis dan dapat diterapkan pada kondisi operasional perusahaan [3]. CVRP banyak digunakan dalam kasus distribusi nyata karena sesuai dengan kondisi operasional perusahaan yang memiliki keterbatasan armada. Dalam penelitian ini, model CVRP digunakan sebagai dasar perumusan masalah untuk menentukan rute distribusi yang optimal dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan dan permintaan pelanggan.

D. Clarke and Wright Savings Algorithm (CWSA)

Clarke and Wright Savings Algorithm (CWSA) merupakan metode heuristik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan rute distribusi dengan pendekatan penghematan jarak (savings). Metode ini bekerja dengan menggabungkan rute-rute awal berdasarkan nilai penghematan terbesar untuk menghasilkan rute yang lebih efisien [4]. Metode ini diawali dengan pembentukan rute individual untuk setiap pelanggan, kemudian dilakukan perhitungan nilai savings untuk setiap pasangan pelanggan. Nilai savings menunjukkan besarnya penghematan jarak yang diperoleh apabila dua pelanggan dilayani dalam satu rute yang sama. Proses penggabungan rute dilakukan berdasarkan nilai savings terbesar dengan tetap memperhatikan batasan yang berlaku, seperti kapasitas kendaraan. Metode ini dikenal mampu menghasilkan solusi yang baik dengan waktu komputasi yang relatif singkat.

E. Tabu Search Algorithm (TSA)

TSA merupakan metode metaheuristik berbasis pencarian iteratif yang menggunakan mekanisme tabu list untuk menghindari pengulangan solusi yang sama, sehingga mampu meningkatkan kualitas solusi dengan mengeksplorasi ruang solusi secara lebih luas [5][6][7]. Metode ini bekerja dengan mengeksplorasi solusi-solusi tetangga (neighborhood solution) dari solusi awal yang telah dibentuk sebelumnya. Dalam proses pencarian, TSA menggunakan mekanisme tabu list untuk menyimpan solusi atau perpindahan tertentu sehingga dapat menghindari pengulangan pencarian pada solusi yang sama. Dengan kemampuan eksplorasi yang lebih luas, TSA mampu keluar dari kondisi optimum lokal dan berpotensi menghasilkan solusi yang lebih baik dibandingkan solusi awal yang digunakan.

F. Service Level

Service level merupakan indikator performansi yang digunakan untuk mengukur kemampuan sistem distribusi dalam memenuhi kebutuhan pelanggan sesuai target pelayanan yang telah ditetapkan. Nilai service level yang tinggi menunjukkan bahwa perusahaan mampu memenuhi permintaan pelanggan secara lebih efektif sehingga kualitas pelayanan distribusi dapat terjaga [1]. Nilai service level yang tinggi menunjukkan bahwa sistem distribusi mampu memberikan tingkat pelayanan yang baik sehingga kebutuhan pelanggan dapat terpenuhi secara efektif [8]. Dalam kegiatan distribusi, service level sering digunakan sebagai ukuran performansi untuk mengevaluasi kualitas pelayanan yang diberikan perusahaan kepada pelanggan berdasarkan target pelayanan yang telah ditetapkan.

III. METODE

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan usulan rute distribusi yang lebih efisien pada PT XYZ melalui pemodelan permasalahan distribusi sebagai Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP). Data yang digunakan dalam penelitian meliputi data pelanggan, jumlah permintaan, kapasitas kendaraan, serta lokasi depot dan pelanggan yang menjadi objek distribusi.

Proses penelitian diawali dengan pengumpulan dan pengolahan data distribusi perusahaan. Data lokasi depot dan pelanggan kemudian dipetakan untuk memperoleh koordinat geografis yang digunakan dalam pembentukan matriks jarak. Matriks jarak tersebut selanjutnya digunakan sebagai input utama dalam pemodelan distribusi. Sebelum digunakan pada tahap pemodelan, seluruh data yang telah dikumpulkan diverifikasi untuk memastikan kesesuaiannya dengan kondisi operasional perusahaan, meliputi data permintaan pelanggan, kapasitas kendaraan, dan lokasi distribusi.

Permasalahan distribusi yang telah terdefinisi kemudian dimodelkan sebagai CVRP dengan tujuan meminimalkan total jarak tempuh distribusi tanpa melanggar batasan kapasitas kendaraan. Penyelesaian model dilakukan menggunakan dua pendekatan yang berbeda, yaitu Clarke and Wright Savings Algorithm (CWSA) dan Tabu Search Algorithm (TSA).

Pada pendekatan CWSA, pembentukan rute dilakukan berdasarkan konsep penghematan jarak antar pelanggan sehingga diperoleh kombinasi rute yang lebih efisien. Sementara itu, pada pendekatan TSA, solusi awal dibangun menggunakan metode Nearest Neighbor sebelum dilakukan proses perbaikan solusi melalui pencarian iteratif dengan memanfaatkan mekanisme tabu list. Proses tersebut memungkinkan eksplorasi solusi yang lebih luas sehingga diharapkan mampu menghasilkan rute distribusi yang lebih baik.

Kinerja kedua metode kemudian dievaluasi dan dibandingkan berdasarkan total jarak tempuh distribusi, jumlah rute yang terbentuk, serta service level yang dihasilkan. Selain itu, validasi dilakukan menggunakan Mean Absolute Error (MAE) dan Root Mean Squared Error (RMSE) sebagai ukuran kesenjangan performansi antara kondisi distribusi aktual dan kondisi distribusi usulan berdasarkan pencapaian service level pada setiap periode pengamatan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dalam penelitian ini diawali dengan proses pengumpulan data distribusi untuk informasi yang dibutuhkan dalam perancangan rute distribusi. Data diperoleh dari catatan distribusi aktual perusahaan, hasil observasi lapangan, serta rekap penjualan periode Januari hingga Oktober 2024. Data yang digunakan meliputi lokasi pelanggan, jumlah permintaan (demand), serta data armada dan sistem distribusi.

Data lokasi pelanggan digunakan untuk menentukan node dalam permasalahan distribusi. Setiap pelanggan memiliki koordinat geografis yang digunakan untuk menghitung jarak antar lokasi. Perhitungan jarak dilakukan menggunakan layanan Open Source Routing Machine (OSRM) sehingga jarak yang diperoleh merepresentasikan kondisi aktual jaringan jalan.

TABEL 1
Data Lokasi Pelanggan

Node	Lokasi	Latitude	Longitude
0	PT. Karya Sista Prakasa	-6.2622796	106.705219
1	Ada Pet Shop	-6.45360847	106.9715988
2	Ahz Pet Care Online	-6.446138839	106.8032873
3	Alesha Pet Shop	-6.278988977	106.8722767
4	Alifa Pet Shop	-6.113635177	106.52347
5	Arf Jaya	-6.257142648	106.5632486
6	Best Cat Clinic and Care	-6.588490617	106.7546294
8	Chaniago Pet Shop	-6.163599298	106.6335399
10	CS Pet Shop	-6.152008516	106.858732
11	Arsesa Aquarium Petshop	-6.18261487	106.6651967
13	Extra PetShop	-6.309207238	106.9075036
14	F2 Pet One	-6.13673315	106.7340973
15	Hachiko Cat Hotel & Salon	-6.269614139	106.9576817
17	Jungkook Pet Shop	-6.347500614	106.9562509
19	Kartika Pet Shop	-6.538941613	106.72499
20	Kitto Pet Store	-6.15287796	107.0093038
21	Kucing Oren Pet Shop	-6.229312937	106.8743724
22	Mbull Pet Shop	-6.211050006	106.8938
23	Me Vet (Drh. Yanti)	-6.306074765	106.8300852
24	Mickey Pet Shop	-6.400549187	106.7729516
25	Moezza Pet Shop	-6.116927046	106.9359032
26	Momo Cat Pet Shop	-6.169607266	106.44945
27	MUEZA PETSHOP	-6.229287229	106.68935
28	Nikimura Pet Shop	-6.139288788	106.9550911
29	Nur Pet Shop	-6.220374413	106.9048335
31	Onel Pets	-6.236936591	106.6283212
32	Papa Pet Shop	-6.205583543	106.8544094
34	Pet Huis Veterinary Practice	-6.304364686	106.7947131
35	Petjoy Pet Shop	-6.247417144	107.0897852
36	Petshop Domestik'Cat	-6.106391971	106.7696419

37	Petshop Fazzar Makmur	-6.181368552	106.5720911
38	Petshop Kuu Bintaro	-6.259557295	106.7570901
39	Puppy Daddy Pet Shop	-6.233919856	106.6339692
41	Putra Yudha Pet Shop	-6.233313901	107.009255
42	Rahayu Pet Shop	-6.220285572	107.0649696
43	Salanova Pet Shop Center.	-6.420585377	106.7834756
44	Tagimano Pet Shop	-6.259083691	106.7427085
45	Toko Berkah Adi	-6.12913273	106.4312609
46	Toko Rafli	-6.268440992	106.9959096
47	Vida Pet Shop and Vet	-6.314958667	107.0024659
49	Zulu Pet Shop	-6.355170673	106.8505169

Selain itu, data demand digunakan untuk mengetahui kebutuhan pengiriman ke setiap pelanggan selama periode penelitian. Data ini kemudian dikonversi ke dalam satuan yang seragam agar dapat digunakan dalam proses perhitungan. Ringkasan data demand pelanggan ditampilkan pada Gambar 1.

NodeID	Customer	Demand (5L)	Demand (10L)	Demand (25L)	Demand Total (L)
1	Ada Pet Shop	60	0	0	300
2	Ahz Pet Care Online	12	160	0	1660
3	Alesha Pet Shop	0	250	0	2500
4	Alifa Pet Shop	0	35	15	725
5	Arf Jaya	672	290	150	10010
6	Best Cat Clinic and Care	0	0	15	375
7	Bumen Pet Shop	1	1	1	40
8	Chaniago Pet Shop	30	15	0	300
9	Chimot Pet Shop	120	90	0	1500
10	CS Pet Shop	40	11	0	310
11	Arsesa Aquarium Petshop	168	15	0	990
12	Dre Pet Shop	70	20	0	550
13	Extra PetShop	30	30	0	450
14	F2 Pet One	0	60	0	600
15	Hachiko Cat Hotel & Salon	0	60	15	975
16	Hans Pet Shop	180	60	70	3250
17	Jungkook Pet Shop	60	30	30	1350
18	Kandara Veterinary Care	10	10	8	350
19	Kartika Pet Shop	780	0	0	3900
20	Kitto Pet Store	120	0	0	600
21	Kucing Oren Pet Shop	60	30	0	600
22	Mbull Pet Shop	10	0	15	425
23	Me Vet (Drh. Yanti)	60	30	0	600
24	Mickey Pet Shop	60	0	0	300
25	Moezza Pet Shop	180	0	0	900
26	Momo Cat Pet Shop	120	0	0	600
27	MUEZA PETSHOP	50	30	0	550
28	Nikimura Pet Shop	60	25	8	750
29	Nur Pet Shop	0	854	0	8540
30	Oggy Pet Shop	0	1000	0	10000
31	Onel Pets	0	30	0	300
32	Papa Pet Shop	360	200	0	3800
33	Parung Panjang Pet Shop	960	770	0	12500
34	Pet Huis Veterinary Practice	0	80	0	800
35	Petjoy Pet Shop	0	200	0	2000
36	Petshop Domestik'Cat	56	2	0	300
37	Petshop Fazzar Makmur	480	30	30	3450
38	Petshop Kuu Bintaro	120	80	0	1400
39	Puppy Daddy Pet Shop	0	0	15	375
40	Push Ham Pet Shop	360	0	0	1800
41	Putra Yudha Pet Shop	50	45	15	1075
42	Rahayu Pet Shop	150	0	0	750
43	Salanova Pet Shop Center.	1500	1000	100	20000
44	Tagimano Pet Shop	210	105	0	2100
45	Toko Berkah Adi	0	0	15	375
46	Toko Rafli	60	30	0	600
47	Vida Pet Shop and Vet	360	180	0	3600
48	Yasyifa Petshop	300	0	0	1500
49	Zulu Pet Shop	60	0	0	300

GAMBAR 1
Data Demand Pelanggan

Selanjutnya, data armada digunakan untuk mengetahui kapasitas kendaraan sebagai batasan utama dalam model distribusi. Informasi ini menjadi penting dalam memastikan bahwa setiap rute yang dihasilkan tidak melampaui kapasitas kendaraan yang tersedia.

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan pada tahap sebelumnya, dilakukan proses pengolahan data untuk membentuk model optimasi distribusi. Tahap ini bertujuan untuk mengubah data mentah menjadi input yang dapat digunakan dalam pemodelan Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP).

Proses diawali dengan pengolahan data demand untuk memastikan kesesuaian satuan permintaan terhadap kapasitas kendaraan. Selanjutnya, dilakukan pembangunan matriks jarak berdasarkan koordinat pelanggan dan depot. Matriks ini merepresentasikan jarak antar lokasi yang menjadi dasar dalam proses penentuan

rute distribusi. Contoh matriks jarak ditampilkan pada Tabel 2.

TABEL 2
Matriks Jarak

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	54.7	37.7	26.5	38.7	30.9	52	20.3
1	50.9	0	32.3	34.6	80.3	66.1	39.5	60.2
2	35.4	32.1	0	25.7	64.7	50.6	25.6	43
3	25.7	35	23.4	0	55.8	49.6	46.2	26.7
4	41.1	84.4	67.3	53.8	0	22.5	75.6	29.9
5	29.6	72.9	55.8	49.6	23.1	0	64.1	29.6
6	45.6	39	26.1	45.9	74.2	58.8	0	60.2
7	21.2	55.7	40.5	24.5	33	30.2	59.7	0

Setelah matriks jarak terbentuk, permasalahan dimodelkan sebagai CVRP dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan dan permintaan pelanggan. Model ini memastikan bahwa setiap pelanggan dikunjungi tepat satu kali tanpa melebihi kapasitas kendaraan.

Untuk menyelesaikan model tersebut, digunakan dua metode, yaitu Clarke and Wright Savings Algorithm (CWSA) dan Tabu Search Algorithm (TSA). Metode CWSA digunakan untuk membentuk solusi awal berdasarkan konsep penghematan jarak, sedangkan metode TSA digunakan untuk meningkatkan kualitas solusi melalui proses pencarian iteratif.

Berdasarkan model yang telah dibentuk pada tahap sebelumnya, dilakukan perancangan rute distribusi menggunakan dua pendekatan, yaitu Clarke and Wright Savings Algorithm (CWSA) dan Tabu Search Algorithm (TSA). Kedua metode ini digunakan untuk menghasilkan solusi rute distribusi yang optimal dengan mempertimbangkan batasan kapasitas kendaraan dan permintaan pelanggan.

Penerapan metode CWSA diawali dengan perhitungan nilai savings untuk setiap pasangan pelanggan berdasarkan matriks jarak yang telah dibangun. Nilai savings tersebut kemudian diurutkan dari nilai terbesar hingga terkecil untuk menentukan prioritas penggabungan rute. Proses penggabungan dilakukan secara bertahap dengan tetap memperhatikan batasan kapasitas kendaraan, sehingga diperoleh solusi awal rute distribusi yang efisien.

Pada pendekatan TSA, solusi awal terlebih dahulu dibentuk menggunakan metode Nearest Neighbor. Selanjutnya, proses pencarian iteratif dilakukan untuk mengeksplorasi solusi tetangga (neighborhood solution) dengan memanfaatkan mekanisme tabu list untuk menghindari pengulangan solusi yang sama, sehingga proses pencarian dapat menjangkau ruang solusi yang lebih luas dan menghasilkan rute distribusi yang lebih optimal.

Hasil perancangan rute distribusi menunjukkan bahwa kedua metode mampu menghasilkan solusi yang memenuhi seluruh batasan kapasitas kendaraan dan permintaan pelanggan. Metode Clarke and Wright Savings Algorithm menghasilkan total jarak tempuh sebesar 8593 km dengan enam rute distribusi, sedangkan Tabu Search Algorithm menghasilkan total jarak tempuh sebesar 8548 km dengan jumlah rute yang sama. Hasil tersebut menunjukkan bahwa TSA mampu memberikan solusi yang lebih efisien dari sisi jarak tempuh dibandingkan CWSA.

Sebagai ilustrasi hasil perancangan rute distribusi, Tabel 3 dan Tabel 4 menampilkan contoh rute yang dihasilkan oleh metode CWSA dan TSA pada periode Januari.

TABEL 3
Hasil Rute CWSA Januari

Rute	Urutan Kunjungan	Total Demand (L)	Jumlah Trip	Jarak Tempuh (km)
1	2 → 9	830	1	99.32
2	14 → 8 → 11	900	1	61.16
3	13 → 22	875	1	77.85
4	17	975	1	79.07
5	19	1950	2	181.94
6	21 → 24	900	1	82.38
7	28	750	1	94.00
8	33	1200	2	123.46
9	44	600	1	12.42
10	47	1200	2	161.61

TABEL 4
Hasil Rute TSA Januari

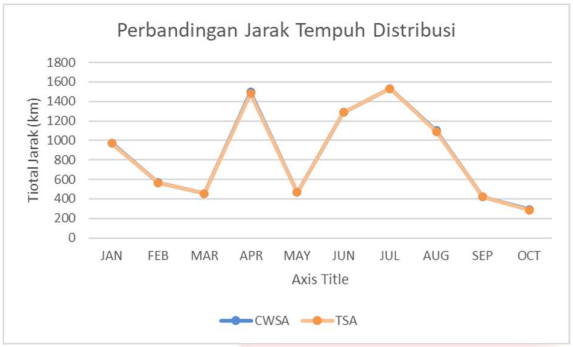
Rute	Urutan Kunjungan	Total Demand (L)	Jumlah Trip	Jarak Tempuh (km)
1	44	600	1	12.42
2	11 → 8 → 14	900	1	58.24
3	22 → 13	875	1	76.97
4	2 → 9	830	1	99.32
5	3	1200	2	123.46
6	21 → 24	900	1	82.38
7	17	975	1	79.07
8	47	1200	2	161.61
9	28	750	1	94.00
10	19	1950	2	181.94

Perbandingan kinerja kedua metode berdasarkan total jarak tempuh, jumlah rute, dan service level distribusi disajikan pada Tabel 5.

TABEL 5
Perbandingan Metode

Metode	Total Jarak (km)	Jumlah Rute	Service Level (%)
CWSA	8593	6	100
TSA	8548	6	100

Selain itu, visualisasi perbandingan jarak tempuh distribusi pada setiap periode ditampilkan pada Gambar 2.



GAMBAR 2
Grafik Perbandingan Jarak

Berdasarkan hasil yang diperoleh, kedua metode mampu menghasilkan rute distribusi yang memenuhi seluruh kebutuhan pelanggan. Service level yang dihasilkan oleh metode CWSA maupun TSA mencapai 100%, yang menunjukkan bahwa seluruh pelanggan berhasil dialokasikan ke dalam rute distribusi yang feasible tanpa melanggar batasan kapasitas kendaraan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model distribusi usulan mampu memenuhi kebutuhan distribusi pelanggan secara menyeluruh sesuai karakteristik permasalahan CVRP.

Meskipun kedua metode menghasilkan service level sebesar 100%, metode TSA mampu menghasilkan total jarak tempuh yang lebih rendah dibandingkan CWSA. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme pencarian iteratif yang diterapkan pada TSA mampu mengeksplorasi ruang solusi secara lebih luas sehingga diperoleh kombinasi rute yang lebih efisien. Dengan demikian, TSA memberikan kinerja distribusi yang lebih baik dari sisi efisiensi perjalanan tanpa mengurangi tingkat keterlayanan pelanggan. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme pencarian iteratif pada TSA mampu menghasilkan solusi yang lebih efisien dibandingkan pendekatan konstruktif yang digunakan pada CWSA.

Setelah diperoleh hasil rute distribusi, dilakukan tahap verifikasi untuk memastikan bahwa solusi yang dihasilkan telah memenuhi seluruh batasan model. Verifikasi dilakukan terhadap tiga aspek utama, yaitu pemenuhan kapasitas kendaraan, kunjungan pelanggan, dan pola rute distribusi.

Verifikasi kapasitas kendaraan menunjukkan bahwa seluruh rute yang dihasilkan tidak melebihi kapasitas kendaraan yang telah ditetapkan.

TABEL 6
Verifikasi Kapasitas Kendaraan

Metode	Pelanggaran Kapasitas	Keterangan
CWSA	Tidak ada	Seluruh rute memenuhi batasan kapasitas
TSA	Tidak ada	Seluruh rute memenuhi batasan kapasitas

Selanjutnya, verifikasi kunjungan pelanggan menunjukkan bahwa seluruh pelanggan telah dilayani tanpa adanya pengulangan atau pelanggan yang terlewat.

TABEL 7
Verifikasi Kunjungan Pelanggan

Metode	Pelanggan Terlayani	Keterangan
CWSA	100%	Seluruh pelanggan terlayani
TSA	100%	Seluruh pelanggan terlayani

Selain itu, verifikasi pola rute distribusi menunjukkan bahwa setiap rute dimulai dan berakhir di depot sesuai dengan karakteristik permasalahan CVRP.

TABEL 8
Verifikasi Pola Rute Distribusi

Metode	Depot - Customer - Depot	Keterangan
CWSA	Terpenuhi	Seluruh rute kembali ke depot
TSA	Terpenuhi	Seluruh rute kembali ke depot

Secara keseluruhan, hasil verifikasi menunjukkan bahwa seluruh rute distribusi yang dihasilkan telah memenuhi batasan operasional yang digunakan pada model CVRP. Tidak terdapat pelanggaran kapasitas kendaraan pada seluruh rute distribusi yang terbentuk. Selain itu, seluruh pelanggan berhasil dikunjungi tanpa adanya pelanggan yang terlewat maupun kunjungan berulang di luar ketentuan yang berlaku. Seluruh rute juga memenuhi pola distribusi depot-customer-depot sehingga solusi yang dihasilkan dinyatakan feasible dan layak untuk diterapkan pada sistem distribusi perusahaan.

Setelah dipastikan bahwa seluruh rute distribusi yang dihasilkan telah memenuhi batasan dan karakteristik model CVRP, dilakukan tahap validasi untuk mengevaluasi efektivitas sistem distribusi usulan dibandingkan dengan kondisi distribusi aktual perusahaan. Validasi pada penelitian ini tidak ditujukan untuk mengukur akurasi prediksi model, melainkan untuk menilai sejauh mana perancangan rute distribusi yang diusulkan mampu meningkatkan pencapaian service level perusahaan. Oleh karena itu, validasi dilakukan melalui analisis kesenjangan service level antara kondisi aktual dan kondisi usulan menggunakan ukuran Mean Absolute Error (MAE) dan Root Mean Squared Error (RMSE).

TABEL 9
Hasil Validasi Service Level

Parameter	Nilai
MAE	20.7
RMSE	20.91

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai MAE sebesar 20,7 dan RMSE sebesar 20,91. Nilai MAE sebesar 20,7 menunjukkan bahwa rata-rata perbedaan pencapaian service level antara kondisi aktual dan kondisi usulan berada pada kisaran 20,7%. Sementara itu, nilai RMSE

sebesar 20,91 mengindikasikan bahwa perbedaan tersebut terjadi secara relatif konsisten selama periode pengamatan. Hasil ini menunjukkan bahwa model distribusi usulan mampu memberikan tingkat keterlayanan yang lebih baik dibandingkan sistem distribusi aktual perusahaan. Sementara itu, nilai RMSE sebesar 20,91 menunjukkan bahwa perbedaan kinerja distribusi tersebut terjadi secara konsisten selama periode pengamatan. Hasil ini mengindikasikan bahwa sistem distribusi usulan yang dihasilkan melalui metode CWSA dan TSA memiliki tingkat keterlayanan pelanggan yang lebih baik dibandingkan kondisi distribusi aktual perusahaan.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menghasilkan usulan rute distribusi pada PT XYZ melalui penerapan metode Clarke and Wright Savings Algorithm (CWSA) dan Tabu Search Algorithm (TSA) dalam kerangka Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP). Berdasarkan hasil pengujian, kedua metode mampu membentuk rute distribusi yang sesuai dengan batasan operasional yang telah ditetapkan, meliputi kapasitas kendaraan, keterlayanan pelanggan, serta pola perjalanan distribusi yang diawali dan diakhiri di depot.

Perbandingan hasil menunjukkan bahwa metode TSA memberikan performansi yang lebih baik dibandingkan metode CWSA dari sisi efisiensi jarak tempuh. Total jarak distribusi yang dihasilkan oleh TSA sebesar 8548 km, sedangkan CWSA menghasilkan total jarak sebesar 8593 km. Dengan jumlah rute yang sama, TSA mampu memberikan penghematan jarak sebesar 45 km dibandingkan metode CWSA.

Evaluasi tingkat pelayanan menunjukkan bahwa kedua metode mampu mencapai service level sebesar 100%, yang mengindikasikan bahwa seluruh kebutuhan distribusi pelanggan dapat dipenuhi melalui rute yang terbentuk. Hasil validasi juga menunjukkan nilai MAE sebesar 20,7 dan RMSE sebesar 20,91, yang menggambarkan adanya perbedaan performansi antara sistem distribusi aktual dan sistem distribusi hasil perancangan. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode optimasi rute distribusi dapat menjadi alternatif solusi untuk meningkatkan efektivitas sistem distribusi serta mendukung pencapaian target pelayanan perusahaan. Selain mampu meningkatkan tingkat keterlayanan pelanggan, sistem distribusi usulan juga memberikan efisiensi perjalanan yang lebih baik dibandingkan kondisi distribusi aktual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode optimasi rute distribusi dapat menjadi alternatif solusi yang efektif untuk mendukung peningkatan kinerja distribusi perusahaan.

REFERENSI

[1] S. Chopra and P. Meindl, Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation. 6th Edition., Pearson Education, 2016.

[2] G. Laporte, Fifty Years of Vehicle Routing. Transportation Science, Informs, 2009.

[3] G. B. Dantzig and J. H. Ramser, "The Truck Dispatching Problem," *Management Science,* 1959.

[4] G. Clarke and J. W. Wright, "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points," *Operations Research,* 1964.

[5] F. Glover, "Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence," *Computers & Operations Research,* 1986.

[6] F. Glover and M. Laguna, Tabu Search, Springer, 1997.

[7] A. Løkketangen and F. Glover, *Mixed Integer Programming Problems Using Tabu Search,* 1998.

[8] R. H. Ballou, Business Logistics/Supply Chain Management: Planning, Organizing, and Controlling the Supply Chain. 5th Edition, Pearson Prentice Hall, 2004.