

Penentuan Rute Distribusi Produk AMDK Menggunakan Pengembangan Algoritma *Clarke and Wright Savings* di PT SMN

Nur Muhammad Yusuf^{1*}, Sukoyo²

^{1,2} Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10, Lb. Siliwangi, Coblong, Bandung, 40116, Indonesia

Email: nmyucup@gmail.com¹, sukoyo@itb.ac.id²

Abstrak

PT SMN merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang produksi, distribusi, dan pemasaran produk Air Minum dalam Kemasan (AMDK). Rute distribusi produk AMDK harus dioptimasi agar biaya distribusi lebih murah. Pendekatan optimasi yang digunakan pada penelitian ini adalah pendekatan heuristik. Algoritma *Clarke and Wright Savings* dan *Sequential Insertion* merupakan algoritma yang menggunakan pendekatan heuristik. Pada penelitian ini, algoritma *Clarke and Wright Savings* digunakan sebagai algoritma acuan dalam penyelesaian permasalahan dan *Sequential Insertion* digunakan sebagai pembandingan performansi dari algoritma acuan. Penelitian ini bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan distribusi di PT SMN dengan menggunakan pengembangan algoritma *Clarke and Wright Savings*. Pengembangan algoritma dilakukan untuk mengakomodasi kendala waktu operasional distribusi dan mengubah cara pemilihan titik pelanggan ke dalam rute menggunakan konsep *head* dan *tail*. Penyelesaian permasalahan penentuan rute distribusi produk AMDK di PT SMN menghasilkan biaya yang lebih rendah dibandingkan kondisi eksisting dengan perbaikan biaya distribusi sebesar 27,56% yaitu Rp689.332 dalam seminggu. Hasil pengembangan algoritma juga menghasilkan biaya yang lebih rendah dibandingkan solusi algoritma acuan *Clarke and Wright Savings* dan *Sequential Insertion*.

Kata kunci: *vehicle routing problem, capacitated vehicle routing problem, algoritma Clarke and Wright Savings*

Abstract

PT SMN is one of the companies engaged in the production, distribution, and marketing of bottled drinking water products. The distribution route of bottled drinking water products must be optimized to reduce distribution costs. The optimization approach used in this research is a heuristic approach. The *Clarke and Wright Savings* and *Sequential Insertion* algorithms are heuristic algorithms used in this study. In this research, the *Clarke and Wright Savings* algorithm is used as the reference algorithm for problem-solving, and *Sequential Insertion* is used to compare the performance of the reference algorithm. The aim of this study is to solve the distribution problems at PT SMN by developing the *Clarke and Wright Savings* algorithm. The algorithm development is carried out to accommodate operational time constraints in distribution and change the way customer points are selected in routes using the *head* and *tail* concept. Solving the problem of determining the distribution routes of bottled drinking water products at PT SMN results in lower costs compared to the existing conditions, with a distribution cost improvement of 27.56%, which is Rp689,332 per week. The results of algorithm development also yield lower costs compared to the solutions of the reference algorithms, *Clarke and Wright Savings*, and *Sequential Insertion*.

Keywords: *vehicle routing problem, capacitated vehicle routing problem, Clarke and Wright Savings algorithm*

1. Pendahuluan

PT SMN merupakan perusahaan yang bergerak di bidang produksi, distribusi, dan pemasaran Air Minum dalam Kemasan (AMDK). Distribusi produk PT SMN ke pelanggannya harus ditentukan rutenya sehingga biaya distribusi yang dikeluarkan menjadi lebih murah. Penentuan rute bertujuan untuk menghasilkan distribusi yang efisien. Penentuan rute distribusi disebut sebagai *Vehicle Routing Problem* (VRP) atau permasalahan rute kendaraan.

Salah satu varian VRP adalah *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP). CVRP merupakan permasalahan VRP yang mempertimbangkan kendala

kapasitas kendaraan. CVRP dapat diselesaikan dengan pendekatan eksak, heuristik, dan metaheuristik. Pendekatan eksak tidak cocok digunakan pada permasalahan yang kompleks karena akan membutuhkan waktu komputasi yang cukup lama. Pendekatan heuristik lebih cocok untuk digunakan karena penyelesaiannya lebih cepat dan hasil yang diperoleh cukup baik. Salah satu pendekatan heuristik yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan CVRP yaitu algoritma *Clarke and Wright Savings* dengan kendala kapasitas.

Algoritma *Clarke and Wright Savings* telah umum digunakan pada beberapa penelitian. Penelitian menggunakan algoritma *Clarke and Wright Savings* yang

* Penulis korespondensi

mempertimbangkan kendala kapasitas telah dilakukan untuk memecahkan permasalahan penentuan rute (Rupiah, et al., 2017). Selain itu, algoritma *Clarke and Wright Savings* juga dapat ditemukan pada penelitian lain yang tidak hanya mempertimbangkan kendala kapasitas, melainkan juga mempertimbangkan kendala waktu untuk memecahkan permasalahan penentuan rute (Octora et al., 2017). Dalam kedua penelitian tersebut, masalah penentuan rute diselesaikan menggunakan algoritma *Clarke and Wright Savings* dan algoritma *Sequential Insertion*. Algoritma *Sequential Insertion* menghasilkan hasil biaya distribusi yang lebih murah dibandingkan dengan algoritma *Clarke and Wright Savings*.

Penggunaan algoritma *Clarke and Wright Savings* juga ditemukan dalam penelitian lain (Meilani & Iswara, 2018). Penelitian tersebut menyelesaikan permasalahan penentuan rute distribusi LPG. Setelah menentukan rute menggunakan algoritma *Clarke and Wright Savings*, rute diperbaiki dengan algoritma lain yaitu algoritma *Branch and Bound*. Penelitian ini membuktikan hasil biaya yang lebih murah dibandingkan dengan kondisi aktual perusahaan.

Penelitian penentuan rute distribusi produk AMDK menggunakan algoritma *Clarke and Wright Savings* juga dapat ditemukan pada penelitian lain (SM et al., 2017). Penelitian menggunakan algoritma *Clarke and Wright Savings* untuk menyelesaikan permasalahan distribusi produk makanan juga telah dilakukan sebelumnya (Arifudin et al., 2017). Kedua penelitian tersebut membandingkan penggunaan metode *saving matrix* dan algoritma *Clarke and Wright Saving*. Hasilnya menunjukkan bahwa algoritma *Clarke and Wright Saving* dapat menghasilkan hasil biaya yang lebih murah dibandingkan kondisi eksisting dan metode *saving matrix*.

Pada awalnya, algoritma *Clarke and Wright Savings* hanya mempertimbangkan kendala kapasitas kendaraan saja. Namun, pada kondisi nyata distribusi juga dibatasi oleh waktu operasional distribusi. Perusahaan telah menetapkan batas waktu operasional distribusi sesuai dengan jam kerja. Selain itu, algoritma *Clarke and Wright Savings* menentukan urutan rute dengan mempertimbangkan nilai penghematan dari pasangan dua titik pelanggan saja, tanpa mempertimbangkan nilai penghematan terhadap titik-titik pelanggan yang telah dimasukkan sebelumnya. Pendekatan ini perlu diperbaiki ulang menggunakan algoritma lain.

Algoritma *Clarke and Wright Savings* perlu dikembangkan agar dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan di PT SMN. Pengembangan algoritma dilakukan untuk mengakomodasi kendala waktu operasional distribusi dan mengubah proses penentuan rute dengan cara mempertimbangkan nilai penghematan terhadap titik-titik yang telah dimasukkan ke dalam rute sementara yang terbentuk menggunakan konsep *head* dan *tail*. *Head*

dan *tail* merupakan konsep memilih titik dengan cara menentukan pasangan titik sebagai kepala (*head*) dan ekor (*tail*) awal, kemudian menambah titik baru sebagai *head* atau *tail* dan mempertahankan titik yang sudah terpilih sebelumnya. Selain itu, pada penelitian ini juga dilakukan perbandingan biaya distribusi usulan dengan kondisi eksisting serta perbandingan biaya distribusi usulan dengan biaya distribusi hasil algoritma acuan *Clarke and Wright Savings* dan algoritma *Sequential Insertion*.

2. Metode Penelitian

2.1. Karakteristik Sistem

Objek pada penelitian ini adalah pusat distribusi PT SMN yang terletak di Ngadirojo, Wonogiri, Jawa Tengah. PT SMN beroperasi selama lima hari dalam satu minggu dan penelitian ini hanya akan menyelesaikan permasalahan distribusi PT SMN selama satu minggu. PT SMN memiliki dua unit kendaraan yaitu *truck* dan *pickup* masing-masing memiliki kapasitas 6500 kg dan 2000 kg. Masing-masing kendaraan memiliki batas waktu operasional distribusi selama 8 jam perhari mulai dari pukul 08:00 sampai pukul 16:00. Kedua kendaraan memiliki biaya tetap yang dihitung sebagai upah sopir dan kenek sebesar Rp150.000 untuk setiap kendaraan. Masing-masing kendaraan juga memiliki biaya variabel yang diestimasi dari biaya bahan bakar kendaraan sebesar Rp1.046/km untuk *truck* dan Rp1.429/km untuk *pickup*.

PT SMN memiliki enam jenis produk AMDK yaitu *cup* 120 ml, *cup* 220 ml, botol 300 ml, botol 600 ml, botol 1500 ml, dan galon 19 liter. Masing-masing jenis produk tersebut dikonversikan ke satuan berat yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis produk PT SMN dan konversi beratnya

No	Nama produk	Jumlah produk (pcs/unit)	Berat satuan (kg/pcs)	Berat kemasan (kg/unit)	Berat (kg/unit)
1	Cup 120 ml	45	0,12	0,3	5,70
2	Cup 220 ml	48	0,22	0,3	10,86
3	Botol 330 ml	24	0,33	0,3	8,22
4	Botol 600 ml	18	0,60	0,3	11,10
5	Botol 1500 ml	12	1,50	0,3	18,30
6	Galon 19 liter	1	19,00	1	20,00

Data permintaan pelanggan PT SMN selama lima hari berturut-turut yang telah dikonversi ke dalam satuan berat ditunjukkan pada Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6.

Tabel 2. Data permintaan pelanggan hari ke-1

Kode pelanggan	Kode alamat	Jumlah permintaan (kg)
M001	A	1481
M002	B	727
M003	C	985
M004	D	200
M005	E	910
M006	F	540
M007	G	514

Tabel 3. Data permintaan pelanggan hari ke-2

Kode pelanggan	Kode alamat	Jumlah permintaan (kg)
M008	H	810
M009	I	315
M010	J	400
M011	K	305
M012	L	2457
M013	M	167
M014	N	122
M015	O	66

Tabel 4. Data permintaan pelanggan hari ke-3

Kode pelanggan	Kode alamat	Jumlah permintaan (kg)
M016	P	5766
M017	Q	387
M018	R	153

Tabel 5. Data permintaan pelanggan hari ke-4

Kode pelanggan	Kode alamat	Jumlah permintaan (kg)
M019	S	967
M020	T	1220
M021	U	1120
M022	V	2758
M023	W	1819
M001	A	109

Tabel 6. Data permintaan pelanggan hari ke-5

Kode pelanggan	Kode alamat	Jumlah permintaan (kg)
M024	X	1092
M025	Y	578
M008	H	692
M026	Z	355
M010	J	255
M027	AA	420
M028	AB	1380
M029	AC	80
M030	AD	257

2.2. Model Matematis

Permasalahan rute distribusi produk di PT SMN dapat diilustrasikan pada Gambar 1 dan diformulasikan menjadi model sebagai berikut.

a. Indeks

Tabel 7. Notasi indeks

Notasi	Deskripsi
N	$\{0,1,2,3, \dots, n\}$, himpunan seluruh titik pelanggan. 0 untuk depot dan 1 sampai n untuk pelanggan yang dilayani
K	$\{0,1,2, \dots, k\}$, himpunan kendaraan berbagai tipe kapasitas

b. Parameter

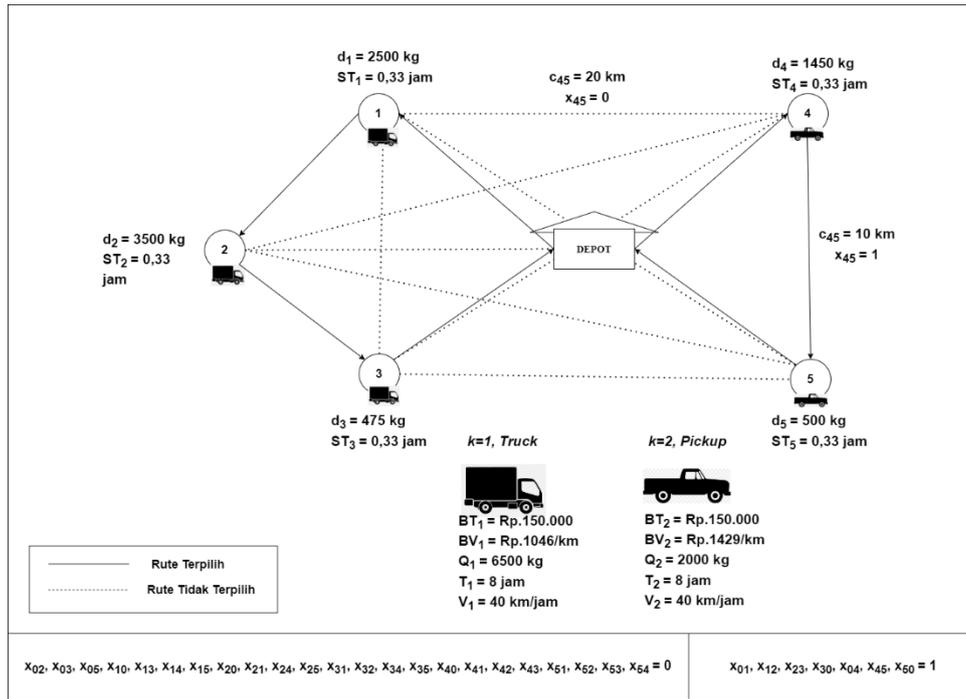
Tabel 8. Notasi parameter

Notasi	Satuan	Deskripsi
BT_k	Rp	biaya tetap kendaraan k untuk $k \in K$
BV_k	Rp/km	biaya variabel jarak tempuh kendaraan k untuk $k \in K$
c_{ij}	km	jarak tempuh dari titik i ke titik j untuk $i, j \in N$
d_i	kg	permintaan pelanggan i untuk $i \in N$
Q_k	kg	kapasitas kendaraan k untuk $k \in K$
T_k	jam	waktu operasional distribusi kendaraan k untuk $k \in K$
V_k	km/jam	kecepatan rata-rata kendaraan k untuk $k \in K$
ST_i	jam	waktu pelayanan masing-masing pelanggan i untuk $i \in N$

c. Variable Keputusan

Tabel 9. Notasi variabel keputusan

Notasi	Deskripsi
x_{ij}^k	Variabel biner lintasan terpilih. Bernilai 1 jika kendaraan k melakukan perjalanan dari i ke j dan bernilai 0 jika kendaraan k tidak melakukan perjalanan dari i ke j untuk $i, j \in N$ dan $k \in K$



Gambar 1. Ilustrasi permasalahan rute distribusi PT SMN

2.2.1. Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan dari penelitian ini adalah meminimasi biaya distribusi yang terdiri dari biaya tetap dan biaya variabel. Biaya tetap (BT_k) merupakan biaya yang berkaitan dengan kendaraan jika kendaraan tersebut digunakan dan akan bernilai nol jika kendaraan tersebut tidak digunakan. Dalam model matematis, nilai biaya tetap ditentukan oleh variabel keputusan x_{0j}^k . Biaya tetap akan dihitung jika x_{0j}^k bernilai 1 yang berarti bahwa kendaraan k digunakan dari depot 0 untuk melayani minimal 1 pelanggan j . Biaya variabel (BV_k) berkaitan dengan jarak tempuh (c_{ij}) atau bahan bakar yang dikeluarkan per satuan jarak. Berdasarkan kedua komponen biaya tersebut maka didapatkan fungsi tujuan pada Persamaan (1) dengan biaya tetap (F) diuraikan pada Persamaan (2) dan biaya variabel (V) diuraikan pada Persamaan (3).

$$Min Z = F + V \tag{1}$$

$$FC = \sum_{k \in K} \sum_{j \in N} BT_k \times x_{0j}^k \tag{2}$$

$$VC = \sum_{k \in K} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} BV_k \times c_{ij} \times x_{ij}^k \tag{3}$$

2.2.2. Batasan Model

Batasan model yang dibangun dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Setiap pelanggan dikunjungi tepat satu kali.

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in N} x_{ij}^k = 1, \quad j \neq 0, i \neq j, \forall j \in N \tag{4}$$
- b. Total jumlah permintaan pelanggan dalam satu rute kendaraan tidak melebihi kapasitas kendaraan yang melayani rute tersebut.

$$\sum_{j \in N} \sum_{i \in N} d_j x_{ij}^k \leq Q_k, \quad i \neq j, \forall k \in K \tag{5}$$

- c. Setiap rute perjalanan harus berawal dari depot.

$$\sum_{j \in N} x_{0j}^k \leq 1, \quad \forall k \in K \tag{6}$$

- d. Setiap kendaraan yang mengunjungi satu titik pasti akan meninggalkan titik tersebut (kontinu)

$$\sum_{j \in N} \sum_{i \in N} x_{ij}^k - \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ij}^k = 0, \quad \forall k \in K \tag{7}$$

- e. Setiap rute perjalanan harus berakhir di depot

$$\sum_{i \in N} x_{i0}^k \leq 1, \quad \forall k \in K \tag{8}$$

- f. Setiap rute perjalanan tidak boleh melebihi batas waktu operasional distribusi kendaraan

$$\left(\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \left(\frac{c_{ij}}{V_k} + ST_j \right) \times x_{ij}^k \right) \leq T_k, \quad \forall k \in K \tag{9}$$

- g. Variabel keputusan x_{ij}^k merupakan *integer biner*, bernilai 1 jika kendaraan k mengunjungi titik j dari titik i , dan bernilai 0 jika kendaraan k tidak mengunjungi titik j dari titik i .

$$x_{ij}^k \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \in V, \forall k \in K \tag{10}$$

2.3. Modifikasi Usulan Algoritma Clarke and Wright Savings

Pada algoritma *Clarke and Wright Savings*, kendala waktu belum dipertimbangkan dan penggabungan rute hanya mempertimbangkan nilai penghematan untuk masing-masing dua titik saja dalam *list* nilai penghematan. Pada saat penggabungan rute, titik-titik dimasukkan berdasarkan urutan keseluruhan nilai penghematan yang didapatkan. Modifikasi yang diusulkan yaitu dengan menambah kendala waktu total distribusi dan mengubah penggabungan rute dengan

mempertimbangkan titik-titik yang telah dipilih sebelumnya. Diagram alir modifikasi usulan algoritma *Clarke and Wright Savings* ditunjukkan pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2, terdapat lima tahapan umum penyelesaian menggunakan modifikasi algoritma *Clarke and Wright Savings* sebagai berikut:

1. Menentukan Matriks Jarak

Pada tahap ini, jarak antar depot ke masing-masing titik dan jarak antar titik ditentukan dengan menggunakan bantuan *Google Maps*. Tujuan penggunaan *Google Maps* adalah agar jarak yang didapatkan merupakan jarak riil sesuai dengan akses jalan yang ada. Seluruh jarak yang telah didapatkan dibentuk menjadi sebuah matriks. Contoh matriks jarak dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Contoh matriks jarak

Node	Depot	1	2	3	4
Depot	0	17	3	8	2
1	17	0	14	10	12
2	3	14	0	3	1
3	8	10	3	0	5
4	2	12	1	5	0

2. Menentukan *Saving Matrix*

Matriks jarak yang telah didapatkan pada tahap sebelumnya digunakan untuk menentukan *saving matrix* pada tahap ini. *Saving matrix* merupakan matriks yang terbentuk dari *saving value*. Berdasarkan matriks jarak yang telah ditentukan pada Tabel 10, maka didapatkan *saving matrix* yang dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Contoh *saving matrix*

Node	1	2	3	4
1	0	6	15	7
2	6	0	8	4
3	15	8	0	5
4	7	4	5	0

3. Menentukan *Head* dan *Tail* Awal

Saving matrix yang didapatkan dari tahap sebelumnya diurutkan dari pasangan titik yang memiliki *saving value* terbesar hingga terkecil. *Saving value* bersifat simetris sehingga $S_{ij} = S_{ji}$. Kemudian dibuat rute pertama kendaraan k_1 dan melakukan iterasi untuk menentukan *head* dan *tail* awal. *Head* dan *tail* awal merupakan pasangan titik yang memiliki *saving value* terbesar. Namun, jika terdapat pasangan titik yang memiliki nilai *saving value* sama maka diambil pasangan titik yang memiliki jarak terdekat.

Sebelum pasangan titik ini ditentukan sebagai *head* dan *tail* awal, pasangan titik ini diuji terlebih

dahulu ke dalam kendala kapasitas dan waktu. Jika kendala waktu dan kapasitas terpenuhi maka pasangan titik tersebut ditentukan sebagai *head* dan *tail* awal, *list saving value* dihapus untuk iterasi berikutnya. Jika pasangan titik tidak memenuhi kendala kapasitas dan waktu maka *list saving value* dihapus dan dilakukan pencarian ulang *head* dan *tail* awal. *List saving value* dari Tabel 11 dapat dilihat pada Tabel 12.

Iterasi 0

Tabel 12. Iterasi 0

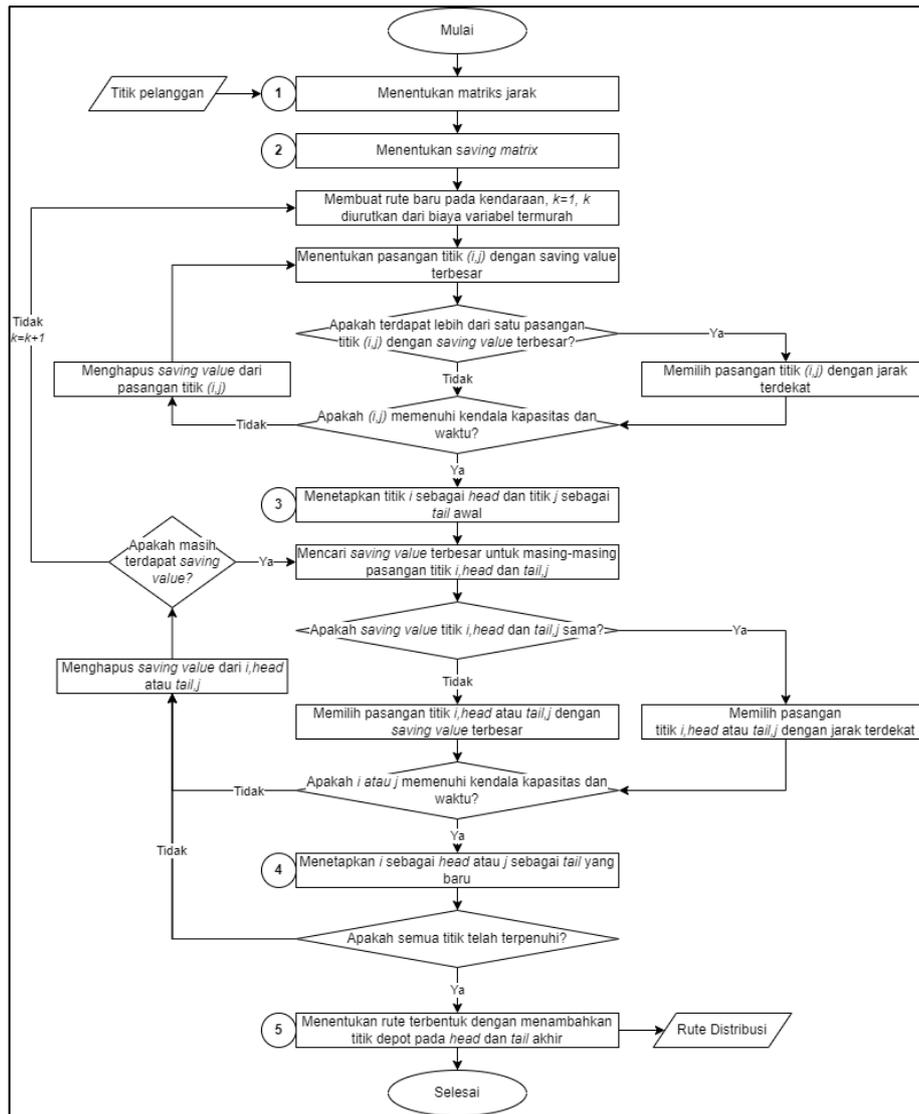
<i>Saving value</i>	(i,j)
15	(1,3)
8	(2,3)
7	(1,4)
6	(1,2)
5	(3,4)
4	(2,4)

Berdasarkan Tabel 12, maka titik 1 dan 3 ditetapkan sebagai *head* dan *tail* awal (memenuhi kendala kapasitas dan waktu). Rute sementara yang terbentuk: Depot – 1 – 3 – Depot.

4. Menentukan *Head* dan *Tail* Baru

Setelah ditentukan *head* (titik 1) dan *tail* (titik 3) awal, tahap selanjutnya adalah menentukan titik selanjutnya yang digabungkan ke dalam rute. *Saving value* antara titik yang tersisa dengan *head* dan titik yang tersisa dengan *tail* dibandingkan untuk menentukan apakah yang akan diganti adalah *head* atau *tail* dengan titik yang baru. Jika *saving value* titik *head* dengan titik tersisa lebih besar daripada *saving value* titik *tail* dengan titik tersisa, maka yang diganti adalah *head* dengan titik yang baru dan berlaku sebaliknya.

Namun, sebelum *head* atau *tail* diganti dengan titik yang baru, titik yang ditambahkan diuji terlebih dahulu ke dalam kendala kapasitas dan waktu. Jika kendala waktu dan kapasitas terpenuhi maka titik tersebut ditentukan sebagai *head* atau *tail* baru, *list saving value* dihapus untuk iterasi berikutnya. Jika titik tidak memenuhi kendala kapasitas dan waktu maka *list saving value* dihapus. Jika masih terdapat *list saving value* maka iterasi dilanjutkan dengan menentukan *head* dan *tail* baru. Namun, jika tidak terdapat *list saving value* tersisa maka iterasi dilakukan dengan memulai kembali dari menentukan *head* dan *tail* awal pada rute kendaraan selanjutnya ($k = k + 1$).



Gambar 2. Digram alir algoritma pencarian solusi

Iterasi 1

Tabel 13. Iterasi 1

Saving value	(i, head)	Saving value	(tail, j)
7	(4,1)	8	(3,2)
6	(2,1)	5	(3,4)

Maka titik yang dipilih untuk dimasukkan ke dalam rute sementara adalah titik 2 menggantikan titik 3 sebagai tail (memenuhi kendala kapasitas dan waktu). Rute sementara yang terbentuk: Depot – 1 – 3 – 2 – Depot.

Iterasi 2

Tabel 14. Iterasi 2

Saving value	(i, head)	Saving value	(tail, j)
7	(4,1)	4	(2,4)

Maka titik yang dipilih untuk dimasukkan ke dalam rute sementara adalah titik 4 menggantikan titik 1 sebagai head (memenuhi kendala kapasitas dan waktu). Rute sementara yang terbentuk: Depot – 4 – 1 – 3 – 2 – Depot.

5. Menentukan Rute

Iterasi diselesaikan jika seluruh kendaraan telah memenuhi kendala kapasitas dan waktu atau jika

seluruh titik telah terpenuhi permintaannya. Penentuan rute dilakukan dengan cara menambahkan titik depot pada kedua ujung rute-rute yang telah didapatkan pada iterasi sebelumnya. Jarak antar titik bersifat simetris sehingga rute yang dihasilkan juga bersifat simetris atau sama saja jika didistribusikan dari arah sebaliknya. Rute terbentuk: Depot – 4 – 1 – 3 – 2 – Depot atau Depot – 2 – 3 – 1 – 4 – Depot.

3. Hasil dan Pembahasan

Permasalahan yang akan diselesaikan adalah permasalahan penentuan rute distribusi PT SMN selama satu minggu. Rute distribusi eksisting PT SMN selama satu minggu ditunjukkan pada Tabel 15. Pada kondisi eksisting, dua kendaraan yang dimiliki PT SMN yaitu truck dan pickup dioperasikan setiap hari dan melakukan satu kali pengiriman dalam satu hari selama lima hari per minggu. Pada kondisi eksisting, total biaya distribusi selama satu minggu sebesar Rp2.501.058 dengan rincian yang dapat dilihat pada Tabel 15.

Selanjutnya, Tabel 16 menunjukkan hasil penyelesaian rute distribusi PT SMN menggunakan hasil pengembangan modifikasi algoritma selama satu

minggu. Secara total, biaya distribusi yang diperlukan berkurang menjadi Rp1.811.726 selama satu minggu. Dari tabel tersebut juga didapatkan bahwa distribusi PT SMN pada hari pertama, kedua, ketiga, dan kelima hanya membutuhkan satu jenis kendaraan saja yaitu *truck*. Pada hari ke empat, rute usulan yang dihasilkan sama dengan kondisi eksisting PT SMN dan tidak ada perubahan. Biaya tetap distribusi berkurang karena kendaraan *pickup* hanya beroperasi 1 hari dalam seminggu, sedangkan kendaraan

truck beroperasi setiap hari selama seminggu. Biaya variabel juga berkurang yang direpresentasikan dengan pengurangan jarak tempuh dari 886 kilometer menjadi 846 kilometer.

Berdasarkan rute distribusi eksisting PT SMN pada Tabel 15 dan rute distribusi usulan pada Tabel 16, maka didapatkan ringkasan perbandingan indikator performansi rute distribusi eksisting dan usulan yang dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 15. Rekap rute distribusi eksisting PT SMN

Hari ke-	Kendaraan	Rute	Jarak tempuh (km)	Biaya transportasi		Total biaya
				Biaya tetap	Biaya variabel	
1	Truck	Depot - A - B - C - D - Depot	80	Rp150.000	Rp83.860	Rp457.988
	Pickup	Depot - E - F - G - Depot	52	Rp150.000	Rp74.308	
2	Truck	Depot - H - I - J - K - L - Depot	92	Rp150.000	Rp96.232	Rp430.528
	Pickup	Depot - M - N - O - Depot	24	Rp150.000	Rp34.296	
3	Truck	Depot - P - Depot	166	Rp150.000	Rp173.636	Rp525.080
	Pickup	Depot - Q - R - Depot	36	Rp150.000	Rp51.444	
4	Truck	Depot - S - T - U - V - Depot	264	Rp150.000	Rp276.144	Rp676.174
	Pickup	Depot - W - A - Depot	70	Rp150.000	Rp100.030	
5	Truck	Depot - X - Y - H - Z - J - AA - AB - Depot	90	Rp150.000	Rp94.140	Rp411.288
	Pickup	Depot - AC - AD - Depot	12	Rp150.000	Rp17.148	
Total			886	Rp1.500.000	Rp1.001.058	Rp2.501.058

Tabel 16. Rekap rute distribusi usulan PT SMN

Hari ke-	Kendaraan	Rute	Jarak tempuh (km)	Biaya transportasi		Total biaya
				Biaya tetap	Biaya variabel	
1	Truck	Depot - F - E - G - C - A - B - D - Depot	118	Rp150.000	Rp123.428	Rp273.428
	Pickup	-	-	-	-	
2	Truck	Depot - N - M - H - O - I - J - K - L - Depot	94	Rp150.000	Rp98.324	Rp248.324
	Pickup	-	-	-	-	
3	Truck	Depot - Q - R - P - Depot	200	Rp150.000	Rp209.200	Rp359.200
	Pickup	-	-	-	-	
4	Truck	Depot - S - T - U - V - Depot	264	Rp150.000	Rp276.144	Rp676.174
	Pickup	Depot - W - A - Depot	70	Rp150.000	Rp100.030	
5	Truck	Depot - X - Y - H - Z - J - AA - AB - AC - AD - Depot	100	Rp150.000	Rp104.600	Rp254.600
	Pickup	-	-	-	-	
Total			846	Rp900.000	Rp911.726	Rp1.811.726

Tabel 17. Perbandingan indikator performansi eksisting dan usulan PT SMN

Indikator performansi	Satuan	Eksisting	Solusi	Perbaikan/savings
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)=((c)-(d))/(c)
Total Biaya	Rp	2.501.058	1.811.726	27,56%
Jumlah Kendaraan	Unit	10	6	40%
Jarak Tempuh	Km	886	846	4,51%

Pada Tabel 17, total biaya rute distribusi PT SMN selama satu minggu berkurang sebesar Rp689.332 dengan persentase perbaikan sebesar 27,56%. Perbaikan tersebut dihasilkan dari adanya pengurangan jumlah kendaraan yang digunakan sebesar 40% sebagai biaya

tetap dan pengurangan jarak tempuh sebesar 4,51% sebagai biaya variabel. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa PT SMN hanya membutuhkan satu jenis kendaraan (*truck*) untuk melakukan distribusinya selama empat dari total lima hari dalam satu minggu. PT SMN

dapat memperhatikan penggunaan kendaraan untuk distribusi dengan mempertimbangkan alternatif-alternatif distribusi yang lain.

Selanjutnya, performansi modifikasi algoritma usulan dibandingkan dengan algoritma acuan *Clarke and Wright Savings* dan algoritma *Sequential Insertion*. Data yang digunakan merupakan data dari penelitian sebelumnya dengan menyesuaikan kendala-kendalanya (Rupiah et al., 2017). Secara berturut-turut, hasil penentuan rute menggunakan algoritma acuan *Clarke and Wright Savings*, algoritma *Sequential Insertion*, dan algoritma modifikasi usulan dapat dilihat pada Tabel 18, Tabel 19, dan Tabel 20.

Masing-masing algoritma menghasilkan rute yang berbeda. Namun, dapat dilihat bahwa algoritma usulan dengan algoritma acuan *Clarke and Wright Savings* menghasilkan kelompok rute dengan titik-titik yang sama. Hal ini disebabkan cara pemilihan rute modifikasi usulan diubah yang awalnya hanya mempertimbangkan *saving value* antar dua titik saja menjadi titik-titik yang telah dimasukkan ke dalam rute sementara dipertimbangkan *saving value*-nya terhadap titik yang akan dimasukkan selanjutnya. Dari ketiga hasil rute tersebut, indikator performansi algoritma dibandingkan dan hasil perbandingan dapat dilihat pada Tabel 21.

Tabel 21. Perbandingan indikator performansi algoritma *Clarke and Wright savings*, *sequential insertion*, dan usulan

Indikator Performansi	Satuan	Solusi	Benchmark			
			<i>Clarke and Wright Savings</i>	Perbaikan	<i>Sequential Insertion</i>	Perbaikan
			(d)	(e)=((d)-(c))/(d)	(f)	(g)=((f)-(c))/(f)
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
Total biaya	Rp	154.371,25	159.907,5	3,46%	155.143,75	0,498%
Jarak tempuh	Km	239,8	248,4	3,46%	241	0,498%

Berdasarkan Tabel 21, dapat dilihat bahwa modifikasi algoritma usulan menghasilkan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan algoritma *Clarke and Wright Savings* dan algoritma *Sequential Insertion*. Algoritma usulan dapat menghasilkan perbaikan biaya distribusi sebesar Rp5.536,25 dan jarak tempuh 8,6 kilometer dengan persentase perbaikan 3,46% dibandingkan dengan algoritma acuan *Clarke and Wright Savings*. Algoritma usulan juga menghasilkan perbaikan biaya distribusi sebesar Rp772,5 dan jarak tempuh 1,2 kilometer dengan persentase 0,498% dibandingkan dengan algoritma *Sequential Insertion*.

4. Kesimpulan

Hasil pengembangan modifikasi algoritma *Clarke and Wright Savings* dapat menyelesaikan permasalahan distribusi PT SMN dengan biaya yang lebih murah. Pengembangan modifikasi algoritma *Clarke and Wright Savings* yang mengakomodasi kendala waktu dan mengubah cara pemilihan titik pelanggan dengan konsep *head* dan *tail* dapat digunakan dalam penyelesaian masalah CVRP. Pengembangan algoritma usulan juga memberikan solusi biaya distribusi yang lebih murah

Tabel 18. Hasil rute *benchmark* dengan algoritma *Clarke and Wright savings*

	Rute 1	Rute 2	Rute 3
Dataset <i>benchmark</i>	Depot – 8 – 7 – 6 – 3 – 10 – Depot	Depot – 5 – 2 – 11 – 9 – Depot	Depot – 13 – 4 – 1 – 12 – Depot
Jarak tempuh (km)	116,7	81,6	50,1
Biaya distribusi/kendaraan/hari (Rp)	75.125,625	52.530,00	32.251,875

Tabel 19. Hasil rute *benchmark* dengan algoritma *sequential insertion*

	Rute 1	Rute 2	Rute 3
Dataset <i>benchmark</i>	Depot – 1 – 13 – 11 – 4 – 12 – Depot	Depot – 9 – 10 – 3 – 2 – Depot	Depot – 5 – 8 – 7 – 6 – Depot
Jarak tempuh (km)	51,4	73,9	115,7
Biaya distribusi/kendaraan/hari (Rp)	33.088,75	47.573,125	74.481,875

Tabel 20. Hasil rute usulan

	Rute 1	Rute 2	Rute 3
Dataset <i>benchmark</i>	Depot – 0 – 6 – 7 – 8 – 10 – 3 – Depot	Depot – 2 – 5 – 11 – 9 – Depot	Depot – 12 – 4 – 13 – 1 – Depot
Jarak tempuh (km)	111,4	79,7	48,7
Biaya distribusi/kendaraan/hari (Rp)	71.713,75	51.306,875	31.350,625

dibandingkan algoritma acuan *Clarke and Wright Savings* dan *Sequential Insertion*.

Daftar Pustaka

Arifudin, A., Wisnubroto, P., & Parwati, C. I. (2017). Optimalisasi vehicle routing problem dengan pendekatan metode saving matrix dan clarke & wright saving heuristic. *Jurnal REKAVASI*, 5(1), 1-9.

Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number. *12(4)*, 568-581.

Meilani, D., & Iswara, A. (2018). Aplikasi penentuan rute distribusi LPG 3 kg. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 17(2), 208-219.

Montoya-Torres, J. R., Franco, J. L., Isaza, S. N., Jiménez, H. F., & Herazo-Padilla, N. (2015). A literature review on the vehicle routing problem with multiple depots. *Computers & Industrial Engineering*, 115-129.

Octora, L., Imran, A., & Susanty, S. (2014). Pembentukan rute distribusi menggunakan algoritma clarke & wright savings dan algoritma

sequential insertion. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 2.

Rupiah, S., Mulyono, & Sugiharti, E. (2017). Efektivitas algoritma clarke-wright dan sequential insertion dalam penentuan rute pendistribusian tabung gas LPG. *UNNES Journal of Mathematics*, 6(2).

SM, A. I., Ekawati, R., & Febriana, N. (2017). Optimalisasi rute distribusi air minum quelle dengan algoritma clarke & wright saving dan model vehicle routing problem. *Prosiding SENIATI*, C1-1.

Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The vehicle routing problem*. Philadelphia: Siam.