

## Penyelesaian Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) dengan Google-OR Tools untuk Optimalisasi Rute Pengangkutan Sampah di Pamekasan

Moh Haris<sup>1</sup>, Hozairi<sup>2</sup>, Muhsi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Islam Madura (UIM)

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Islam Madura (UIM)

<sup>3</sup> Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Islam Madura (UIM)

<sup>1</sup> [mohharismr@gmail.com](mailto:mohharismr@gmail.com), <sup>2</sup> [dr.hozairi@gmail.com](mailto:dr.hozairi@gmail.com), <sup>3</sup> [muhsiy@gmail.com](mailto:muhsiy@gmail.com)

### ABSTRAK

Pengangkutan sampah merupakan bagian dari pengelolaan sampah. Pengangkutan sampah di Pamekasan menganut sistem “*source-to-disposal*” dimana dalam pelayanannya masih terdapat TPS3R yang dikunjungi lebih dari satu kali. Kondisi ini mempengaruhi jarak, waktu dan biaya operasional sehingga perlu dilakukan pembenahan. Google-OR Tools menyediakan algoritma (*strategy*) untuk menyelesaikan permasalahan kombinatorial seperti Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) dengan batasan kapasitas. Jarak awal sejauh 361,3 km dengan waktu tempuh 802 menit dapat diminimalkan dengan pendekatan metaheuristik, yakni gabungan SAVINGS dan TABU\_SERACH menghasilkan rute dengan total jarak tempuh 222,2 km (38,4% lebih pendek) dan waktu tempuh selama 476 menit (40,65% lebih singkat) serta gabungan SAVINGS dan SIMULATED\_ANNEALING menghasilkan rute dengan total jarak tempuh sejauh 228,5 km (37,0% lebih pendek) dan waktu tempuh selama 446 menit (44,3% lebih singkat). Dengan ini jarak, biaya dan waktu tempuh dapat diminimalkan.

**Kata kunci:** cvrp, google-or-tools, rute, metaheuristik, pengangkutan sampah

### ABSTRACT

*Waste disposal is an integral part of waste management. In Pamekasan, waste disposal follows the "source-to-disposal" system, The service still includes visiting the TPS3R more than once. This condition significantly impacts the distance, time, and operational costs. Making improvements is necessary. Google-OR Tools provide algorithms (strategies) to solve combinatorial problems such as the Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) with capacity constraints. Initially, the distance covered was 361.3 km with a travel time of 802 minutes. The combination of SAVINGS and TABU\_SEARCH optimized routes in a total distance of 222.2 km (38.4% shorter) and a travel time of 476 minutes (40.65% shorter). Another combination of SAVINGS and SIMULATED\_ANNEALING algorithms optimized routes with a total distance of 228.5 km (37.0% shorter) and a travel time of 446 minutes (44.3% shorter). The distance, cost, and travel time could be minimized.*

**Key words:** cvrp, google-or-tools, routes, metaheuristics, waste disposal

## 1. PENDAHULUAN

Meningkatnya angka pertumbuhan penduduk, kondisi sosial, budaya dan ekonomi berpengaruh besar terhadap pola konsumsi dan aktivitas masyarakat yang secara tidak langsung juga mempengaruhi meningkatnya volume, karakteristik serta jenis sampah yang di hasilkan. Mengutip dari **World Health Organization (WHO)** sampah adalah sesuatu yang tidak digunakan, tidak di pakai, tidak disenangi dan tidak terjadi dengan sendirinya. Kabupaten Pamekasan secara geografis terletak di Pulau Madura tepatnya antara 113°19'-113°58' BT dan 6°51'-7°31' LS. Kabupaten Pamekasan memiliki luas 792.3 km<sup>2</sup> yang terbagi menjadi 13 Kecamatan dengan total jumlah penduduk sebesar 850.057 jiwa berdasarkan hasil Sensus Penduduk 2020 Kabupaten Pamekasan [1]. Tercatat pada tahun 2022 jumlah timbulan sampah di Kabupaten Pamekasan mencapai 101.140,55 ton dengan volume 277,10 ton/hari (Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan 2022). Sampah berpotensi menyebabkan kerusakan ekosistem seperti polusi air, tanah dan udara bahkan bencana alam apabila tidak dikelola dan ditangani dengan baik [2]. Berdasarkan Undang-Undang (UU) No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah tertulis bahwa Pengelolaan Sampah meliputi Pengurangan dan Penanganan Sampah, sedangkan Penanganan Sampah sendiri meliputi Pemilahan, Pengumpulan serta Pengangkutan Sampah yang dijelaskan bahwa Pengangkutan Sampah dalam bentuk membawa sampah dari sumber dan/atau dari tempat penampungan sampah sementara atau dari tempat pengolahan sampah terpadu menuju ke tempat pemrosesan akhir [3]. Sistem pengangkutan sampah di Pamekasan menganut sistem "Source-to-Disposal" yaitu sampah dikumpulkan dari sumber (*source*) ke Tempat Pengolahan Sementara (TPS) dengan teknik 3R, yaitu "Reduce" (Mengurangi), "Reuse" (Menggunakan Kembali), dan "Recycle" (Mendaur Ulang). Sampah yang tidak bisa diolah dengan teknik 3R akan dialihkan menggunakan kendaraan khusus ke Tempat Pembuangan Akhir (disposal). Terdapat setidaknya enam belas TPS3R yang tersebar di berbagai wilayah di Kabupaten Pamekasan dan terdapat satu TPA yang berlokasi di Desa Angsanah Kecamatan Palengaan serta memiliki sebelas armada operasional pengangkut sampah.

### 1.1. Kondisi Rute Saat Ini

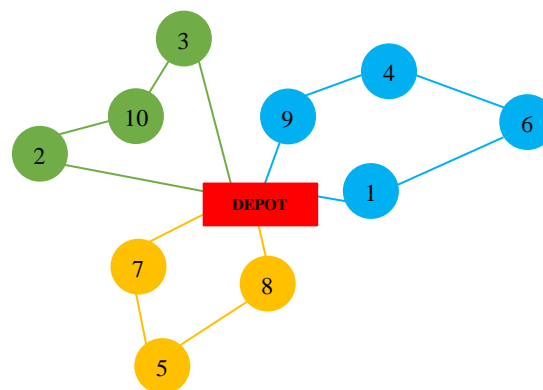
Terdapat setidaknya 13 TPS3R di Kabupaten Pamekasan, dengan DKLH sebagai depot (titik 0). Dalam operasionalnya setiap kendaraan mengunjungi TPS3R sesuai rute yg ditentukan untuk mengangkut sampah dengan kendaraan khusus dimana setelah semua kendaraan harus menuju ke TPA Angsanah (titik 20) untuk mengosongkan kendaaran sebelum akhirnya kembali ke depot.

**Tabel 1 Rute Awal Armada**

Rute	TPS3R	Jarak (km)
1	0-15-20-0	18.7
	0-15-20-0	18.7
2	0-5-20-0	17.4
	0-5-12-20-0	82.0
3	0-14-7-20-0	28.1
	0-3-20-0	20.0
4	0-2-17-20-0	26.3
	0-18-11-20-0	24.3
5	0-4-20-0	24.3
	0-10-19-20-0	21.5
6	0-1-16-20-0	35.3
7	0-13-20-0	21.8
	0-9-8-20-0	49.0
<b>Total</b>		<b>363.1</b>

Rute pengangkutan sampah di Pamekasan diatur oleh Dinas Kebersihan dan Lingkungan Hidup (DKLH) Kabupaten Pamekasan dimana dalam pelayanannya masih terdapat TPS3R yang dikunjungi lebih dari satu kali. Kondisi ini mempengaruhi jarak, waktu dan biaya operasional sehingga perlu dilakukan pembenahan guna meningkatkan efisiensi pengangkutan sampah.

Jenis permasalahan untuk menemukan rute optimal umumnya dikenal dengan *Vehicle Routing Problem* (VRP) yang diasumsikan sebagai gabungan dari dua permasalahan optimasi, yaitu *Travelling Salesperson Problem* (TSP) yang berfokus dalam pencarian rute terpendek dan *Bin Packing Problem* (BPP) yang berfokus dalam memaksimalkan kapasitas angkutan. *Vehicle Routing Problem* (VRP) dengan model paling sederhana dikenal dengan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) cenderung melibatkan lebih dari satu kendaraan dengan kapasitas tertentu dimana setiap kendaraan memulai perjalanan dari depot dengan melewati jalur terpendek untuk mengunjungi beberapa lokasi tujuan tepat satu kali serta kembali lagi ke depot apabila kapasitas kendaraan sudah terpenuhi. VRP bertujuan meminimalkan jarak, biaya, dan waktu tempuh [4].



Gambar 1 Ilustrasi CVRP dengan tiga kendaraan

Penelitian ini bertujuan menyelesaikan jenis permasalahan CVRP untuk mengoptimalkan rute pengangkutan sampah di Pamekasan dengan memanfaatkan library Google-OR Tools serta menganalisa beberapa rute yang dihasilkan dari sejumlah algoritma yang tersedia.

Penelitian CVRP with Heterogeneous Fleet dengan penerapan algoritma Clarke-Wright Savings menggunakan Google Or-Tools yang bertujuan untuk mengotimalkan rute distribusi unggas ternak dengan algoritma Clark-Wright Savings mampu memberikan solusi optimal untuk pencarian rute pengiriman. Penelitian CVRP dengan pemanfaatan Google-OR Tools dilakukan oleh [5] untuk menentukan rute distribusi obat pada Perusahaan Pedagang Besar Farmasi (PBF) kota Bandung. Hasil penelitiannya memberikan usulan rute yang lebih baik dimana dapat mengurangi jarak distribusi sebesar 18,18% dan penghematan biaya sebesar 14,53% selama satu pekan [6].

Pendekatan metaheuristik merupakan pendekatan untuk menemukan, menghasilkan, atau memilih algoritma dengan melakukan penelusuran mendalam dan lebih kompleks serta bersifat probabilistik. Google-Or Tools merupakan library *open-source* yang dikembangkan oleh Google untuk membantu permasalahan optimasi kombinatorial seperti halnya VRP [6]. Dalam permasalahan VRP, pendekatan metheuristik dapat diterapkan untuk mendapatkan solusi yang optimal atau setidaknya lebih baik jika dibandingkan dengan pendekatan heuristik saja. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan rute pengangkutan sampah di Kabupaten Pamekasan dengan model permasalahan VRP yang di klasifikasikan sebagai Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) menggunakan Google-Or Tools pada Bahasa Python.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1. Jenis Penelitian

Penelitian pada permasalahan Vehicle Routing Problem (VRP) secara umum bertujuan untuk menghasilkan rute optimal dengan mempertimbangkan biaya, waktu dan jarak tempuh. Metode penyelesaian masalah VRP berupa pendekatan dan algoritma matematis, statistik dan komputer untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya serta meningkatkan efisiensi dan produktivitas dalam bidang distribusi dan logistik. Gambaran umum dari tahap pengolahan data berupa angka (kuantitas) yang kemudian dianalisis dan diolah dengan metode tertentu. Bisa disimpulkan bahwa jenis penelitian ini dikategorikan sebagai jenis Penelitian Operasi, Penelitian Murni TI (Teknologi Informasi) dan Penelitian Kuantitatif.

### 2.2. Waktu dan Tempat Penelitian

Estimasi penelitian ini memakan waktu 1 (satu) bulan, yakni terhitung mulai tanggal 17 April 2023 hingga 15 Mei 2023. Penelitian dilakukan di Kabupaten Pamekasan yang bekerjasama dengan pihak pengelola Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang terletak di Desa Angsanah, Kecamatan Palengaan Kabupaten Pamekasan serta Dinas Kebersihan Dan Lingkungan Hidup (DKLH) Kabupaten Pamekasan yang berlokasi di Jl. Jokotole No. 141, Panggung, Barurambat Timur, Kecamatan Pademawu, Kabupaten Pamekasan.

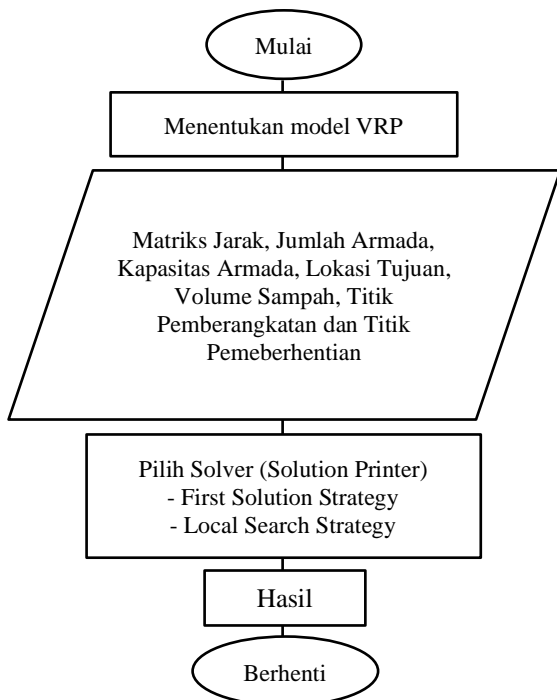
### 2.3. Prosedur Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap meliputi:

- **Studi Lapangan** ke TPA Angsanah dan DKLH Kab. Pamekasan
- **Studi Pustaka** yang berasal dari jurnal, buku, e-book, skripsi atau artikel ilmiah dengan pembahasan VRP.
- **Identifikasi Masalah** meliputi identifikasi kendala atau hambatan dalam proses optimasi seperti kendala kapasitas, waktu pelayanan, biaya dan jarak tempuh.
- **Perumusan Masalah** berkaitan dengan pemilihan metode yang tepat dan bagaimana menerapkan metode tersebut untuk mengoptimalkan rute kendaraan dengan tetap mempertimbangkan biaya, waktu dan jarak tempuh.
- **Penentuan Tujuan Penelitian** berkaitan dengan aspek-aspek spesifik yang akan diteliti meliputi model VRP dan penerapan metode yang digunakan.
- **Pengumpulan Data** merujuk pada informasi yang berasal dari sumber terpercaya. **Data Primer** meliputi data jumlah armada operasional pengangkut sampah beserta kapasitasnya. **Data Sekunder** meliputi jumlah lokasi tujuan (TPS3R), jumlah permintaan, jarak antar lokasi, rute awal yang digunakan sebagai acuan hasil penelitian
- **Tahap Implementasi Metode** Penyelesaian Capacitated Vehicle Routig Problem (CVRP) dengan Google-OR Tools terdiri dari beberapa langkah, sebagai berikut:
  1. Menentukan model optimasi CVRP.
  2. Menentukan parameter atau data permasalahan seperti matriks jarak antar lokasi, *demand* setiap lokasi, jumlah kendaraan, kapasitas kendaraan, titik pemberangkatan dan titik pemberhatian.
  3. Membuat variabel untuk menyimpan nilai atau informasi dari parameter permasalahan.
  4. Memilih strategi (*solver*) yang akurat dan sesuai dengan jenis VRP.

5. Analisa solusi yang dihasilkan dan evaluasi apakah solusi tersebut memenuhi kriteria yang ditentukan, lanjut ke langkah 6, jika tidak kembali ke langkah 4.
6. Selesai.

Berikut flowchart pemanfaatan Google-OR Tools:

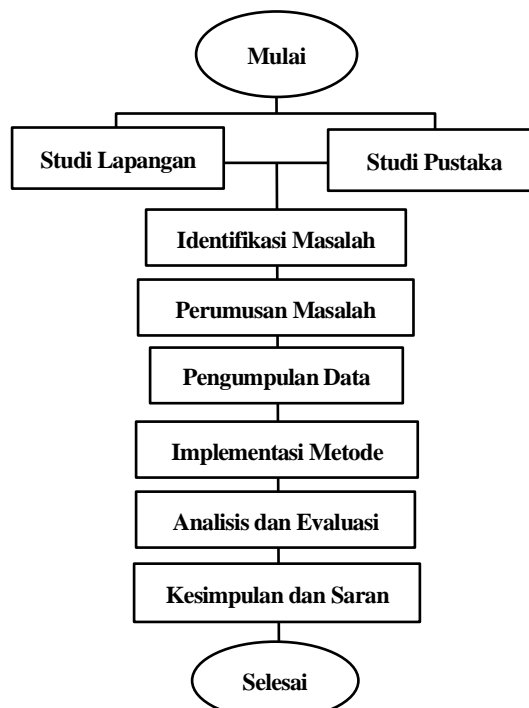


Gambar 2 Flowchart Pemanfaatan Google-OR Tools

- **Analisis dan Evaluasi** Solusi yang diperoleh dari pemanfaatan Google-OR Tools selanjutnya akan dianalisa dengan cara memeriksa kinerja metode dan algoritma yang diterapkan, analisa meliputi pengamatan terhadap waktu eksekusi, efisiensi dan akurasi dalam menghasilkan solusi optimal. Eveluasi merujuk pada proses penilaian kritis terhadap keseluruhan penelitian, termasuk kesesuaian metodologi penelitian, kesimpulan yang ditarik dari hasil penelitian.
- **Penarikan Kesimpulan dan Saran** berupa ringkasan dari hasil penelitian pada suatu topik tertentu yang didasari oleh fakta dan data dari sumber terpercaya dengan tujuan untuk menyajikan keseluruhan hasil penelitian secara singkat dan jelas. Sementara, saran merujuk pada usulan atau rekomendasi berdasarkan hasil analisis yang dapat membantu atau meningkatkan kinerja suatu algoritma atau metode dalam bidang penelitian yang sama di masa depan.

#### Flowchat Penelitian

Langkah-langkah penelitian ini dijabarkan dalam flowchart dibawah ini.



Gambar 3 Flowchart Penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Data Penelitian

Data yang diperoleh berupa data TPS3R di Kabupaten Pamekasan beserta volume sampah yang harus di angkut, disajikan pada tabel berikut:

Tabel 2 Lokasi Tujuan

Sumber : Dinas Kebersihan dan Lingkungan Hidup Kab. Pamekasan Tahun 2023

KODE	NAMA LOKASI	ALAMAT	DEMAND (TON)
0	<b>Dinas Kebersihan &amp; Lingkungan Hidup</b>	Barurambat Timur, Pademawu	
1	<b>TPS3R Bestari</b>	Nyalabu Laok, Pamekasan	1,14
2	<b>TPS3R Lestari</b>	Jungcangcang, Pamekasan	1,13
3	<b>TPS3R Jokotole</b>	Barurambat Timur, Pademawu	1,16
4	<b>TPS3R Putra Bangsa</b>	Kangenan, Pamekasan	0,59
5	<b>BS</b>	Barurambat	0,01

	<b>Flamboyan</b>	Kota, Pademawu	
6	TPS3R <b>Sekar Wangi</b>	Kolpajung, Pamekasan	1,34
7	TPS3R <b>Kebun Asri</b>	Durbuk, Pamekasan	0,99
8	TPS3R <b>Cahaya Samudra</b>	Branta, Tlanakan	0,83
9	TPS3R <b>Barokah</b>	Padelegan, Pademawu	0,38
10	TPS3R <b>Mitra Patemon</b>	Patemon, Pamekasan	1,11
11	TPS3R <b>Rampak Naong</b>	Plakpak, Pegantenan	1,72
12	TPS3R <b>Dasa Warsa</b>	Waru Barat, Waru	0,82
13	PS3R <b>Delta Mulia</b>	Panempan, Pamekasan	0,90
14	TPS3R <b>Sahabat Lestari</b>	Murtajih, Pamekasan	1,05
15	TPS3R <b>Teratai</b>	Bugih, Pamekasan	0,59
16	TPS3R <b>Glugur I</b>	Palengaan Laok, Palengaan	1,13
17	TPS3R <b>Sejahtera</b>	Larangan Badung, Palengaan	0,93
18	TPS3R <b>Berseri</b>	Gladak Anyar, Pamekasan	0,69
19	TPS3R <b>Sumber Rejeki</b>	Laden, Pamekasan	0,54
20	TPA <b>Angsanah</b>	Angsanah, Palengaan	

Data jumlah armada operasional pengangkut sampah beserta kapasitasnya, disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 3 Armada Pengangkut Sampah  
Sumber : Dinas Kebersihan dan Lingkungan Hidup  
Kab. Pamekasan Tahun 2023

NO	JENIS ARMADA	NO. SERI KENDARAAN	KAPASITAS (TON)
1	Dump Truck	B 9282 SOQ	3
2	Dump Truck	M 8141 AP	3
3	Dump Truck	M 8018 AP	3
4	Dump Truck	M 8061 AP	3
5	Dump Truck	M 8086 AP	3
6	Dump Truck	M 8122 AP	3
7	Dump Truck	M 8142 AP	3
8	Dump Truck	M 8096 AP	3
9	Arm Roll	M 8115 AP	4,3
10	Arm Roll	M 8085 AP	4,3
11	Arm Roll	M 8121 AP	4,3
12	Dump Truck*	M 8050 AP	3

\* Cadangan

Matriks jarak antar lokasi tujuan baik depot ke setiap TPS3R ataupun sebaliknya di peroleh berdasarkan perhitungan jarak menggunakan Google Maps dengan input koordinat masing-masing TPS3R. Jarak yang diperoleh sesuai dengan jarak pada jalur yang dilalui oleh armada bukan jarak *measure distance* antar lokasi, matriks jarak di sajikan dalam Tabel 4 berikut.

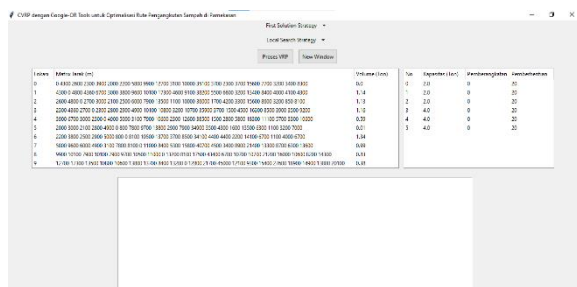
Tabel 4 Matriks Jarak

D/K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0,0	4,3	2,6	2,3	3,9	2,0	2,2	5,8	9,9	12,7	3,1	10,0	35,1	3,7	2,3	3,7	15,6	7,7	3,2	3,4	8,3
1	4,3	0,0	4,8	4,4	6,7	3,0	3,8	9,6	10,1	17,3	4,6	9,1	38,2	5,5	6,6	3,2	13,4	8,4	4,0	4,1	4,3
2	2,6	4,8	0,0	2,7	3,0	2,1	2,5	6,0	7,9	13,5	1,1	10,0	36,0	1,7	4,2	3,3	15,6	8,6	3,2	0,9	8,1
3	2,3	4,4	2,7	0,0	2,3	2,8	2,9	4,9	10,1	10,8	3,2	10,7	35,9	3,7	1,5	4,5	16,3	8,5	3,9	3,5	9,2
4	3,9	6,7	3,0	2,3	0,0	4,9	5,0	3,1	7,9	10,6	2,3	12,6	38,5	1,5	2,8	5,8	18,3	11,1	5,7	3,3	10,6
5	2,0	3,0	2,1	2,8	4,9	0,0	0,8	7,8	9,7	13,8	2,9	7,9	34,9	3,5	4,3	1,6	13,5	6,3	1,1	3,2	7,0
6	2,2	3,8	2,5	2,9	5,0	0,8	0,0	8,1	10,5	13,7	3,7	8,5	34,1	4,4	4,4	2,2	14,1	6,7	1,1	4,0	6,7

7	5,8	9,6	6,0	4,9	3,1	7,8	8,1	0,0	11,0	8,4	5,3	15,8	40,7	4,5	3,4	8,9	21,4	13,3	8,7	6,3	13,6
8	9,9	10,1	7,9	10,1	7,9	9,7	10,5	11,0	0,0	13,2	8,1	17,5	43,4	6,7	10,7	10,7	21,2	16,0	10,6	8,2	14,3
9	12,7	17,3	13,5	10,8	10,6	13,8	13,7	8,4	13,2	0,0	12,8	21,7	45,0	12,1	9,3	15,4	27,6	18,9	14,9	13,8	20,1
10	3,1	4,6	1,1	3,2	2,3	2,9	3,7	5,3	8,1	12,8	0,0	10,7	36,5	1,4	4,6	3,8	16,1	8,2	3,7	1,8	8,6
11	10,0	9,1	10,0	10,7	12,6	7,9	8,5	15,8	17,5	21,7	10,7	0,0	30,9	11,3	12,3	7,6	7,8	3,8	7,2	11,0	5,7
12	35,1	38,2	36,0	35,9	38,5	34,9	34,1	40,7	43,4	45,0	36,5	30,9	0,0	37,2	37,5	36,0	29,5	30,7	34,2	36,9	35,5
13	3,7	5,5	1,7	3,7	1,5	3,5	4,4	4,5	6,7	12,1	1,4	11,3	37,2	0,0	4,2	4,6	16,8	9,8	4,4	2,0	9,3
14	2,3	6,6	4,2	1,5	2,8	4,3	4,4	3,4	10,7	9,3	4,6	12,3	37,5	4,2	0,0	6,5	17,9	10,1	5,4	5,0	10,8
15	3,7	3,2	3,3	4,5	5,8	1,6	2,2	8,9	10,7	15,4	3,8	7,6	36,0	4,6	6,5	0,0	13,2	6,0	1,5	4,2	5,4
16	15,6	13,4	15,6	16,3	18,3	13,5	14,1	21,4	21,2	27,6	16,1	7,8	29,5	16,8	17,9	13,2	0,0	9,4	12,8	16,7	9,4
17	7,7	8,4	8,6	8,5	11,1	6,3	6,7	13,3	16,0	18,9	8,2	3,8	30,7	9,8	10,1	6,0	9,4	0,0	5,5	9,4	6,8
18	3,2	4,0	3,2	3,9	5,7	1,1	1,1	8,7	10,6	14,9	3,7	7,2	34,2	4,4	5,4	1,5	12,8	5,5	0,0	4,0	6,3
19	3,4	4,1	0,9	3,5	3,3	3,2	4,0	6,3	8,2	13,8	1,8	11,0	36,9	2,0	5,0	4,2	16,7	9,4	4,0	0,0	8,3
20	8,3	4,3	8,1	9,2	10,6	7,0	6,7	13,6	14,3	20,1	8,6	5,7	35,5	9,3	10,8	5,4	9,4	6,8	6,3	8,3	0,0

### 3.2. Pengujian Sistem

Meliputi langkah-langkah penggunaan aplikasi yang dibangun dengan Bahasa Python dan GUI Library, Tkinter. Aplikasi berupa *Single-Windows App*.



Gambar 4 Interface Aplikasi

**First Solution Strategy** : dropdown menu untuk memilih algoritma *heuristics* yang berfungsi untuk membangkitkan solusi awal (berupa rute yang mendekati sub-optimal).

**Local Search Strategy** : dropdown menu untuk memilih algoritma *meheuristics* yang berfungsi untuk memperbaiki solusi awal dengan *first solution strategy*.

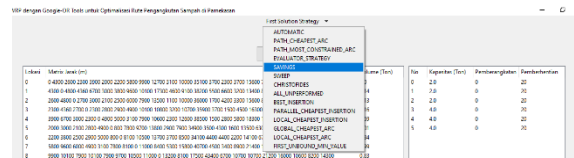
**Proses VRP (Button)** : tombol untuk memulai proses pencarian rute setelah menentukan dua strategi sebelumnya.

**New Window (Button)** : tombol untuk membuka jendela baru.

**Tabel Kendaraan** : Memuat data kendaraan yang dibutuhkan, berupa jumlah kendaraan, kapasitas, titik pemberangkatan

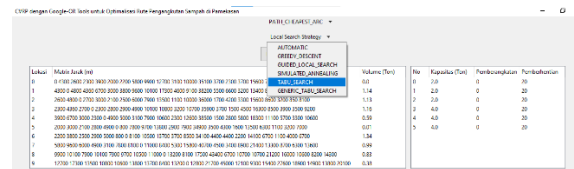
dan titik pemberhentian setiap kendaraan.

**Tabel Hasil** : tabel untuk menampilkan hasil rute kendaraan, berupa jumlah rute, jenis kendaraan yang dipakai, total jarak tempuh, total sampah terangkut.



Gambar 5 Pemilihan *First Solution Strategy*

Pemilihan *First Solution Strategy* untuk membangkitkan solusi awal, pada kasus ini menggunakan **SAVINGS**.



Gambar 6 Pemilihan *Local Search Strategy*

Pemilihan *Local Search Strategy* untuk memperbaiki solusi awal, pada kasus ini menggunakan **TABU\_SEARCH**.

RUTE ARMADA KE - 0:		
LOKASI	VOLUME SAMPAH (Ton)	JARAK (Km)
0	0.0	0
12	0.82	35.1
16	1.9499999999999997	64.8
20	0.0	74.2
0	0.0	82.5
Total jarak rute : 82.5 (km)		
Total volume sampah : 1.9499999999999997 (ton)		
Biaya perjalanan : Rp. 187.0		
Jenis armada : Dump Truck		

Gambar 7 Urutan lokasi armada ke-1

RUTE ARMADA KE - 3:		
LOKASI	VOLUME SAMPAH (Ton)	JARAK (Km)
0	0.0	0
6	1.34	2.2
17	2.27	8.9
11	3.99	12.7
20	0.0	18.4
0	0.0	26.7
Total jarak rute : 26.7 (km)		
Total volume sampah : 3.99 (ton)		
Biaya perjalanan : Rp. 60.519999999999996		
Jenis armada : Arm Roll		

Gambar 10 Urutan lokasi armada ke-4

**DKLH – TPS3R Dasa Warsa (Waru) – TPS3R Glugur I (Palengaan) – TPA Angsanah - DKLH**  
 Total Jarak = 82,5 km  
 Total Muatan = 1,9 ton  
 Waktu Tempuh = 141 menit  
 Prediksi Biaya = Rp. 187.000  
 Jenis Kendaraan = Dump Truck

**DKLH – TPS3R Sekar Wangi (Kolpajung) – TPS3R Sejahtera Ds. Toronan (Larangan Badung) – TPS3R Rampak Naong (Plakpak) – TPA Angsanah – DKLH**  
 Total Jarak = 26,7 km  
 Total Muatan = 3,9 ton  
 Waktu Tempuh = 64 menit  
 Prediksi Biaya = Rp. 60.000  
 Jenis Kendaraan = Arm Roll

RUTE ARMADA KE - 1:		
LOKASI	VOLUME SAMPAH (Ton)	JARAK (Km)
0	0.0	0
10	1.11	3.1
18	1.8	3.102
20	0.0	9.402
0	0.0	17.701999999999998
Total jarak rute : 17.701999999999998 (km)		
Total volume sampah : 1.8 (ton)		
Biaya perjalanan : Rp. 40.12453333333333		
Jenis armada : Dump Truck		

Gambar 8 Urutan lokasi armada ke-2

RUTE ARMADA KE - 4:		
LOKASI	VOLUME SAMPAH (Ton)	JARAK (Km)
0	0.0	0
14	1.05	2.3
3	2.21	3.8
2	3.34	6.5
19	3.88	7.35
20	0.0	15.65
0	0.0	23.950000000000003
Total jarak rute : 23.950000000000003 (km)		
Total volume sampah : 3.88 (ton)		
Biaya perjalanan : Rp. 54.28666666666667		
Jenis armada : Arm Roll		

Gambar 11 Urutan lokasi armada ke-5

**DKLH – TPS3R Delta Mulia (Panempan) – TPS3R Berseri (Gladak Anyar) – TPA Angsanah – DKLH**  
 Total Jarak = 17,7 km  
 Total Muatan = 1,8 ton  
 Waktu Tempuh = 54 menit  
 Prediksi Biaya = Rp. 40.000  
 Jenis Kendaraan = Dump Truck

**DKLH – TPS3R Sahabat Lestari (Murtajih) – TPS3R Jokotole (Pademawu) – TPS3R Lestari (Jungcang) – TPS3R Sumber Rejeki (Laden) – TPA Angsanah – DKLH**  
 Total Jarak = 23,9 km  
 Total Muatan = 3,8 ton  
 Waktu Tempuh = 56 menit  
 Prediksi Biaya = Rp. 54.000  
 Jenis Kendaraan = Arm Roll

RUTE ARMADA KE - 2:		
LOKASI	VOLUME SAMPAH (Ton)	JARAK (Km)
0	0.0	0
5	0.01	2.0
15	0.6	3.6
1	1.7399999999999998	6.800000000000001
20	0.0	11.100000000000001
0	0.0	19.400000000000002
Total jarak rute : 19.400000000000002 (km)		
Total volume sampah : 1.7399999999999998 (ton)		
Biaya perjalanan : Rp. 43.97333333333333		
Jenis armada : Dump Truck		

Gambar 9 Urutan lokasi armada ke-3

RUTE ARMADA KE - 5:		
LOKASI	VOLUME SAMPAH (Ton)	JARAK (Km)
0	0.0	0
13	0.9	3.7
4	1.49	5.2
7	2.48	8.3
9	2.86	16.700000000000003
8	3.69	29.900000000000002
20	0.0	44.2
0	0.0	52.5
Total jarak rute : 52.5 (km)		
Total volume sampah : 3.69 (ton)		
Biaya perjalanan : Rp. 118.99999999999999		
Jenis armada : Arm Roll		

Gambar 12 Urutan lokasi armada ke-6

**DKLH – BS Flamboyan (Barurambat Kota) – TPS3R Teratai (Bugih) – TPS3R Bestari (Nyalabu Laok) – TPA Angsanah - DKLH**  
 Total Jarak = 19,4 km  
 Total Muatan = 1,7 ton  
 Waktu Tempuh = 50 menit  
 Prediksi Biaya = Rp. 43.000  
 Jenis Kendaraan = Dump Truck

**DKLH – TPS3R Delta Mulia (Panempan) – TPS3R Putra Bangsa (Kangenan) – TPS3R Kebun Asri (Durbuk) – TPS3R Barokah (Padelegan) – TPS3R Cahaya Samudra (Branta) – TPA Angsanah - DKLH**  
 Total Jarak = 52,5 km  
 Total Muatan = 3,6 ton  
 Waktu Tempuh = 111 menit

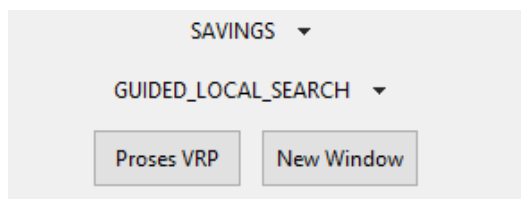
Prediksi Biaya = Rp. 118.000  
Jenis Kendaraan = Arm Roll

Total jarak perjalanan : 222.752 (km)  
Total biaya perjalanan : Rp.504.9045333333333  
Total muatan armada : 17.05 (ton)

Gambar 13 Total jarak dan waktu tempuh dari gabungan SAVINGS dan TABU\_SEARCH

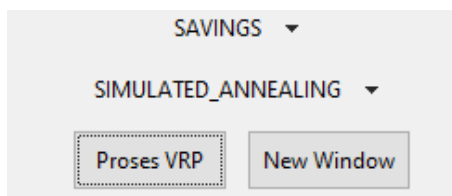
### Perbandingan Beberapa Algoritma dalam Google-OR Tools

Google-OR Tools banyak tersediak algoritma (strategi) yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan kompleks seperti halnya VRP, berikut hasil perbandingan gabungan dari algoritma pada *First Solution Strategy* dan algoritma pada *Local Search Strategy*.



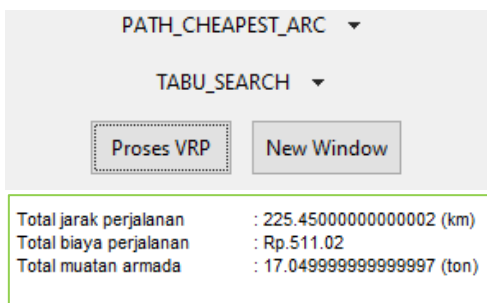
Total jarak perjalanan : 225.452 (km)  
Total biaya perjalanan : Rp.511.02453333333347  
Total muatan armada : 17.04999999999997 (ton)

Gambar 14 Gabungan SAVINGS dan GUIDED\_LOCAL\_SEARCH beserta hasilnya

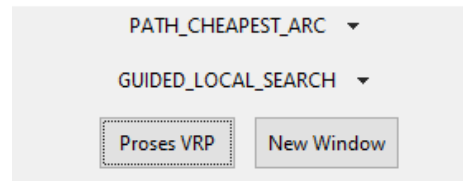


Total jarak perjalanan : 228.65000000000003 (km)  
Total biaya perjalanan : Rp.518.2733333333334  
Total muatan armada : 17.05 (ton)

Gambar 15 Gabungan SAVINGS dan SIMULATED\_ANNEALING beserta hasilnya

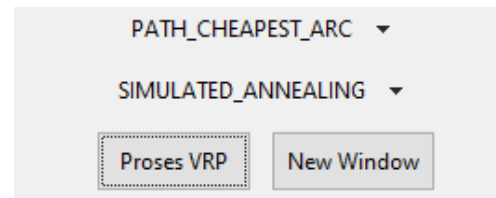


Gambar 16 Gabungan PATH\_CHEAPEST\_ARC dan TABU\_SEARCH beserta hasilnya



Total jarak perjalanan : 223.05200000000002 (km)  
Total biaya perjalanan : Rp.505.5845333333335  
Total muatan armada : 17.04999999999997 (ton)

Gambar 17 Gabungan PATH\_CHEAPEST\_ARC dan GUIDED\_LOCAL\_SEARCH beserta hasilnya



Total jarak perjalanan : 223.452 (km)  
Total biaya perjalanan : Rp.506.4912  
Total muatan armada : 17.05 (ton)

Gambar 18 Gabungan PATH\_CHEAPEST\_ARC dan SIMULATED\_ANNEALING beserta hasilnya

### Perbandingan Route

Tabel 1.4 Perbandingan Route

	Jarak (Km)	Waktu Tempu h (Menit)
Rute Awal	363,1	802
SAVINGS & TABU_SEARCH	222,2 (38,4%)	476 (40,6%)
SAVINGS & GUIDEL_LOCAL_SEARCH	225,4 (38,1%)	489 (39,0%)
SAVINGS & SIMULATED_ANNEALING	228,5 (37,0%)	446 (44,3%)
PATH_CHEAPEST_ARCH & TABU_SEARCH	225,4 (37,9%)	464 (42,1%)
PATH_CHEAPEST_ARCH & GUIDEL_LOCAL_SEARCH	223,0 (38,5%)	462 (42,3%)
PATH_CHEAPEST_ARCH & SIMULATED_ANNEALING	223,4 (38,4%)	463 (42,2%)

#### 4. KESIMPULAN

Rute pengangkutan sampah di Pamekasan dengan rute awal 361,3 km jarak tempuh dan 802 menit waktu tempuh dapat dikatakan sebagai permasalahan optimasi *Vehicle Routing Problem* (VRP). Pemanfaatan Google-OR Tools dengan pendekatan Metaheuristik untuk optimalisasi rute mampu memberikan rute yang lebih optimal dibandingkan rute awal. Gabungan SAVINGS dan TABU\_SEARCH menghasilkan rute dengan total jarak tempuh sejauh 222,2 km (38,4% lebih pendek) km dan waktu tempuh selama 476 menit (40,65% lebih cepat), gabungan SAVINGS dan GUIDED\_LOCAL\_SEARCH menghasilkan rute dengan total jarak tempuh sejauh 225,4 km (38,1% lebih pendek) dan waktu tempuh selama 489 menit (39,0% lebih cepat), gabungan SAVINGS dan SIMULATED\_ANNEALING menghasilkan rute dengan total jarak tempuh sejauh 228,5 km (37,0% lebih pendek) km waktu tempuh selama 446 menit (44,3% lebih cepat), gabungan PATH\_CHEAPEST\_ARC dan TABU\_SEARCH menghasilkan rute dengan total jarak tempuh sejauh 225,4 km (37,9% lebih pendek) km waktu tempuh selama 464 menit (42,1% lebih cepat), PATH\_CHEAPEST\_ARC dan GUIDED\_LOCAL\_SEARCH menghasilkan rute dengan total jarak tempuh sejauh 223,0 km (38,5% lebih pendek) DAN waktu tempuh selama 462 menit (42,3% lebih cepat), PATH\_CHEAPEST\_ARC dan SIMULATED\_ANNEALING menghasilkan rute dengan total jarak tempuh sejauh 223,4 km (38,4% lebih pendek) km waktu tempuh selama 463 menit (42,2% lebih cepat). Jarak terpendek dihasilkan dari gabungan SAVINGS dan TABU\_SEARCH namun waktu tersingkat dihasilkan dari gabungan SAVINGS dan SIMULATED\_ANNEALING. Dapat disimpulkan bahwa SAVINGS lebih baik dalam menghasilkan solusi awal dan SIMULATED\_ANNEALING lebih baik dalam melakukan perbaikan pada solusi awal.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat **Allah SWT** karena dengan rahmat serta hidayah-Nya, penulis bisa menyelesaikan jurnal ini. Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua saya, yakni ayah saya, **Marnoji** dan Ibu saya **Rohani** serta saudara-saudara saya, yakni **Abd. Rosyid, Moh. Syahid** dan **Halimah**, atas dukungan dan do'anya. Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak **Dr. Hozairi, SST., M.T** dan Bapak **Dr. Muhsi, ST., M.T** selaku **Dosen Pembimbing** saya pada penelitian ini, atas bimbingan, motivasi dan arahan, waktu serta kesabaran yang dialokasikan selama penelitian ini. Penulis juga

ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada **Dinas Kebersihan dan Lingkungan Hidup (DKLH) Kabupaten Pamekasan dan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Angsanah** Kabupaten Pamekasan, yang telah memberikan izin, kerja sama dan dukungan dalam pengumpulan data serta memberikan akses pada informasi yang dibutuhkan pada penelitian ini, terima kasih atas kerja sama dan dedikasi yang diberikan.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik Kabupaten Pamekasan, "Hasil Sensus Penduduk 2020 Kabupaten Pamekasan," Pamekasan, 2021. [Online]. Available: <https://pamekasankab.bps.go.id/pressrelease/2021/01/31/30/hasil-sensus-penduduk-2020.html>
- [2] A. Fia Rahmawati, Amin, Rasminto, and F. Dola Syamsu, "Analisis Pengelolaan Sampah Berkelanjutan Pada Wilayah Perkotaan di Indonesia," *Bina Gogik*, vol. Vol.8, no. 1, pp. 1–12, 2021.
- [3] Pemerintah Indonesia, *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah*. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2008 Nomor 69. Jakarta, 2008.
- [4] A. Chandra and B. Setiawan, "Optimasi Jalur Distribusi dengan Metode Vehicle Routing Problem (VRP)," *J. Manaj. Transp. Logistik*, vol. 5, no. 2, p. 105, 2018, doi: 10.54324/j.mtl.v5i2.233.
- [5] S. Kristina, R. Doddy Sianturi, and R. Husnadi, "Penerapan Model Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) Menggunakan Google OR-Tools untuk Penentuan Rute Pengantaran Obat pada Perusahaan Pedagang Besar Farmasi (PBF)," *J. Telemat.*, vol. 15, no. 2, pp. 101–106, 2020.
- [6] Y. U. Kasanah, N. N. Qisthani, and A. Munang, "Solving the Capacitated Vehicle Routing Problem with Heterogeneous Fleet Using Heuristic Algorithm in Poultry Distribution," *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 21, no. 1, pp. 104–112, 2022, doi: 10.23917/jiti.v21i1.17430.