

OPTIMASI RUTE TRUK SAMPAH DENGAN ALGORITMA DIJKSTRA, CVRP, DAN TSP UNTUK PENGHEMATAN BBM (STUDI KASUS: TPA GUNUNG PANGGUNG)

Azzah Inas Dzahabiyah^{1*}, Eriska Fitri Kurniawati²

^{1,2}Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas PGRI Ronggolawe

*Email: azzahinasd@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan rute pengangkutan sampah dari Tempat Pembuangan Sementara (TPS) ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Gunung Panggung di Kabupaten Tuban melalui integrasi Algoritma Dijkstra sebagai penentuan jarak terpendek, *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) untuk memenuhi volume maksimum truk sampah, dan *Traveling Salesman Problem* (TSP) sebagai penyempurna agar lebih pendek jarak. Optimasi yang dibangun memanfaatkan data volume sampah, kapasitas truk, titik koordinat semua lokasi serta jarak antar lokasi untuk menentukan rute terpendek dan urutan pengangkutan yang lebih efisien serta penghematan konsumsi dan biaya bahan bakar minyak (BBM). Hasil implementasi menunjukkan adanya penghematan signifikan pada jarak serta konsumsi BBM dan biaya BBM truk sampah.

Kata kunci: Tempat Pembuangan Sampah; Algoritma Dijkstra; *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP); *Traveling Salesman Problem* (TSP); Bahan Bakar Minyak (BBM)

PENDAHULUAN

Permasalahan pemborosan Bahan Bakar Minyak (BBM) dalam operasional pengangkutan sampah merupakan isu kritis di berbagai daerah di Indonesia, termasuk Kabupaten Tuban. Ketidakefisienan dalam menentukan kebutuhan BBM tidak hanya meningkatkan biaya operasional tetapi juga mengurangi efektivitas sistem pengelolaan sampah secara keseluruhan (Ula *et al.*, 2021). Anggaran yang seharusnya dapat dialokasikan secara optimal untuk seluruh rantai proses pengelolaan sampah menjadi terganggu, berimplikasi pada menurunnya kualitas layanan persampahan.

Di Kabupaten Tuban, TPA Gunung Panggung yang terletak di Kecamatan Semanding menerima timbunan sampah sebesar 420.579,72 kg/hari dengan luas lahan 3,8 Ha dan kapasitas penimbunan 147.000 m³ (Ula *et al.*, 2021). Operasional pengangkutan sampah menggunakan berbagai jenis kendaraan termasuk truk arm roll berkapasitas 78 m³ memerlukan konsumsi BBM yang besar, namun ketidakefisienan rute menyebabkan ketidakstabilan biaya operasional.

Studi sebelumnya menunjukkan bahwa optimasi rute dapat menjadi solusi efektif. Penelitian di Kota Sorong berhasil menerapkan Algoritma Dijkstra untuk menemukan rute terpendek pengangkutan sampah (Suryani & Murniyasih, 2022), sementara penelitian di Garut menerapkan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) yang berhasil menghemat jarak tempuh sebesar 39,66% dan biaya operasional 39,65% (Kusniawati & Wicaksono, 2023). *Traveling Salesman Problem* (TSP) juga telah terbukti efektif untuk mengoptimalkan urutan rute.

Implementasi integrasi ketiga algoritma Dijkstra, CVRP, dan TSP secara simultan untuk pengangkutan sampah masih terbatas di Indonesia. Penelitian ini bertujuan mengoptimasi rute pengangkutan sampah TPS-TPA Gunung Panggung melalui integrasi ketiga algoritma tersebut untuk mengurangi konsumsi BBM, biaya operasional, dan emisi karbon, sejalan dengan komitmen pemerintah dalam Perpres No. 98 Tahun 2021 dan Peraturan Menteri LHK No.P.14/MENLHK/SETJEN/KUM.1/2/2021. Selain memberikan solusi teknis, penelitian ini juga mendukung transformasi digital dan tata kelola pemerintahan yang lebih baik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain studi kasus dengan pendekatan pemodelan kuantitatif dan simulasi. Penelitian dilakukan dengan tahapan: (1) pengumpulan dan validasi data; (2) pemodelan jaringan jalan; (3) implementasi algoritma optimasi berurutan (Dijkstra, CVRP, TSP); dan (4) evaluasi hasil berdasarkan kriteria penghematan jarak dan BBM. Data sekunder diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup dan Perhubungan Kabupaten Tuban periode Juni-Juli 2025. Kriteria inklusi TPS adalah: (1) berada dalam 6 kecamatan layanan TPA Gunung Panggung; (2) volume truk sampah $\geq 78 \text{ m}^3$; (3) memiliki data koordinat dan jarak yang valid. Sebanyak 65 TPS yang memiliki keterangan [0]TPA Gunung Panggung, [1]Gedongombo - Maulana, [2]Pasar Pramuka, [3]Karangasem Jenu, [4]Ngimbang Singget Pucangan Palang, [5]Sidorejo Kodim, [6]Sidorejo Polres, [7]Sugiharwas Teukumar, [8]Kuthi Sumurgung Tuban, [9]Perumahan Tasik Madu, [10]Tuwiri Wetan Lemah Beser, [11]Gedongombo Kantor PU, [12]Mlangi Widang, [13]Kepoh Panyuran Palang, [14]Panyuran Palang, [15]Pucangan Palang, [16]Sugiharwas Lokajaya, [17]Gedongombo Kapur, [18]Kingking Pasar Ikan, [19]Mentoso Jenu, [20]Perumahan Mondokan Sentosa, [21]Ronggomulyo Mbah Ronggo, [22]Perumahan Jenggolo, [23]Karang Agung Barat, [24]Karang Agung Timur, [25]Pemda - Sekretariat, [26]Perumahan - Tuban Akbar, [27]RSUD - Koesma, [28]Sugiharjo, [29]Bejagung - Pondok, [30]King-King-Rujak Beling, [31]Perumahan - Permata Bonang, [32]Remen-Jenu, [33]Tj Awar-Awar - Tppi, [34]Pendopo, [35]Socorejo - Jenu, [36]Perumahan Tppi, [37]Bogorejo - Mulung, [38]Comprenge Widang, [39]Gedongombo Unirow, [40]Gedongombo-Tba, [41]Prunggahan Kulon - Dan Cemoro, [42]Sidorejo - Smada, [43]Sugiharjo - Mawot, [44]Tegalagung - Makam Motho, [45]Tegalagung Makam Sambu, [46]Bejagung - Besaran, [47]Doromukti Stasiun Spoor, [48]Gedongombo Pasar Sapi, [49]Gesing - Sunan Geseng, [50]Pasar Ngaglik, [51]Perumahan Siwalan, [52]Pantai Boom, [53]Sidorejo Indoor Tennis, [54]Pantai Cemoro, [55]Gesikharjo-Asmorokondi, [56]Kebonsari - Brawijaya, [57]Rsnu, [58]Sman4, [59]Sidorejo Sidopati, [60]Tpi Palang, [61]Jenggolo, [62]Cendoro, [63]Ngimbang, [64]Pucangan, [65]Pasar Baru.

Implementasi algoritma dilakukan secara berurutan menggunakan penghitungan manual dengan awalan melakukan pengumpulan data Volume sampah harian per TPS dan titik koordinat TPS, Kebutuhan BBM Setiap Kendaraan Di TPA Gunung Panggung, Informasi Truk dan pembagian titik TPS.

1. Algoritma Dijkstra: Digunakan untuk mencari lintasan terpendek dari TPA (titik 0) ke setiap TPS (node 1-65) Bobot edge berupa jarak antar node dari Google Maps API.(Ahadi *et al.*, 2022; Bunaen *et al.*, 2022)
2. *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP): Digunakan untuk mengelompokkan 65 TPS ke dalam beberapa rute dengan batasan kapasitas muatan maksimal truk sebesar 78 m^3 . Tujuannya adalah meminimalkan total jarak tempuh dengan memenuhi semua constraint kapasitas, dengan menggunakan heuristik Nearest Neighbor.(Patmawati & Nugroho, 2022; Tan & Yeh, 2021)
3. *Traveling Salesman Problem* (TSP): Algoritma Christofides diterapkan pada setiap rute hasil CVRP untuk menyusun urutan kunjungan TPS yang optimal, memastikan jarak tempuh within route yang minimal.(Nuryati, 2020; Pratiwi, 2022)
4. Penghematan BBM dianalisis menggunakan metode *Pacific Consultants International* (PCI) dengan rumus Kebutuhan BBM (per 1000 km) $= (0,06427v^2 - 7,0613v + 318,3326)$ di mana v adalah kecepatan rata-rata yang dihitung dari rasio jarak tempuh terhadap waktu operasional. Penghematan biaya dihitung berdasarkan harga solar Rp6.800/liter. (Lismawati dkk., 2024; Nuryati, 2020; Tantry & Cahyono, 2022)

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Penerapan Alogaritma Dijkstra

Algoritma Dijkstra menawarkan beberapa keunggulan komputasional, antara lain efisiensi proses perhitungan, kemudahan implementasi, serta kemampuan menghasilkan solusi optimal dengan bobot minimum (Gunawan & Andriani Wresti, 2021). Algoritma Dijkstra sudah banyak digunakan untuk mencari jarak terpendek atau yang memilih waktu tercepat dalam berbagai aplikasi, salah satunya *google maps* untuk keperluan rute transportasi (Mahfoud dkk., 2024) . dan sudah digunakan pada penelitian rute pengangkutan sampah di Kecamatan Priuk (Mahfoud dkk.,

2024). Data awal yang dibutuhkan algoritma dijkstra adalah matriks jarak di Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7, Tabel 8 yang setiap tabel setiap kendaraan.

Tabel 1. Matriks kendaraan 1 dengan nomor polisi S 8225 EP

titik	0	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,0	23,5	7,4	3,7	3,8	5,1	7,2	2,0	11,7
3	23,5	0,0	30,8	19,7	19,7	18,9	16,2	24,6	12,7
4	7,4	30,8	0,0	11,1	11,1	12,0	14,6	6,3	19,1
5	3,7	19,7	11,1	0,0	0,1	1,9	3,5	5,0	8,4
6	3,8	19,7	11,1	0,1	0,0	1,8	3,5	5,1	8,3
7	5,1	18,9	12,0	1,9	1,8	0,0	3,3	5,8	8,4
8	7,2	16,2	14,6	3,5	3,5	3,3	0,0	8,5	5,2
9	2,0	24,6	6,3	5,0	5,1	5,8	8,5	0,0	13,3
10	11,7	12,7	19,1	8,4	8,3	8,4	5,2	13,3	0,0

Tabel 2. Matriks kendaraan 2 dengan nomor polisi S 8117 EP

titik	0	11	12	13	14	15	16	61	62	64
0	0	1,4	14,8	3,3	3	7,3	5,9	12,7	11,9	7,4
11	1,4	0	14,9	1,9	1,6	6,7	5,6	27,6	21,7	7,6
12	14,8	14,9	0	15,3	15,1	9,5	20,6	12,5	13,7	7,7
13	3,3	1,9	15,3	0	0,4	6,3	5,8	12,5	13,7	7,7
14	3	1,6	15,1	0,4	0	6,3	5,8	12,5	13,4	7,5
15	7,3	6,7	9,5	6,3	6,3	0	12	18,7	17,3	2,9
16	5,9	5,6	20,6	5,8	5,8	12	0	7,1	11,3	13
61	13	12,7	27,6	12,5	12,5	18,7	7,1	0	15	20
62	10,6	11,9	21,7	13,7	13,4	17,3	11,3	15	0	16,2
64	7,4	7,4	7,6	7,7	7,5	2,9	13	20	16,2	0

Tabel 3 Matriks kendaraan 3 dengan nomor polisi

titik	0	17	18	19	20	21	63
0	0	2	3,9	17,6	7,5	3,9	0,9
17	2	0	1,9	15,7	5,7	1,9	2,8
18	3,9	1,9	0	13,8	4	0,3	4,7
19	17,6	15,7	13,8	0	10,6	13,8	18,4
20	7,5	5,7	4	10,6	0	3,8	8,2
21	3,9	1,9	0,3	13,8	3,8	0	4,6
63	0,9	2,8	4,7	18,4	8,2	4,6	0

Tabel 4. Matriks kendaraan 4 dengan nomor polisi

titik	0	22	23	24	25	26	27	28
0	0	13	10,1	10,8	2,8	5,7	3,8	6,8
22	13	0	19,9	20,4	10,5	7,5	9,2	8,3
23	10,1	19,9	0	0,7	10,7	14,5	12,6	16,4
24	10,8	20,4	0,7	0	11,3	15,1	13,2	17
25	2,8	10,5	10,7	11,3	0	3,8	1,9	5,8
26	5,7	7,5	14,5	15,1	3,8	0	2	2,7
27	3,8	9,2	12,6	13,2	1,9	2	0	3,9

28	6,8	8,3	16,4	17	5,8	2,7	3,9	0
-----------	-----	-----	------	----	-----	-----	-----	---

Tabel 5. Matriks kendaraan 5 dengan nomor polisi

titik	0	29	30	31	32	33	34	35	36
0	0	1,5	3,7	6,4	20,6	22,4	2,9	24	7,7
29	1,5	0	2,9	5,2	19,4	21,1	2,5	22,6	6,6
30	3,7	2,9	0	2,9	17	18,9	1,1	20,8	4,2
31	6,4	5,2	2,9	0	14,2	16	4	17,9	1,4
32	20,6	19,4	17	14,2	0	3	17,9	7,5	12,8
33	22,4	21,1	18,9	16	3	0	19,9	4,8	14,7
34	2,9	2,5	1,1	4	17,9	19,9	0	21,9	5,3
35	24	22,6	20,8	17,9	7,5	4,8	21,9	0	16,7
36	7,7	6,6	4,2	1,4	12,8	14,7	5,3	16,7	0

Tabel 6. Matriks kendaraan 6 dengan nomor polisi

titik	0	37	38	39	40	41	42	43	44	45
0	0	8,5	14,7	1,8	1,4	2,2	3,4	6,7	3,3	2,8
37	8,5	0	22,7	8,3	8	6,5	5,2	2,2	5,2	5,8
38	14,7	22,7	0	15,8	15,8	16,4	18	20,6	17,7	17
39	1,8	8,3	15,8	0	0,6	3	3,2	6,9	3,5	3,4
40	1,4	8	15,8	0,6	0	2,5	2,8	6,5	3,1	2,9
41	2,2	6,5	16,4	3	2,5	0	1,8	4,5	1,3	0,6
42	3,4	5,2	18	3,2	2,8	1,8	0	3,7	0,7	1,4
43	6,7	2,2	20,6	6,9	6,5	4,5	3,7	0	3,4	3,9
44	3,3	5,2	17,7	3,5	3,1	1,3	0,7	3,4	0	0,8
45	2,8	5,8	17	3,4	2,9	0,6	1,4	3,9	0,8	0

Tabel 7. Matriks kendaraan 7 dengan nomor polisi

titik	0	46	47	48	49	50	51	52	53
0	0	1,6	3,1	1,5	7,8	10,7	5	3,3	3,8
46	1,6	0	1,6	1	9,4	11,8	3,4	2,3	2,1
47	3,1	1,6	0	1,9	10,9	12,4	2,3	1,3	1,1
48	1,5	1	1,9	0	9,1	10,8	4,1	1,8	2,8
49	7,8	9,4	10,9	9,1	0	9,5	12,7	10,8	11,5
50	10,7	11,8	12,4	10,8	9,5	0	14,7	11,3	13,5
51	5	3,4	2,3	4,1	12,7	14,7	0	3,5	1,3
52	3,3	2,3	1,3	1,8	10,8	11,3	3,5	0	2,4
53	3,8	2,1	1,1	2,8	11,5	13,5	1,3	2,4	0

Tabel 8. Matriks kendaraan 8 dengan nomor polisi S 8118 EP

titik	0	55	56	57	58	59	60
0	0	6,2	2,3	7,1	7,3	3,1	7,2
55	6,2	0	6,7	11,8	11,6	8,1	1,4
56	2,3	6,7	0	5,3	5,4	1,5	7,3
57	7,1	11,8	5,3	0	0,9	4	12,2
58	7,3	11,6	5,4	0,9	0	4,2	11,9
59	3,1	8,1	1,5	4	4,2	0	8,7

60	7,2	1,4	7,3	12,2	11,9	8,7	0
----	-----	-----	-----	------	------	-----	---

Ada kendala yaitu ada tiga kendaraan yang tercatat sekali kunjungan pada Tabel 8.

Tabel 8 Jarak Tempuh Kendaraan 9, Kendaraan 10 , Kendaraan 11

kendaraan	rute	jarak
Kendaraan 9	0-1-0	2,3 km
Kendaraan 10	0-2-0	7,8 km
Kendaraan 11	0-65-0	4,6 km

Proses kerja algoritma dijkstra, yaitu memberikan bobot jarak pada setiap titik ke titik lainnya, kemudian titik awal diberi angka 0, mengisi semua titik yang belum diberi nilai atau bobot jarak, kemudian tentukan node awal sebagai titik keberangkatan, setelah menentukan titik keberangkatan, lihat titik yang berdekatan yang belum diberi nilai dan hitung jarak dari titik awal atau titik keberangkatan, apabila titik terdekat yang belum memiliki rute terlewati, maka node tersebut harus ditandai, tentukan node belum terlewati dengan jarak terkecil dari node awal atau titik keberangkatan sebagai node keberangkatan selanjutnya dan diulangi sampai di node akhir (Ahadi dkk., 2022), Seperti pada Tabel 9.

Tabel 9. Pengerjaan Algoritma Dijkstra Kendaraan 1

titik	0	3	4	5	6	7	8	9	10
titik awal	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
0		23,46	7,39	3,73	3,81	5,07	7,22	2,02	11,73
9		26,61	8,31	7	7,08	7,78	10,52		15,34
5		26,75	18,05		7,08	8,87	10,54		15,4
6		26,75	18,22			8,91	10,54		15,4
7		27,78	20,95				12,2		17,35
8		28,44	26,79						17,35
10		30,04	36,42						
3			60,83						
4	68,22								

Penelitian ini menunjukkan bahwa Algoritma Dijkstra berhasil membagi rute pengangkutan sampah ke dalam 7 kendaraan dengan total jarak bervariasi antara 49,04 km hingga 91,46 km. Kendaraan 6 menempuh jarak terjauh (91,46 km) karena mencakup wilayah dengan distribusi TPS yang tersebar, sementara Kendaraan 7 memiliki jarak terpendek (49,04 km) dengan volume sampah 78 m³.

Pada titik awal adalah 0 lalu titik selain titik 0 adalah titik yang tidak dilewati maka diberi lambang ∞ , selanjutnya pada titik terdekat setelah dipilih dengan dari 0 adalah titik 9 dengan berlanjut ke titik 5 dengan jarak 7km berlanjut ke titik 6 dilanjut ke titik 7 berlanjut ke titik 8 dengan jarak berlanjut ke titik 10 lalu ke titik 3 selanjutnya ke titik 4 dan berakhir ke titik 0 artinya bahwa kendaraan 1 memiliki rute 0→9→5→6→7→8→10→3→4→0 dengan total jarak 68,22 km dan begitu juga pada kendaraan lain tetapi kecuali pada kendaraan 9, kendaraan 10, kendaraan 11 tidak bisa menggunakan algoritma dijkstra karena hanya 1 titik.

Tabel 10. Hasil Algoritma Dijkstra

Kendaraan	Rute	Jarak (Km)	Total Volume Harian (m ³)
Kendaraan 1	0 → 9 → 5 → 6 → 7 → 8 → 10 → 3 → 4 → 0	68,22	60
Kendaraan 2	0 → 11 → 14 → 13 → 16 → 61 → 62 → 64 → 15 → 12 → 0	74,53	54
Kendaraan 3	0 → 63 → 17 → 18 → 21 → 20 → 0	38,00	48
Kendaraan 4	0 → 25 → 27 → 26 → 28 → 22 → 23 → 24 → 0	49,13	42
Kendaraan 5	0 → 29 → 34 → 30 → 31 → 36 → 32 → 33 → 35 → 0	53,89	60
Kendaraan 6	0 → 40 → 39 → 41 → 45 → 44 → 42 → 43 → 37 → 0	50,47	72
Kendaraan 7	0 → 46 → 48 → 52 → 47 → 53 → 51 → 49 → 0	41,16	72
Kendaraan 8	0 → 56 → 59 → 57 → 58 → 59 → 55 → 60 → 0	28,81	42
Kendaraan 9	0 → 1 → 0	2,32	6
Kendaraan 10	0 → 2 → 0	7,86	12
Kendaraan 11	0 → 65 → 0	4,63	12

2. Penerapan Alogaritma *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP)

CVRP sebagai salah satu varian klasik *Vehicle Routing Problem* (VRP), di mana kendaraan memiliki kapasitas maksimum yang tidak boleh dilampaui saat mengirimkan suatu barang ke tujuan (Kusniawati & Wicaksono, 2023). Berikut ini merupakan cara menggunakan CVRP, yaitu menetapkan jumlah kendaraan, kapasitas, dan daftar TPS dengan data sebelumnya menunjukkan bahwa kapasitas arm roll yaitu 78m³, kapasitas, dan daftar TPS; gunakan heuristik Nearest Neighbor yaitu dengan memindahkan titik dari kendaraan volume berat sampah lebih dari 78 m³ ke kendaraan yang kurang dari 78 m³; ulangi sampai semua kendaraan kurang dari atau sama dengan 78 m³.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa CVRP berhasil memaksimalkan total volume yaitu 78m³ di 5 kendaraan dan 1 kendaraan menjadi 66 m³. Sehingga, CVRP (*Capacitated Vehicle Routing Problem*) mengelompokkan 66 TPS ke dalam 7 kendaraan dengan mempertimbangkan kapasitas maksimal 78 m³ per kendaraan, dapat mengurangi jumlah kendaraan dari 11 kendaraan menjadi 6 kendaraan. Berikut merupakan hasil dari CVRP:

Tabel 11. Hasil CVRP

Kendaraan	rute	Jarak (km)	Total Volume Harian (m ³)
Kendaraan 1	0 → 63 → 1 → 46 → 29 → 41 → 45 → 44 → 53 → 6 → 5 → 27 → 0	11,09	78
Kendaraan 2	0 → 40 → 48 → 17 → 56 → 25 → 34 → 52 → 30 → 18 → 21 → 2 → 0	10,41	78
Kendaraan 3	0 → 11 → 39 → 14 → 13 → 9 → 65 → 47 → 59 → 0	13,31	78
Kendaraan 4	0 → 42 → 51 → 28 → 43 → 8 → 57 → 20 → 58 → 36 → 31 → 16 → 7 → 26 → 0.	23,16	78
Kendaraan 5	0 → 55 → 60 → 15 → 64 → 4 → 49 → 37 → 54 → 22 → 61 → 10 → 0	49,15	78

Kendaraan 6	0 → 23 → 50 → 24 → 12 → 38 → 62 → 3 → 35 → 33 → 0	96,23	66
--------------------	--	-------	----

3. Penerapan Alogaritma *Traveling Salesman Problem* (TSP)

TSP merepresentasikan pemecahan tantangan optimasi untuk mendapatkan lintasan tertutup dengan total jarak minimum yang melalui seluruh titik tujuan tanpa repetisi, kemudian kembali ke lokasi awal (Christofides, 2022). Pada penelitian ini memakai TSP dengan algoritma Christofides, Algoritma Christofides adalah algoritma pendekatan untuk menyelesaikan *Traveling Salesman Problem* (TSP) pada graf tak berarah berbobot lengkap yang memenuhi pertidaksamaan segitiga (Aswin dkk., 2024).

Setelah CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem) berhasil menetapkan total volume muatan sebesar 78 m³ untuk 5 kendaraan dan 66 m³ untuk 1 kendaraan. Sesuai dengan hasil penelitian, pada penerapan TSP juga mampu memilih jarak terpendek untuk setiap rute yang disempurkan. TSP menggunakan matriks jarak Dengan hasil pada tabel 12.

Tabel 12. Hasil TSP

Kendaraan	rute	Jarak (km)	Total Volume Harian (m ³)
Kendaraan 1	0 → 1 → 29 → 41 → 45 → 44 → 53 → 6 → 5 → 27 → 63 → 0	11,07	78
Kendaraan 2	0 → 2 → 21 → 18 → 30 → 52 → 34 → 25 → 56 → 17 → 48 → 40 → 0	10,41	78
Kendaraan 3	0 → 59 → 47 → 65 → 39 → 11 → 14 → 13 → 9 → 0	12,80	78
Kendaraan 4	0 → 42 → 51 → 28 → 43 → 8 → 57 → 20 → 58 → 36 → 31 → 16 → 7 → 26 → 0	22,53	78
Kendaraan 5	0 → 37 → 54 → 61 → 22 → 10 → 49 → 4 → 64 → 15 → 55 → 60 → 0	59,00	78
Kendaraan 6	0 → 62 → 3 → 35 → 33 → 38 → 12 → 50 → 24 → 23 → 0	102,19	66

4. Penghitungan BBM setelah penerapan Algoritma Dijkstra, CVRP, dan TSP

Pada penelitian ini menggunakan metode *Pasific Consultants Internasional* (PCI) (Lismawati dkk., 2024) tetapi hanya mengambil untuk menghitung kebutuhan biaya BBM berdasarkan tujuan penelitian ini. Pengurangan jarak tempuh memiliki dampak langsung pada efisiensi konsumsi BBM. Pada Penghitungan BBM ini menggunakan rumus PCI Kebutuhan BBM (per 1000km) = $(0,06427v^2 - 7,0613v + 318,3326)$ sebagai berikut.

Tabel 13 Hasil penghitungan BBM setelah penerapan Algoritma Dijkstra, CVRP, dan TSP

Kendaraan	Total Yang Ditempuh (Km)	Waktu Yang ditempuh (jam)	Kebutuhan BBM (Km)	Biaya BBM
Kendaraan 1	11,1	0,68	2,4432096	Rp16.613,83
Kendaraan 2	10,4	0,68	2,3481816	Rp15.967,63
Kendaraan 3	12,8	0,68	2,6695949	Rp18.153,25
Kendaraan 4	22,5	0,70	3,5495372	Rp24.136,85
Kendaraan 5	59	1,50	8,2542298	Rp56.128,76
Kendaraan 6	102,2	3,00	15,561039	Rp105.815,07

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa implementasi kombinasi Algoritma Dijkstra, CVRP, dan TSP berhasil menciptakan model optimasi rute pengangkutan sampah yang sangat efektif di Kabupaten Tuban. Secara spesifik, setiap algoritma memberikan kontribusi seperti Algoritma Dijkstra berperan sebagai fondasi dengan menghitung jarak terpendek antar node (TPA dan TPS), menyediakan data jarak yang akurat untuk proses selanjutnya, CVRP (*Capacitated Vehicle Routing Problem*) berhasil mengelompokkan 65 TPS ke dalam 6 kluster rute dengan mempertimbangkan constraint kapasitas maksimal kendaraan (78 m^3), TSP (*Traveling Salesman Problem*) mengoptimalkan urutan kunjungan dalam setiap kluster rute yang telah dibentuk oleh CVRP untuk meminimalkan total jarak tempuh setiap kendaraan.

Dengan demikian, penelitian ini membuktikan bahwa integrasi ketiga algoritma tersebut bukan hanya layak diterapkan, tetapi juga menjadi solusi yang powerful dan efektif untuk memecahkan permasalahan logistik pengangkutan sampah, khususnya di wilayah Kabupaten Tuban. Model ini dapat menjadi acuan bagi pemerintah daerah untuk meningkatkan kinerja layanan persampahan yang lebih ekonomis dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahadi, I., Habibah, M. N., Deria, P. P. D., & Fauzi, M. (2022). Penerapan Algoritma Dijkstra untuk Mencari Rute Terpendek pada Pengiriman Produk Wafer di PT. XYZ. *JURMATIS (Jurnal Manajemen Teknologi dan Teknik Industri)*, 4(1), 1–13.
- Aswin, M. Y., Wamiliana, Fitriani, Ansori, M., & Notiragayu. (2024). Perbandingan Cheapest Insertion Heuristic dan Algoritma Christofides untuk Menentukan Tour Pasar Tradisional di Kota Bandar Lampung. *Jurnal Pepadun*, 5(2), 182–194.
- Bunaen, M. C., Pratiwi, H., & Riti, Y. F. (2022). Penerapan algoritma dijkstra untuk menentukan rute terpendek dari pusat kota surabaya ke tempat bersejarah. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis-JTEKSIS*, 4(1), 213–223.
- Christofides, N. (2022). Worst-Case Analysis of a New Heuristic for the Travelling Salesman Problem. *Operations Research Forum*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/s43069-021-00101-z>
- Gunawan, & Andriani Wresti. (2021). Perbandingan Algoritma Dijkstra dan Algoritma Floyd-Warshall Penentuan Jalur Lintasan Terpendek Stasiun Tegal Menuju Hotel.
- Kusniawati, L., & Wicaksono, P. A. (2023). Optimasi Rute Pengiriman Bahan Baku CKD Part dengan Pendekatan Capacitated Vehicle Routing Problems (CVRP) DI PT XYZ. *Industrial Engineering Online Journal*, 12(4).
- Lismawati, L., Sahriyal, S., & Erny, E. (2024). Perhitungan Biaya Operasional Kendaraan Angkutan Sampah: Studi Kasus: Angkutan Sampah Pasar Rakyat Kota Rengat. *Jurnal Sipil Terapan*, 2(1), 48–55.
- Mahfoud, M. A. N., Hidayat, T., Sukrim, S., Sukisno, S., & Nugroho, A. H. (2024). Penerapan Algoritma Dijkstra Dan Greedy Untuk Optimasi Rute Angkut Sampah Di Kecamatan Periuk. *Jurnal Ilmiah Matrik*, 26(2), 151–161.
- Nuryati, S. (2020). Analisis Biaya Operasi Kendaraan Di Wilayah Tangerang Dengan Metode Pacific Consultant International. *Jurnal Teknik*, 3(2).
- Patmawati, H., & Nugroho, Y. A. (2022). Optimalisasi Rute Distribusi Matras Pada Penyelesaian Capacitated Vehicle Routing Problem Dengan Metode Algoritma Genetika. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 1(11), 2745–2756.
- Pratiwi, H. (2022). Application Of The Dijkstra Algorithm To Determine The Shortest Route From City Center Surabaya To Historical Places. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*, 4(1), 213–223.
- Tan, S.-Y., & Yeh, W.-C. (2021). The vehicle routing problem: State-of-the-art classification and review. *Applied Sciences*, 11(21), 10295.
- Tantry, C. A., & Cahyono, M. S. D. (2022). Analisis Tarif Biaya Operasional Kendaraan (BOK) Bus Kelas Ekonomi Jurusan Surabaya-Malang Dengan Metode Pacific Consultant International (PCI) Studi Kasus: Terminal Purabaya Bungurasih-Terminal Arjosari. *Anggapa Journal-Building design and architecture management studies*, 1(1).

- Ula, R. A., Prasetya, A., & Haryanto, I. (2021). Life cycle assessment (LCA) pengelolaan sampah di tpa Gunung Panggung kabupaten Tuban, Jawa Timur. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22(2), 147–161.