

MODEL *MULTI-DEPOT VEHICLE ROUTING* UNTUK SISTEM TRANSPORTASI BALIKPAPAN *CITY TRANS*

A MULTI-DEPOT VEHICLE ROUTING FOR BALIKPAPAN CITY TRANS

Tito Bisma May Willis ^{a,1}, Ade Aisyah Arifna Putri ^{b,2}, Zelanina In Haryanto ^{c,3},
Ahmad Jamil ^{d,4}, Anis Rohmana Malik ^{e,5}

^a Teknik Logistik, Institut Teknologi Kalimantan, Jl. Soekarno Hatta KM 15, Balikpapan, Kalimantan Timur, Indonesia 76127

^b Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 26, Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia 57126

^c Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang km 14.5, Sleman, Yogyakarta, Indonesia 55584

^d Teknik Industri, Institut Teknologi Kalimantan, Jl. Soekarno Hatta KM 15, Balikpapan, Kalimantan Timur, Indonesia 76127

^e Rekayasa Keselamatan, Institut Teknologi Kalimantan, Jl. Soekarno Hatta KM 15, Balikpapan, Kalimantan Timur, Indonesia 76127

¹ tito.willis@lecturer.itk.ac.id, ² aisyaharifna@staff.uns.ac.id, ³ zelania.inha@uii.ac.id,
⁴ ahmad.jamil@lecturer.itk.ac.id, ⁵ anis.rohmana@lecturer.itk.ac.id

*email corresponding: aisyaharifna@staff.uns.ac.id

Diterima: 30 Juli 2025, direvisi: 29 Agustus 2025, disetujui: 25 September 2025, diterbitkan: 30 Oktober 2025

ABSTRAK

Transportasi sangat penting bagi kemajuan kota cerdas. Balikpapan, sebagai salah satu kawasan penting di Indonesia, menghadapi tantangan dalam mengatur peningkatan mobilitas penduduk. Permasalahan utama meliputi kemacetan lalu lintas, rute transportasi umum yang tidak teratur, serta tingginya biaya operasional. *Vehicle Routing Problem* (VRP) dapat meningkatkan efisiensi sistem transportasi. Penelitian ini menggunakan *Multiple Depot Vehicle Routing Problem* (MDVRP) untuk mengusulkan rute optimal untuk Balikpapan *City Trans* (Bacitra). Studi ini meninjau depot, jarak tempuh, jumlah armada, kapasitas kendaraan, waktu perjalanan, dan permintaan penumpang dalam koridor layanan untuk meningkatkan efisiensi rute transportasi. Sistem transportasi publik Bacitra disusun berdasarkan model MDVRP. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan rute koridor Bacitra yang lebih optimal, efisien, dan ramah pengguna. Sebelum optimasi, 17 kendaraan melayani 18 titik pelanggan dari beberapa depot. Melalui optimasi rute dan penjadwalan, ditemukan bahwa hanya 14 kendaraan yang dibutuhkan untuk melayani seluruh lokasi pelanggan yang ada. Tiga kendaraan yang tersisa dialokasikan menggunakan VRP untuk melayani rute baru yang mencakup titik terbanyak dengan jarak tempuh total minimum.

Kata kunci : *Smart City*, Transportasi, *City Trans*, *Vehicle Routing Problem*, MDVRP

ABSTRACT

Transportation is essential for the advancement of smart cities. Balikpapan, a pivotal Indonesian area, faces challenges in regulating increasing resident mobility. The primary issues are traffic congestion, irregular public transportation routes, and elevated operational expenses. The Vehicle Routing Problem (VRP) can enhance transportation systems' efficiency. This research employs the Multiple Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP) framework to propose optimal routes for Balikpapan City Trans (Bacitra). The study examines terminals, depots, travel distances, fleet size, vehicle capacity, travel time, and passenger demand within service corridors to enhance transportation route efficiency. The Bacitra public transportation system is structured according to the MDVRP model. This study aims to develop optimal, more efficient, and public-friendly Bacitra corridor routes. Initially, 17 vehicles served 18 customer nodes from multiple depots. Through route optimization and scheduling, it was found that only 14 vehicles were needed to serve all existing customer locations. The remaining three vehicles are allocated using VRP to serve new routes that cover the most points with the least total distance traveled.

Keywords : Smart City, Transportation, City Trans, Vehicle Routing Problem, MDVRP

Pendahuluan

Transportasi sangat penting untuk mempercepat perkembangan sebuah kota (Abdi & Lamíquiz Daudén, 2021). Pengembangan kota berkelanjutan sangat terkait dengan keberhasilan sistem transportasi umum di kota tersebut (Masłowski et al., 2019). Manajemen dan strategi yang efektif dapat meningkatkan efisiensi dan pemanfaatan fasilitas transportasi umum (Purwaningsih, 2025; Syahbandi et al., 2022). Penggunaan transportasi umum dapat membantu mengurangi masalah lingkungan, termasuk emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh sektor transportasi (Zrigui et al., 2023).

Kota Balikpapan, sebagai titik akses utama ke Kalimantan dan salah satu kota pendukung Ibu Kota Negara (IKN) yang baru, sedang mengalami pertumbuhan dan pembangunan perkotaan yang pesat (Dewi et al., 2024). Dengan meningkatnya mobilitas masyarakat akibat pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi, tantangan seperti kemacetan lalu lintas, rute transportasi yang kurang optimal, dan meningkatnya biaya operasional angkutan umum menjadi permasalahan yang mendesak dan memerlukan perhatian (Ceder, 2019). Sektor transportasi di Kota Balikpapan masih menghadapi berbagai permasalahan, terutama terkait kinerja transportasi umum dan angkutan massal yang belum optimal. Data Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) menunjukkan bahwa rasio pemanfaatan angkutan umum terhadap jumlah kendaraan telah menurun dari 0,3% pada tahun 2016 menjadi hanya 0,12% pada tahun 2020. Rasio ini berdampak pada penurunan kinerja jalan perkotaan, yang ditunjukkan oleh Rasio Volume per Kapasitas sebesar 0,64, yang mengindikasikan kemungkinan terjadinya kemacetan (Pemerintah Kota Balikpapan, 2021).

Balikpapan City Trans (Bacitra), sebagai penyedia layanan transportasi umum berkontribusi signifikan dalam memfasilitasi mobilitas warga Balikpapan. Rute koridor Bacitra yang ada saat ini belum optimal, sehingga memunculkan kesenjangan antara kebutuhan masyarakat dan layanan yang ada. Hal ini memengaruhi kenyamanan pengguna, efisiensi operasional, dan peran transportasi umum dalam mengurangi emisi karbon. Peningkatan efisiensi transportasi perkotaan dapat dicapai dengan mengoptimalkan rute dan jaringan koridor angkutan umum

(Narayanaswami, 2017). Seiring dengan kemajuan teknologi dan metode optimasi, strategi baru diperlukan untuk meningkatkan efisiensi sistem transportasi, khususnya melalui penggunaan *Vehicle Routing Problem* (VRP) (Toth & Vigo, 2014). *Vehicle Routing Problem* (VRP) adalah masalah optimasi kombinatorial yang bertujuan untuk menentukan rangkaian rute paling efisien bagi armada kendaraan yang bertugas melayani sejumlah pelanggan dari satu atau lebih depo, guna meminimalkan total biaya perjalanan. VRP telah berkembang menjadi berbagai varian yang lebih kompleks untuk mengakomodasi tuntutan industri logistik (Konstantakopoulos et al., 2022; Zhang et al., 2022).

Multiple Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP) merupakan varian dari *Vehicle Routing Problem* (VRP) yang dirancang untuk memecahkan masalah logistik dan distribusi yang memiliki lebih dari 1 depo. Dalam MDVRP, kendaraan dapat memulai dan mengakhiri rutenya di depo mana pun yang tersedia, sehingga menghasilkan kompleksitas dalam perencanaan rute dan alokasi sumber daya yang optimal (Galindres-Guanca et al., 2018). MDVRP bertujuan untuk menentukan rute optimal bagi armada kendaraan yang berasal dari beberapa depo yang melayani konsumen atau lokasi layanan, untuk meminimalkan biaya perjalanan, jarak, atau waktu secara keseluruhan (Montoya-Torres et al., 2015). MDVRP telah dilakukan menggunakan algoritma genetika (GA) dalam sistem transportasi Tiongkok, yang menghasilkan peningkatan efisiensi rute hingga 25% (Zhao et al., 2020). MDVRP juga telah digunakan untuk memecahkan masalah rute di Tokyo untuk *homogeneous fleets* dan *mixed fleets* (Farahani et al., 2023).

MDVRP telah digunakan untuk mengatasi permasalahan sistem transportasi, terutama sistem *Bus Rapid Transit* (BRT) seperti Bacitra. MDVRP memungkinkan kendaraan untuk memulai dan mengakhiri rute di beberapa depo atau terminal, sehingga lebih realistis dibandingkan model VRP tradisional yang hanya menggunakan satu depo (Montoya-Torres et al., 2015). BRT dapat mengurangi waktu tempuh secara signifikan; oleh karena itu, perencanaan rute sangat penting untuk meningkatkan efisiensi sekaligus memenuhi kebutuhan penumpang dari berbagai segmen demografi (Vermeiren et al., 2015). Meskipun masalah rute kendaraan telah dipelajari secara luas, belum terlalu banyak studi untuk mengintegrasikan MDVRP dalam konteks transportasi umum untuk mengatasi tantangan transportasi umum di Indonesia.

Studi ini bertujuan untuk meningkatkan rute operasional Bacitra dengan mengevaluasi variabel-variabel penting, termasuk kondisi geografis Kota Balikpapan, lokasi depo, kapasitas kendaraan, kebutuhan mobilitas masyarakat, serta biaya dan waktu tempuh. Tujuan khusus studi ini adalah mengembangkan model *Multi-Depot Vehicle Routing Problem* (MDVRP) untuk Bacitra dan menentukan rute optimal. Model ini telah dimodifikasi sesuai karakteristik sistem transportasi umum Balikpapan, mengevaluasi efektivitas rute yang diusulkan dengan metrik efisiensi operasional, seperti jarak tempuh, waktu tempuh, dan biaya operasional. Implementasi model MDVRP menghasilkan rute usulan sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan dalam perencanaan rute transportasi, yang menyediakan referensi untuk permasalahan serupa. Temuan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting bagi peningkatan kualitas transportasi umum di Balikpapan dalam persiapan untuk pertumbuhan aktivitas mobilitas seiring perkembangan IKN. Selain itu, penelitian ini berkontribusi pada pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG) 11 tentang kota dan komunitas berkelanjutan (Brussel et al., 2019; Tiwari & Phillip, 2021).

Metode Penelitian

Penelitian dimulai dengan mengidentifikasi masalah transportasi yang dihadapi Bacitra, dengan fokus utama pada pengelolaan dan pengoptimalan rute angkutan umum. Data yang dikumpulkan meliputi lokasi geografis, lokasi depo, rute yang ada, dan pola mobilitas masyarakat. Model MDVRP didasarkan pada data yang dikumpulkan dan disesuaikan dengan karakteristik Bacitra. Pemrograman linier diimplementasikan untuk menemukan rute transportasi optimal untuk menyelesaikan model MDVRP. Dalam MDVRP, jumlah dan lokasi depo telah ditentukan sebelumnya. Setiap kendaraan memulai dan mengakhiri rutenya di depo yang sama. Lokasi dan permintaan (jumlah penumpang) setiap halte atau titik penjemputan penumpang juga diketahui sebelumnya, dan setiap halte hanya dikunjungi oleh satu kendaraan. Perutean ini bertujuan untuk meminimalkan jumlah rute tanpa melanggar batasan kapasitas kendaraan (Sumichras & Markham, 1995). Fungsi tujuan MDVRP adalah meminimalkan jarak total yang ditempuh oleh semua kendaraan, dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan, kapasitas setiap depot, dan permintaan (jumlah penumpang) di setiap halte. Hasil perhitungan kemudian dievaluasi untuk membandingkan rute baru dengan rute yang sudah ada.

Hasil dan Pembahasan

Permasalahan penentuan rute untuk Bacitra dimodelkan menggunakan *Multi-Depot Vehicle Routing Problem* (MDVRP) karena sistem Bacitra melibatkan lebih dari satu depo atau terminal keberangkatan dan bertujuan untuk melayani beberapa titik penjemputan penumpang secara efisien. Jumlah kendaraan yang tersedia terbatas, sehingga diperlukan optimasi untuk menentukan rute terbaik dari beberapa depo ke beberapa halte. Langkah awal dalam penerapan model MDVRP adalah membuat matriks jarak antar titik (depo dan halte), yang kemudian digunakan sebagai dasar pembentukan rute. Saat ini terdapat tiga koridor dan 17 bus yang tersedia. Rute A meliputi Pelabuhan Semayang – Bandara Sepinggan – Pelabuhan Semayang. Rute B meliputi Batu Ampar – BC – Batu Ampar via MT Haryono. Rute C meliputi Batu Ampar – BC – Batu Ampar via Ahmad Yani. Alokasi kendaraan saat ini mengalokasikan delapan bus untuk Rute A, dan masing-masing empat bus untuk Rute B dan C. Tabel 1, 2, dan 3 menunjukkan jadwal saat ini yang digunakan oleh ketiga rute tersebut. DEP menunjukkan waktu keberangkatan dan ARR menunjukkan waktu kedatangan kendaraan. Trip menunjukkan urutan dan jumlah perjalanan pada sebuah rute.

Tabel 1. Jadwal dan Rute Awal A

Route A: Pelabuhan Semayang – Bandar Udara Sepinggan – Pelabuhan Semayang																
No Kendaraan	Trip 1		Trip 2		Trip 3		Trip 4		Trip 5		Trip 6		Trip 7			
	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR		
TB A-01	05:30	07:05	07:44	09:19	09:50	11:25	11:56	13:31	14:02	15:37	16:07	17:42	18:04	19:39		
TB A-02	05:45	07:20	07:58	09:33	10:04	11:39	12:10	13:45	14:16	15:51	16:20	17:55	18:17	19:52		
TB A-03	06:00	07:35	08:12	09:47	10:18	11:53	12:24	13:59	14:30	16:05	16:33	18:08	18:31	20:06		
TB A-04	06:15	07:50	08:26	10:01	10:32	12:07	12:38	14:13	14:44	16:19	16:46	18:21	18:45	20:20		
TB A-05	06:30	08:05	08:40	10:15	10:46	12:21	12:52	14:27	14:58	16:33	16:59	18:34	18:59	20:34		
TB A-06	06:45	08:20	08:54	10:29	11:00	12:35	13:06	14:41	15:12	16:47	17:12	18:47	19:13	20:48		
TB A-07	07:00	08:35	09:08	10:43	11:14	12:49	13:20	14:55	15:26	17:01	17:25	19:00	19:27	21:02		
TB A-08	07:15	08:50	09:22	10:57	11:28	13:03	13:34	15:09	15:40	17:15	17:38	19:13	19:41	21:16		
TB A-09	07:30	09:05	09:36	11:11	11:42	13:17	13:48	15:23	15:54	17:29	17:51	19:26	19:55	21:30		

Tabel 2. Jadwal dan Rute Awal B

Route B: Batu Ampar – BC – Batu Ampar via MT Haryono																				
No Kendaraan	Trip 1		Trip 2		Trip 3		Trip 4		Trip 5		Trip 6		Trip 7		Trip 8		Trip 9		Trip 10	
	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR
TB B-01	05:30	06:50	07:02	08:12	08:34	09:44	10:06	11:16	11:38	12:48	13:10	14:20	14:42	15:52	16:14	17:24	7:46	18:56	19:18	20:28
TB B-02	05:53	07:13	07:25	08:35	08:57	10:07	10:29	11:39	12:01	13:11	13:33	14:43	15:05	16:15	16:37	17:47	18:09	19:19	19:41	20:51
TB B-03	06:16	07:36	07:48	08:58	09:20	10:30	10:52	12:02	12:24	13:34	13:56	15:06	15:28	16:38	17:00	18:10	18:32	19:42	20:04	21:14
TB B-04	06:39	07:59	08:11	09:21	09:43	10:53	11:15	12:25	12:47	13:57	14:19	15:29	15:51	17:01	17:23	18:33	18:55	20:05	20:27	21:37

Tabel 3. Jadwal dan Rute Awal C

No Kendaraan	Route C: Batu Ampar – BC – Batu Ampar via Ahmad Yani																			
	Trip 1		Trip 2		Trip 3		Trip 4		Trip 5		Trip 6		Trip 7		Trip 8		Trip 9		Trip 10	
	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR
TB C-01	05:35	06:55	07:07	08:17	08:39	09:49	10:11	11:21	11:43	12:53	13:15	14:25	14:47	15:57	16:19	17:29	17:51	19:01	17:51	19:01
TB C-02	05:58	07:18	07:30	08:40	09:02	10:12	10:34	11:44	12:06	13:16	13:38	14:48	15:10	16:20	16:42	17:52	18:14	19:24	18:14	19:24
TB C-03	06:21	07:41	07:53	09:03	09:25	10:35	10:57	12:07	12:29	13:39	14:01	15:11	15:33	16:43	17:05	18:15	18:37	19:47	18:37	19:47
TB C-04	06:44	08:04	08:16	09:26	09:48	10:58	11:20	12:30	12:52	14:02	14:24	15:34	15:56	17:06	17:28	18:38	19:00	20:10	19:00	20:10

Sistem ini mencakup dua depo, Node 0 (Depo 1) dan Node 8 (Depo 2), yang dapat berfungsi sebagai titik awal dan akhir rute kendaraan. Terdapat 20 node, 18 di antaranya merupakan lokasi pelanggan (halte bus), masing-masing dengan permintaan tetap 4 penumpang. Armada yang tersedia terdiri dari 17 bus, masing-masing dengan kapasitas maksimum 30 penumpang. Formulasi ini bertujuan untuk meminimalkan total jarak yang ditempuh semua kendaraan sekaligus melayani setiap pelanggan tepat satu kali, dengan tetap memperhatikan batas kapasitas kendaraan dan kapasitas depo, serta memastikan bahwa setiap pelanggan hanya dialokasikan ke satu depo dan kendaraan. Data jarak antar node diturunkan dari matriks jarak dunia nyata yang merepresentasikan biaya perjalanan antar halte bus. Model matematika berikut menyajikan persamaan MDVRP berdasarkan dataset Bacitra:

Set:

$I = \{0,8\} \rightarrow$ Set untuk depot (titik 0 = Depot 1, titik 8 = Depot 2)

$J = \{1,2, \dots, 7,9 \dots, 19,20\} \rightarrow$ Set untuk 18 titik pelanggan

$K = \{1,2, \dots, 17\} \rightarrow$ Set untuk 17 kendaraan bus

Indeks:

i -Indeks untuk depot ($i \in I$)

j -Indeks untuk pelanggan ($j \in J$)

k -Indeks untuk pelanggan ($k \in K$)

Parameters:

N = Jumlah kendaraan = 17 kendaraan

C_{ij} = jarak antara titik i dan j , dimana $i, j \in I \cup J$

V_i = 17 kendaraan untuk depot $i \in I$

d_j = 4 pelanggan (konstan untuk semua $j \in J$ in $J \in J$)

Q_k = 30 pelanggan (kapasitas untuk 1 kendaraan)

Variabel Keputusan:

$x_{ijk} \begin{cases} 1, & \text{jika kendaraan } k \text{ bergerak langsung dari titik } i \text{ ke titik } j \\ 0, & \text{jika tidak} \end{cases}$

Digunakan untuk menentukan urutan perutean kendaraan (x_{ijk})

$Z_{ij} \begin{cases} 1, & \text{jika pelanggan } j \text{ dilayani oleh depot } 1 \\ 0, & \text{jika tidak} \end{cases}$

Digunakan untuk menentukan hubungan antara depot dan pelanggan (Z_{ij})

Fungsi Tujuan:

Meminimalkan total jarak yang ditempuh oleh semua kendaraan:

$$\sum_{i \in I \cup J} \sum_{j \in I \cup J} \sum_{k \in K} C_{ij} x_{ijk}$$

(1)

Fungsi Kendala:

Setiap pelanggan hanya ditugaskan ke satu rute saja

$$\sum_{i \in I \cup J} \sum_{k \in K} x_{ijk} = 1, \quad j \in J \quad (2)$$

Total permintaan yang dilayani oleh satu kendaraan tidak boleh melebihi kapasitasnya

$$\sum_{j \in J} d_j \sum_{i \in I \cup J} x_{ijk} \leq 30, k \in K \quad (3)$$

Kendala penghapusan sub-tur (*sub-tour elimination*)

$$U_{ik} - U_{jk} + N x_{ijk} \leq N-1, \forall i, j \in J, i \neq j, \forall k \in K \quad (4)$$

Kendala arus masuk = arus keluar untuk setiap node pelanggan yang dikunjungi

$$\sum_{i \in I \cup J} x_{ijk} - \sum_{j \in J \cup I} x_{jik} = 0, \forall k \in K, \forall j \in J \quad (5)$$

Setiap rute hanya bisa dikunjungi satu kali

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ijk} \leq 1, \quad \forall k \in K \quad (6)$$

Total permintaan yang ditugaskan ke sebuah depot tidak boleh melebihi kapasitas depot

$$\sum_{j \in J} d_j z_{ij} \leq 510, \quad i \in I \quad (7)$$

Seorang pelanggan hanya bisa ditugaskan ke suatu depot jika kendaraan melewati depot tersebut

$$z_{ij} + \sum_{u \in I \cup J} (x_{iuk} + x_{ujk}) \leq 1, i \in I, j \in J, k \in K \quad (8)$$

Kendala variabel biner untuk keputusan rute

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, i \in I, j \in J, k \in K \quad (9)$$

Kendala variabel biner untuk penugasan depot

$$z_{ij} \in \{0,1\}, i \in I, j \in J \quad (10)$$

Kendala non-negativitas

$$U_{ik} \geq 0, \forall i \in I \cup J, \forall k \in K \quad (11)$$

Tabel 4 menyajikan matriks jarak untuk semua 20 titik atau nodes, termasuk depo dan lokasi pelanggan. Setiap noode sudah memiliki halte bus yang ditentukan. Rute A berangkat dari node 0, sementara Rute B dan C berangkat dari node 8. Tabel 5 menyajikan solusi awal untuk rute A, B, dan C.

Tabel 4. Matriks Jarak (dalam meter)

	0 (Depot 1)	1	2	3	4	5	6	7	8 (Depot 2)	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0 (Depot 1)	0	23100	21200	16300	13600	6900	6100	2900	13100	19000	4400	19800	16600	15300	13100	14200	12500	10900	8500	21200	17700
1	3200	0	24400	19600	16800	10100	9300	6000	16300	22300	7600	23100	19800	18600	16300	17500	15700	14400	11900	24400	21000
2	5200	2100	0	21700	19000	12200	11400	8000	10000	16000	1400	17200	22000	12300	10000	19600	17800	16600	14100	18100	14700
3	9800	6800	4800	0	23800	17100	16300	12900	12300	17300	6000	21600	26800	17100	14900	11300	9600	7800	5300	19400	16000
4	12600	9500	7600	2700	0	19800	19000	15600	15000	20000	8800	7900	12900	19800	17600	14000	12300	10500	8100	22100	13700
5	19200	16200	14200	9400	6700	0	25700	22300	21700	26600	15400	14600	12500	27200	24300	20700	18900	17200	14700	28800	20300
6	20100	17100	15100	10300	7500	800	0	23200	9100	14100	16300	15500	11700	27400	25100	8200	6400	4700	2200	29700	21200
7	23400	20400	18400	13500	10800	4100	3300	0	12400	17400	1600	18700	15000	12500	10000	11400	9700	7900	5400	18400	24500
8 (Depot 2)	13000	10000	10400	12600	12000	9700	9800	15900	0	6000	12200	8100	4500	3200	1000	19100	17400	15600	13100	8100	4700
9	18900	15900	11500	18400	16800	14500	14600	21800	5800	0	16800	12600	9300	8100	5800	5800	23200	21500	19000	13900	10500
10	21900	18900	14500	21500	19900	17500	17300	24800	8800	3000	0	15600	12400	11100	8900	8900	26200	24500	22000	17000	13400
11	7700	4700	2700	11400	8600	1900	13700	10600	12800	6900	3900	0	14400	15000	12500	12700	15900	13900	16400	20700	17200
12	10900	7900	5900	14600	11900	5100	17000	13800	16100	10100	7100	3300	0	18200	15800	16000	6200	17200	19600	23900	20500
13	12200	9200	7200	15900	13100	6400	18300	15100	17300	11400	8400	4500	1200	0	4200	17200	7400	18400	20900	25200	21800
14	14500	11400	9400	18100	15400	8700	20500	17300	19600	13600	10600	6800	3500	2200	0	19500	9700	25200	23200	27300	24000
15	13000	10000	11000	12600	17400	10600	22500	15900	1200	15600	12600	8700	5400	4200	2000	0	11600	15600	13100	9100	4700
16	14900	11900	13000	15400	19100	12400	24200	17700	3000	22000	14400	10500	7200	6000	3700	1800	0	17400	14900	10800	6400
17	16800	13800	14700	9400	8800	14100	26000	19400	4700	23700	16200	12200	9000	7700	5500	3500	1700	0	16600	12600	8200
18	19300	16300	17200	9700	11300	16600	28500	21900	7200	26200	18800	14700	11500	10200	8000	6000	4200	2500	0	15100	10700
19	5000	1900	3300	13100	10400	3700	2900	7800	12300	12200	9300	17300	17000	15300	13000	11100	9300	7500	5000	0	15700
20	8300	5300	6600	16500	13800	7100	6300	11200	15700	15500	12700	20700	20400	18600	16400	14400	12600	10900	8400	3400	0

Tabel 5. Solusi MDVRP

Rute	Depot Mulai	Titik Pelanggan yang Dilayani	Total Kapasitas	Total Jarak
A	Node 0 (Depot 1)	0 → 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 7 → 0	28	26,500 meter
B	Node 8 (Depot 2)	8 → 9 → 10 → 11 → 12 → 13 → 14 → 8	24	20,400 meter
C	Node 8 (Depot 2)	8 → 15 → 16 → 17 → 18 → 19 → 20 → 8	24	20,300 meter

Setelah mendapatkan rute kendaraan yang dioptimalkan, langkah selanjutnya adalah merancang jadwal operasional untuk setiap rute. Jadwal ini disusun dengan memodifikasi jadwal yang sudah ada yang ditunjukkan pada Tabel 1, 2, dan 3. Parameter penjadwalan utama meliputi waktu tempuh, waktu istirahat, dan interval waktu keberangkatan (*headway*). Parameter-parameter ini ditentukan melalui observasi lapangan langsung. Setiap rute memiliki waktu operasional sekitar 16 jam ± 10 menit. Shift dimulai pukul 05.30 dan berakhir sekitar pukul 21.30. Tabel 6 merangkum rata-rata durasi perjalanan, waktu istirahat yang dibutuhkan, dan rentang waktu keberangkatan untuk setiap rute (A, B, dan C).

Tabel 6. Parameter Penjadwalan

Rute	Total Waktu Tempuh (Menit)	Waktu Istirahat (Menit)	Interval Waktu Keberangkatan/ <i>Headway</i>
A	75	15	Setiap 15 Menit
B	67	25	Setiap 23 Menit
C	67	25	Setiap 23 Menit

Setelah merancang jadwal berdasarkan rute yang dioptimalkan dan parameter penjadwalan, ditemukan bahwa Rute A hanya membutuhkan enam kendaraan, sementara Rute B dan C masing-masing membutuhkan empat kendaraan. Hal ini menunjukkan peluang yang signifikan untuk mengurangi jumlah armada, yang akan meningkatkan efisiensi operasional dan penghematan biaya yang substansial. Perhitungan jadwal dilakukan dengan menggunakan parameter penjadwalan pada Tabel 6. Jadwal yang dihasilkan dirangkum dalam Tabel 7. Contoh perhitungannya ditunjukkan di bawah ini:

$$\text{Rute A Trip 1 – TB A 01 ARR} = \text{DEP Trip 1} + \text{Waktu Tempuh} = 5:30 + 1:15 = 6:45$$

$$\text{Rute A Trip 2 – TB A 01 DEP} = \text{ARR Trip 1} + \text{Waktu Istirahat} = 6:45 + 0:15 = 7:00$$

$$\text{Rute A Trip 1 – TB A 02 DEP} = \text{DEP TB A 01} + \text{Headway} = 5:30 + 0:15 = 5:45$$

Tabel 7. Jadwal Kendaraan Hasil MDVRP

Rute A																				
No Kendaraan	Trip 1		Trip 2		Trip 3		Trip 4		Trip 5		Trip 6		Trip 7		Trip 8		Trip 9		Trip 10	
	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR
TB A-01	5:30	6:45	7:00	8:15	8:30	9:45	10:00	11:15	11:30	12:45	13:00	14:15	14:30	15:45	16:00	17:15	17:30	18:45	19:00	20:15
TB A-02	5:45	7:00	7:15	8:30	8:45	10:00	10:15	11:30	11:45	13:00	13:15	14:30	14:45	16:00	16:15	17:30	17:45	19:00	19:15	20:30
TB A-03	6:00	7:15	7:30	8:45	9:00	10:15	10:30	11:45	12:00	13:15	13:30	14:45	15:00	16:15	16:30	17:45	18:00	19:15	19:30	20:45
TB A-04	6:15	7:30	7:45	9:00	9:15	10:30	10:45	12:00	12:15	13:30	13:45	15:00	15:15	16:30	16:45	18:00	18:15	19:30	19:45	21:00
TB A-05	6:30	7:45	8:00	9:15	9:30	10:45	11:00	12:15	12:30	13:45	14:00	15:15	15:30	16:45	17:00	18:15	18:30	19:45	20:00	21:15
TB A-06	6:45	8:00	8:15	9:30	9:45	11:00	11:15	12:30	12:45	14:00	14:15	15:30	15:45	17:00	17:15	18:30	18:45	20:00	20:15	21:30
Rute B																				
No Kendaraan	Trip 1		Trip 2		Trip 3		Trip 4		Trip 5		Trip 6		Trip 7		Trip 8		Trip 9		Trip 10	
	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR
TB B-01	5:35	6:42	7:07	8:14	8:39	9:46	10:11	11:18	11:43	12:50	13:15	14:22	14:47	15:54	16:19	17:26	17:51	18:58	19:23	20:30
TB B-02	5:58	7:05	7:30	8:37	9:02	10:09	10:34	11:41	12:06	13:13	13:38	14:45	15:10	16:17	16:42	17:49	18:14	19:21	19:46	20:53
TB B-03	6:21	7:28	7:53	9:00	9:25	10:32	10:57	12:04	12:29	13:36	14:01	15:08	15:33	16:40	17:05	18:12	18:37	19:44	20:09	21:16
TB B-04	6:44	7:51	8:16	9:23	9:48	10:55	11:20	12:27	12:52	13:59	14:24	15:31	15:56	17:03	17:28	18:35	19:00	20:07	20:32	21:39
Rute C																				
No Kendaraan	Trip 1		Trip 2		Trip 3		Trip 4		Trip 5		Trip 6		Trip 7		Trip 8		Trip 9		Trip 10	
	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR
TB C-01	5:30	6:37	7:02	8:09	8:34	9:41	10:06	11:13	11:38	12:45	13:10	14:17	14:42	15:49	16:14	17:21	17:46	18:53	19:18	20:25
TB C-02	5:53	7:00	7:25	8:32	8:57	10:04	10:29	11:36	12:01	13:08	13:33	14:40	15:05	16:12	16:37	17:44	18:09	19:16	19:41	20:48
TB C-03	6:16	7:23	7:48	8:55	9:20	10:27	10:52	11:59	12:24	13:31	13:56	15:03	15:28	16:35	17:00	18:07	18:32	19:39	20:04	21:11
TB C-04	6:39	7:46	8:11	9:18	9:43	10:50	11:15	12:22	12:47	13:54	14:19	15:26	15:51	16:58	17:23	18:30	18:55	20:02	20:27	21:34

VRP baru dilakukan menggunakan matriks jarak yang telah diperbarui untuk tiga kendaraan yang tersisa. Halte atau simpul bus dipilih berdasarkan area yang tidak tercakup oleh Rute A, B, dan C yang telah dioptimalkan sebelumnya. Hal ini memastikan bahwa wilayah yang tidak tercakup menerima layanan transportasi yang memadai. Tabel 8 menyajikan matriks jarak untuk model VRP baru; depo 2 sama dengan node 8 pada matriks jarak sebelumnya (Tabel 4).

Tabel 8. Matriks Jarak Baru (dalam meter)

	0 (Depot 2)	1	2	3	4	5	6	7
0 (Depot 2)	0	7900	18400	16400	6900	5200	1700	19500
1	5400	0	16200	20300	5000	10600	5100	22900
2	7000	1500	0	21800	6100	12200	6600	24400
3	15300	10800	9300	0	15300	19500	15900	33700
4	15000	9600	8100	9400	0	15400	14700	32400
5	16800	11300	9800	11200	1700	0	16500	34200
6	1600	7600	18000	16000	6600	4800	0	17800
7	19500	25400	35800	33800	24400	22600	17800	0

Tabel 9 menyajikan hasil optimasi VRP untuk rute tambahan yang diusulkan.

Tabel 9. Rute Baru dari Hasil VRP

Rute	Depot	Titik Pelanggan yang Dilayani	Total Jarak
D	0 (Depot 2)	0 → 6 → 7 → 0	38900
E	0 (Depot 2)	0 → 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 0	32500

Tabel 9 menunjukkan bahwa Rute E adalah yang paling optimal di antara rute-rute yang diusulkan, mencakup lebih banyak node titik pelanggan dengan total jarak tempuh terendah. Akibatnya, ketiga kendaraan yang tersedia dialokasikan untuk Rute E. Rute ini beroperasi dalam rentang waktu sekitar 16 jam, dengan shift dimulai pukul 05.30 dan berakhir sekitar pukul 21.30. Setiap perjalanan pulang pergi memakan waktu sekitar 85 menit, diikuti dengan istirahat 20 menit, dengan keberangkatan dijadwalkan setiap 35 menit. Jadwal rute E disajikan pada Tabel 10.

Tabel 9. Jadwal Rute E

No Kendaraan	Trip 1		Trip 2		Trip 3		Trip 4		Trip 5		Trip 6		Trip 7		Trip 8	
	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR	DEP	ARR
TB E-01	5:30	6:55	7:15	8:40	9:00	10:25	10:45	12:10	12:30	13:55	14:15	15:40	16:00	17:25	17:45	19:10
TB E-02	6:05	7:30	7:50	9:15	9:35	11:00	11:20	12:45	13:05	14:30	14:50	16:15	16:35	18:00	18:20	19:45
TB E-03	6:40	8:05	8:25	9:50	10:10	11:35	11:55	13:20	13:40	15:05	15:25	16:50	17:10	18:35	18:55	20:20

MDVRP dapat terdiri dari tiga tahap utama: pengelompokan, perutean, dan penjadwalan (Fitriana et al., 2019). Selain itu, dengan menggabungkan penjadwalan dan optimasi, solusinya dapat disempurnakan lebih lanjut dengan mempertimbangkan jarak tempuh, waktu layanan, dan waktu istirahat. Perbandingan temuan dengan studi lain menyatakan bahwa MDVRP meminimalkan jarak tempuh (Paduloh & Djatna, 2023). Sesuai dengan hasil penelitian saat ini, penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa MDVRP dapat secara efektif mendukung inisiatif *smart cities* dengan mengoptimalkan rute transportasi umum dan jadwal operasional (Boumpa et al., 2022; Prasetyo et al., 2023).

Simpulan

Studi ini berhasil menerapkan MDVRP untuk mengoptimalkan rute Bacitra. Dari 17 kendaraan yang melayani 18 titik pelanggan, melalui optimalisasi dan penjadwalan rute, ditemukan bahwa hanya dibutuhkan 14 kendaraan untuk melayani semua lokasi pelanggan yang ada. Analisis VRP yang baru membahas area yang sebelumnya tidak tercakup oleh Rute A, B, dan C. Tiga kendaraan tersisa dialokasikan untuk rute baru, dan di antara rute-rute baru yang diusulkan, Rute E muncul sebagai rute yang paling efisien, mencakup titik terbanyak dengan total jarak tempuh terpendek. Keterbatasan studi ini terletak pada model yang hanya mengoptimalkan rute berdasarkan jarak dan kapasitas, tanpa mempertimbangkan kendala yang sensitif terhadap waktu seperti waktu tunggu penumpang, jadwal kedatangan/keberangkatan, atau jam sibuk. Terlepas dari keterbatasannya, pendekatan berbasis MDVRP telah terbukti menjadi *tools* yang efektif untuk mengurangi ukuran armada dan memperluas cakupan layanan, sehingga menghasilkan sistem transportasi umum yang lebih efisien dan mudah diakses. Studi mendatang dapat memperluas model MDVRP yang ada dengan mengintegrasikan jendela waktu (*time windows*), permintaan dinamis (*dynamic demands*), dan optimalisasi multi-objektif (*multi-objective optimization*), serta mengembangkan model yang terintegrasi penuh untuk perutean dan penjadwalan.

Daftar Pustaka

- Abdi, M. H., & Lamíquiz Daudén, F. J. (2021). Understanding Transportation Prerequisites to be Integrated with Urban Development in Developing Countries: Iran as a Case. *Transportation Research Procedia*, 58, 370–376. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.11.050>
- Boumpa, E., Tsoukas, V., Chioktour, V., Kalafati, M., Spathoulas, G., Kakarountas, A., Trivellas, P., Reklitis, P., & Malindretos, G. (2022). A Review of the Vehicle Routing Problem and the Current Routing Services in Smart Cities. *Analytics*, 2(1), 1–16. <https://doi.org/10.3390/analytics2010001>
- Brussel, M., Zuidgeest, M., Pfeffer, K., & van Maarseveen, M. (2019). Access or Accessibility? A Critique of the Urban Transport SDG Indicator. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(2), 67. <https://doi.org/10.3390/ijgi8020067>
- Ceder, A. (2019). *Public Transit Planning and Operation: Modeling, Practice and Behavior, Second Edition* (2nd ed.). CRC Press.
- Dewi, T. R., Putra, R. S., Jordan, N. A., Nabila, N., & Rahmadi, D. (2024). Aplikasi Konsep Green Design Berdasarkan Kriteria Penilaian Greenship Neighborhood Versi 1.0 pada Kawasan Terbangun Perumahan Grand City Balikpapan. *SPECTA Journal of Technology*, 8(2), 99–112. <https://doi.org/10.35718/specta.v8i2.1098>
- Farahani, M., Zegordi, S. H., & Kashan, A. H. (2023). A Tailored Meta-Heuristic for the Autonomous Electric Vehicle Routing Problem Considering the Mixed Fleet. *IEEE Access*, 11, 8207–8222. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3237481>

- Fitriana, R., Moengin, P., & Kusumaningrum, U. (2019). Improvement Route for Distribution Solutions MDVRP (Multi Depot Vehicle Routing Problem) using Genetic Algorithm. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 528(1), 012042. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/528/1/012042>
- Galindres-Guancha, L. F., Toro-Ocampo, E. M., & Gallego- Rendón, R. A. (2018). Multi-objective MDVRP solution considering route balance and cost using the ILS metaheuristic. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 33–46. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2017.5.002>
- Konstantakopoulos, G. D., Gayialis, S. P., & Kechagias, E. P. (2022). Vehicle routing problem and related algorithms for logistics distribution: a literature review and classification. *Operational Research*, 22(3), 2033–2062. <https://doi.org/10.1007/s12351-020-00600-7>
- Masłowski, D., Kulińska, E., & Kulińska, K. (2019). Application of Routing Methods in City Logistics for Sustainable Road Traffic. *Transportation Research Procedia*, 39, 309–319. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.033>
- Montoya-Torres, J. R., López Franco, J., Nieto Isaza, S., Felizzola Jiménez, H., & Herazo-Padilla, N. (2015). A literature review on the vehicle routing problem with multiple depots. *Computers & Industrial Engineering*, 79, 115–129. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.10.029>
- Narayanaswami, S. (2017). Urban Transportation: Innovations in Infrastructure Planning and Development. *The International Journal of Logistics Management*, 28(1), 150–171. <https://doi.org/10.1108/IJLM-08-2015-0135>
- Paduloh, P., & Djatna, T. (2023). A Robust Optimizing Reverse Logistics Model for Beef Products Using Multi Depot Vehicle Routing Problem. *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, 14(1), 45–54. <https://doi.org/10.21512/comtech.v14i1.8397>
- Pemerintah Kota Balikpapan. (2021). *Peraturan Daerah Kota Balikpapan Nomor 6 Tahun 2021 Tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kota Balikpapan Tahun 2021-2026*.
- Prasetyo, D. H., Aziiza, A. A., & Sulistiyani, E. (2023). *Design of Employee Bus Routes for Madiun City Government Based on Home Locations and Presence Location History* (pp. 558–572). https://doi.org/10.2991/978-94-6463-288-0_46
- Purwaningsih, R. (2025). Evaluating Service Quality and Passenger Satisfaction of Feeder Buses in Urban Public Transportation. *J@ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, 20(2), 69–75. <https://doi.org/10.14710/jati.20.2.69-75>

- Sumichras, R. T., & Markham, I. S. (1995). A heuristic and lower bound for a multi-depot routing problem. *Computers & Operations Research*, 22(10), 1047–1056. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(94\)00083-K](https://doi.org/10.1016/0305-0548(94)00083-K)
- Syahbandi, M., Mardiah, A. N. R., & Wijaya, S. E. (2022). Designing Sustainable Transportation Strategy in Covid-19: Jabodetabek Commuter Community Movement in Indonesia. *International Journal for Disaster and Development Interface*, 2(1). <https://doi.org/10.53824/ijddi.v2i1.20>
- Tiwari, G., & Phillip, C. (2021). Development of public transport systems in small cities: A roadmap for achieving sustainable development goal indicator 11.2. *IATSS Research*, 45(1), 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2021.02.002>
- Toth, P., & Vigo, D. (2014). *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications, Second Edition*. Society for Industrial and Applied Mathematics. <https://doi.org/10.1137/1.9781611973594.fm>
- Vermeiren, K., Verachtert, E., Kasajja, P., Loopmans, M., Poesen, J., & Van Rompaey, A. (2015). Who could benefit from a bus rapid transit system in cities from developing countries? A case study from Kampala, Uganda. *Journal of Transport Geography*, 47, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.07.006>
- Zhang, H., Ge, H., Yang, J., & Tong, Y. (2022). Review of Vehicle Routing Problems: Models, Classification and Solving Algorithms. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29(1), 195–221. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09574-x>
- Zhao, J., Xiang, H., Li, J., Liu, J., & Guo, L. (2020). Research on Logistics Distribution Route Based on Multi-objective Sorting Genetic Algorithm. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 29(07n08), 2040020. <https://doi.org/10.1142/S0218213020400205>
- Zrigui, I., Khouilji, S., Larbi Kerkeb, M., Ennassiri, A., & Bourekkadi, S. (2023). Reducing Carbon Footprint with Real-Time Transport Planning and Big Data Analytics. *E3S Web of Conferences*, 412, 01082. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341201082>