

PENINGKATAN KINERJA ANGKUTAN SAMPAH DI KECAMATAN PATI KABUPATEN PATI

IMPROVED PERFORMANCE OF GARBAGE TRANSPORT IN PATI DISTRICT PATI REGENCY

Moh Mifta Setya Nur Vurqon^{1,*}, R Caesario Boing Rachmat Raharjo², dan Mohammad Sugiarto³

¹Program Studi Sarjana Terapan Transportasi Darat, Politeknik Transportasi Darat Indonesia - STTD,
Jl. Raya Setu No. 89 Bekasi, 17520, Indonesia

^{2,3}Politeknik Transportasi Darat Indonesia - STTD, Jl. Raya Setu No. 89 Bekasi, 17520, Indonesia

*Email: moh.mifta@ptdisttd.ac.id

Abstract

The rapid population growth in urban areas raises a number of problems such as garbage management including transport routes, collection schedules, infrastructure, road conditions, and the number of vehicles used. Based on the Pati District Development Plan 2023-2026, it is explained that there is still a high volume of unmanaged garbage and domestic garbage management is not optimal, one of which is due to the increase in the population and the moon of trash. In Pati district there are 4 Temporary Shelters (TPS) with a monthly amount of garbage transported to the Final Processing Point (TPA) by 2023 of 99.51% as well as transportation using arm roll trucks and dump trucks. Based on the existing conditions, the service schedule is not set, the garbage transportation route is not optimal so it affects the fuel costs, as well as the transportation of garbages in the TPS Runting Market caused the vehicle to be stopped. This research aims to improve the performance of garbage transportation in Pati district including finding solutions to problems at the time of the transportation process. The methods used in determining the route are the manual method, saving matrix, and Excel Solver help. The results of this study include the difference between the existing route with the proposed route arm roll truck 5.5 Km and dump truck 65.94 Km, while the difference BBM issued of 0.55 liters for arm roll trucks and 8.3 liters to dump trucks; the use of settlement gangs for the process of transporting garbage in TPS Runting Market; the residue of arm roll trucks transported by dump trucks and use of nets or bricks; and the monthly amount of trash in 2028 is 56.202 tons/day and no need for the addition of the fleet of carriers.

Keywords: *Excel Solver, Garbage Transport, Performance Enhancement, Saving Matrix*

Abstrak

Pertumbuhan penduduk yang pesat di daerah perkotaan menimbulkan beberapa permasalahan seperti pengelolaan sampah meliputi rute pengangkutan, jadwal pengumpulan, infrastruktur, kondisi jalan, dan jumlah kendaraan yang digunakan. Berdasarkan Peraturan Bupati Pati Nomor 15 Tahun 2022 tentang Rencana Pembangunan Daerah Kabupaten Pati Tahun 2023 – 2026, dijelaskan bahwa masih tingginya volume sampah yang belum terkelola dengan baik serta pengelolaan sampah domestik belum optimal yang salah satunya disebabkan oleh peningkatan jumlah penduduk dan timbulan sampah. Di Kecamatan Pati terdapat 4 Tempat Penampungan Sementara (TPS) dengan jumlah timbulan sampah yang terangkut ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) pada Tahun 2023 sebesar 99,51% serta pengangkutan menggunakan kendaraan *arm roll truck* dan *dump truck*. Berdasarkan kondisi eksisting, jadwal pelayanan belum diatur, rute angkutan sampah belum optimal sehingga mempengaruhi biaya BBM, serta pengangkutan sampah di TPS Pasar Runting menyebabkan antrian kendaraan. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja angkutan sampah di Kecamatan Pati termasuk menemukan solusi dari permasalahan pada saat proses pengangkutan. Metode yang digunakan dalam menentukan rute adalah metode manual, saving matrix, dan bantuan Excel Solver. Hasil dari penelitian ini antara lain selisih rute eksisting dengan rute usulan *arm roll truck* 5,5 Km dan *dump truck* 65,94 Km, sedangkan selisih BBM yang dikeluarkan sebanyak 0,55 liter untuk *arm roll truck* serta 8,3 liter untuk *dump truck*; penggunaan gang permukiman untuk proses pengangkutan sampah di TPS Pasar Runting; sisa sampah dari *arm roll truck* diangkut oleh *dump truck* dan penggunaan jaring atau terpal; serta jumlah timbulan sampah pada tahun 2028 adalah 56,202 ton/hari dan tidak perlu adanya penambahan armada pengangkut.

Kata kunci: *Angkutan Sampah, Excel Solver, Peningkatan Kinerja, Saving Matrix*

PENDAHULUAN

Menurut Aminuddin dkk (2020), kegiatan pembangunan di berbagai sektor mengalami peningkatan dan tingginya pertumbuhan penduduk kota sehingga menyebabkan permasalahan seperti urbanisasi, permukiman kumuh, dan persampahan. Mengenai masalah persampahan, salah satunya adalah perihal pengelolaan sampah padat perkotaan yang meliputi perencanaan rute, jadwal pengumpulan, infrastruktur, kondisi jalan, dan jumlah kendaraan pengumpulan sampah. Pengelolaan sampah dikatakan baik jika dimulai dari sumber sampah, kemudian melalui tahap pewadahan, pengumpulan, pemindahan, dan pengangkutan hingga sampah tersebut dikirim ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) (Nadjih, Saputro, dan Madani, 2020). Peningkatan pelayanan dalam bidang pengangkutan sampah merupakan suatu yang penting, sehingga perlu dilakukan upaya berupa optimasi disesuaikan dengan jumlah sarana prasarana agar seluruh timbulan sampah dapat terangkut ke TPA setiap hari. Mengurangi jumlah sampah yang menumpuk akan berdampak langsung bagi kesehatan masyarakat dan keindahan kota merupakan tujuan akhir yang harus dicapai dalam menangani masalah persampahan dengan cara optimasi sehingga pengangkutan sampah menjadi mudah, cepat, serta biaya relatif murah. Salah satu upaya dalam penyelesaian masalah tersebut adalah dengan cara mengidentifikasi sistem pengangkutan yang sudah diterapkan oleh pemerintah daerah kemudian dilakukan peninjauan beberapa parameter antara lain jarak tempuh, waktu perjalanan, rute yang dilalui, kecepatan kendaraan, waktu angkut, waktu bongkar, dan biaya bahan bakar minyak.

Berdasarkan Peraturan Bupati Pati Nomor 15 Tahun 2022 tentang Rencana Pembangunan Daerah Kabupaten Pati Tahun 2023 – 2026, nilai IKLH (Indeks Kualitas Lingkungan Hidup) Kabupaten Pati pada Tahun 2021 adalah 52,35 yang termasuk kategori sedang karena berada dalam rentang 50 – 60. Ini menunjukkan masih perlu adanya upaya peningkatan untuk mencapai kualitas lingkungan hidup yang lebih baik. Masalah lingkungan lainnya adalah tingginya volume sampah yang belum dikelola dengan baik serta pengelolaan sampah domestik yang masih belum optimal. Hal ini sebagian disebabkan oleh peningkatan jumlah sampah akibat bertambahnya penduduk. Peraturan tersebut juga menguraikan program prioritas yang akan dilaksanakan oleh Pemerintah Kabupaten Pati melalui Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Pati, salah satunya adalah peningkatan layanan pengelolaan sampah.

Berdasarkan data dari Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Pati, jumlah timbulan sampah di Kecamatan Pati yang terangkut ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) pada Tahun 2021 sebesar 92%, Tahun 2022 sebesar 80%, sedangkan Tahun 2023 sebesar 99,51%. Berdasarkan data Tahun 2023 dapat disimpulkan bahwa jumlah timbulan sampah yang terangkut ke TPA mengalami peningkatan dari tahun sebelumnya. Meskipun jumlah timbulan sampah yang terangkut sudah hampir 100%, tetapi dalam proses pemindahan dan pengangkutan sampah, rute yang dilalui belum optimal karena dalam penentuan rute pengangkutan sampah belum mempertimbangkan perihal jarak, waktu tempuh, dan bahan bakar minyak (BBM) yang digunakan sehingga belum efisien. Selain itu, untuk mengetahui rata-rata jumlah timbulan sampah sampai tahun 2028 maka perlu dilakukan peramalan jumlah timbulan. Hal ini juga akan membantu menentukan kendaraan yang diperlukan untuk pengangkutan sampah.

Di Kecamatan Pati terdapat 4 Tempat Penampungan Sementara (TPS) yaitu TPS Pasar Sleko, TPS Puri, TPS Winong, dan TPS Pasar Runting. Sampah dari TPS-TPS tersebut diangkut menggunakan kendaraan jenis *arm roll truck* dan *dump truck* yang beroperasi setiap hari tetapi belum ada jadwal pelayanan yang tetap dalam pengangkutan sampah di Kecamatan Pati. Pada kondisi eksisting diketahui bahwa armada *dump truck* tersebut tidak hanya melayani pengangkutan sampah di sumber-sumber sampah dan/atau TPS, akan tetapi juga melayani pengangkutan sampah di tempat-tempat yang bukan sebagai TPS karena adanya masyarakat yang sering membuang sampah di tempat tersebut. Selain itu, lokasi TPS Pasar Runting terletak di bahu jalan Pati-Tayu

sehingga pada saat proses pengangkutan sampah dari TPS kemudian diangkut ke sarana pengangkutan, menyebabkan terjadinya antrian kendaraan. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja angkutan sampah di Kecamatan Pati termasuk menemukan solusi dari permasalahan pada saat proses pengangkutan.

METODE

Penelitian dilakukan di Kecamatan Pati yang merupakan Ibu Kota Kabupaten Pati dan dilaksanakan dari Februari hingga Juni 2024. Penelitian ini termasuk kategori penelitian kuantitatif. Sumber data dibagi menjadi 2 (dua) yaitu data primer dan data sekunder. Data sekunder adalah data yang diperoleh dari beberapa instansi pemerintah. Pendekatan ke beberapa instansi terkait, antara lain Dinas Perhubungan Kabupaten Pati; Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Pati; Badan Perencanaan, Pembangunan, Riset, dan Inovasi Daerah Kabupaten Pati; dan Badan Pusat Statistik Kabupaten Pati. Data primer adalah data yang didapat langsung dari lapangan sesuai dengan kondisi saat ini melalui pelaksanaan survei. Survei yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain survei pengamatan di lokasi pool, survei wawancara angkutan sampah, serta survei asal tujuan angkutan sampah dan sistem pengangkutan sampah dengan mengikuti kendaraan. Untuk mengolah data primer maupun sekunder yang diperoleh untuk mendukung penelitian ini, digunakan metode-metode analisis sebagai berikut:

1. Analisis Pola Pengumpulan, Pemindahan, dan Pengangkutan Sampah Domestik di Kecamatan Pati
 - a. Analisis Pola Pengumpulan Sampah
Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 03/PRT/M/2013 Tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga, pola pengumpulan sampah ada 5 (lima) yaitu pola individual langsung, pola individual tidak langsung, pola komunal langsung, pola komunal tidak langsung, dan pola penyapuan jalan.
 - b. Analisis Pola Pemindahan dan Pengangkutan Sampah Domestik meliputi prasarana sampah domestik Kecamatan Pati; komposisi sampah domestik di Kecamatan Pati; lokasi sumber sampah di Kecamatan Pati; dan teknik operasional pengangkutan sampah domestik.
2. Analisis Penentuan Rute Efektif dan Efisien Menggunakan Metode *Vehicle Routing Problem*
Menurut Widodo dan Hadid (2023), sistem pengangkutan sampah ada 2 (dua) yaitu *Hauled Container System* (HCS) dan *Stationary Container System* (SCS). *Hauled Container System* (HCS) adalah sistem pengumpulan sampah yang wadah pengumpulannya dapat dipindah-pindah dan ikut dibawa ke tempat pemrosesan akhir serta merupakan sistem wadah angkut untuk daerah komersial. Sedangkan *Stationary Container System* (SCS) adalah sistem pengumpulan sampah yang wadah pengumpulannya tidak dibawa berpindah-pindah (tetap) serta merupakan sistem wadah tinggal untuk melayani daerah pemukiman. Untuk menghitung waktu ritasi dari sumber ke TPS atau ke TPA dan jumlah kendaraan yang dibutuhkan, digunakan rumus sebagai berikut:

- a. Rumus Waktu Angkut

$$t_A = \frac{\text{Jarak (S)}}{(V_1 + V_0)/2} + t_{in} + t_{out} + t_w$$

Sumber: Damanhuri, 2010

Keterangan:

t_A = Waktu angkut (jam)

t_{in} = Waktu menaikkan dan mengosongkan kontainer (jam)

t_{out} = Waktu menurunkan kontainer (jam)
 t_w = Waktu tunggu sampah terkumpul (jam)
 S = Jarak dari pool-TPS-TPA (km)
 V_1 = Kecepatan isi (km/jam)
 V_0 = Kecepatan kosong (km/jam)

b. Rumus Penentuan Jumlah Kendaraan

$$n = \sum q / Q$$

Sumber: Damanhuri, 2010

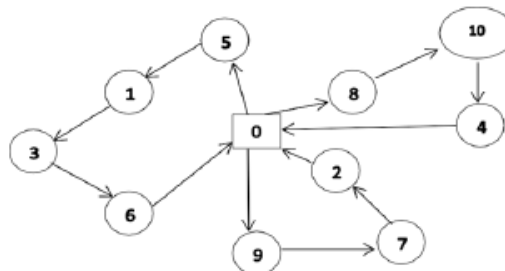
Keterangan:

n = Jumlah kendaraan (unit)
 $\sum q$ = Total volume sampah dari tiap lokasi (m^3)
 Q = Kapasitas truk (m^3)

Sedangkan untuk melakukan analisis penentuan rute efektif dan efisien menggunakan Metode *Vehicle Routing Problem*, dijelaskan sebagai berikut:

a. Metode *Vehicle Routing Problem* (VRP)

Analisis distribusi pengangkutan sampah domestik dalam penelitian ini menggunakan metode *Vehicle Routing Problem* (VRP) yang menghubungkan antar titik dengan sebuah garis. Tujuan dari VRP adalah untuk meminimalkan jarak tempuh kendaraan yang melayani sekumpulan pelanggan dengan cara menentukan rute untuk setiap kendaraan agar memenuhi permintaan pelanggan seperti diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi *Vehicle Routing Problem*

Sumber: Ferdian, Arifin, dan Widiastuti, 2022

b. Metode *Saving Matrix*

Metode *saving matrix* adalah metode untuk meminimumkan jarak atau waktu atau biaya dengan mempertimbangkan kendala-kendala yang ada. Pada metode ini jarak digunakan sebagai fungsi tujuan, artinya meminimumkan jarak yang ditempuh oleh semua kendaraan. Langkah-langkah yang harus dikerjakan adalah sebagai berikut:

- 1) Mengidentifikasi matrik jarak;
- 2) Mengidentifikasi matrik penghematan (*saving matrix*);
- 3) Mengalokasikan toko ke kendaraan atau rute; dan
- 4) Mengurutkan tujuan dalam rute yang sudah terdefinisi.

Rumus Nilai *Saving* sebagai berikut:

$$S_{ij} = d_{i0} + d_{j0} - d_{ij}$$

Sumber: Amida, Sahriyal, dan Trisnawati, 2024

Keterangan: d_{ij} = jarak dari pelanggan i ke pelanggan j

c. Penerapan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) untuk menentukan rute usulan *arm roll truck* menggunakan perhitungan secara manual dengan mempertimbangkan

batasan-batasan yaitu jarak tempuh, kapasitas truk, jumlah frekuensi pengangkutan, data inventarisasi ruas jalan; dan jumlah kendaraan yang digunakan.

Sedangkan penerapan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) untuk menentukan rute usulan usulan *dump truck* dibantu dengan *Excel Solver* yang memiliki langkah-langkah dalam pengerjaannya yaitu yang pertama melakukan penerapan model CVRP sesuai acuan yang dipilih, dilanjutkan dengan penginputan data-data yang diperlukan untuk penyelesaian dengan *Excel Solver* antara lain data lokasi tujuan, jarak, dan jumlah kendaraan yang digunakan serta kapasitas yang tersedia. Setelah melakukan penginputan data maka dilakukan simulasi oleh *Excel Solver* sehingga menghasilkan rute yang akan dilakukan oleh tiap-tiap kendaraan. Jika sudah mendapatkan rute yang optimal yaitu jarak rute terpendek maka hasil dapat digunakan sebagai usulan rute yang akan diterapkan.

d. Penjadwalan Pengangkutan Sampah Domestik di Kecamatan Pati

Penjadwalan dibutuhkan untuk menentukan proses pengangkutan sampah dengan mempertimbangkan waktu dan kondisi yang sesuai di sekitar lokasi TPS dan sumber sampah.

3. Analisis Permasalahan pada Ruas Jalan yang Terdampak Pengangkutan Sampah Domestik serta Dampak Penanganannya terhadap Kinerja Lalu Lintas

Analisis ini merupakan hasil dari survei pengamatan dan survei wawancara permasalahan apa saja yang ada pada sub sistem pengangkutan sampah. Dalam analisis ini mengidentifikasi ruas jalan yang terdampak pengangkutan sampah domestik serta dampak penanganannya terhadap kinerja lalu lintas. Hasil survei pengamatan mengenai pelanggaran melebihi kapasitas dan tata cara pemuatan sampah yang benar juga dibahas pada analisis ini.

4. Analisis Jumlah Timbunan Sampah dan Angkutan Sampah Tahun Rencana 2028

Analisis ini membahas mengenai peramalan jumlah timbunan sampah dan angkutan sampah tahun 2028. Jumlah timbunan sampah dan angkutan sampah tahun proyeksi dapat dicari dengan rumus peramalan jumlah pertumbuhan dengan cara di bawah ini, akan tetapi jika dengan adanya penambahan volume sampah tetapi kendaraan yang ada masih mampu melayani pengangkutan sampah, maka tidak perlu adanya penambahan kendaraan:

$$P_t = P_o \times (1+i)^n$$

Sumber: Eminugroho dan Lestari, 2014

Keterangan:

P_t = Jumlah peramalan tahun rencana

P_o = Jumlah kondisi eksisting

i = Faktor pertumbuhan

n = tahun

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Pola Pengumpulan, Pemindahan, dan Pengangkutan Sampah Domestik di Kecamatan Pati

Pembagian zona ditentukan terlebih dahulu sebagaimana tercantum dalam tabel di bawah ini yang mencakup lokasi depot atau pool, TPS, dan sumber sampah. Sampah kemudian diangkut menggunakan truk untuk menuju ke TPA Sukoharjo di zona 2. Kendaraan pengangkutan sampah memulai dan mengakhiri perjalanan di depot atau pool yang berada di zona 1 yang berlokasi di Kantor Dinas Lingkungan Hidup. Pengangkutan sampah menggunakan *arm roll truck* dilakukan di Zona 3 – 6, sedangkan pengangkutan sampah menggunakan *dump truck*, sepeda motor roda 3, dan *pick up* di zona 7 – 48.

Tabel 1. Lokasi Pool, TPA Sukoharjo, TPS, dan Sumber Sampah di Kecamatan Pati

Zona	Nama Zona	Koordinat
1	Depot / Pool	6°45'16.77"S, 111°1'16.85"E
2	TPA Sukoharjo	6°45'9.10"S, 110°59'19.25"E
3	TPS Pasar Sleko	6°45'24.00"S, 111°2'47.40"E
4	TPS Puri	6°44'58.49"S, 111°1'42.78"E
5	TPS Winong	6°44'24.02"S, 111°1'37.36"E
6	TPS Pasar Runting	6°43'17.81"S, 111°3'11.90"E
7	Titik Timbulan Sampah di Jl. Tentara Pelajar	6°44'58.62"S, 111°1'59.74"E
8	Titik Timbulan Sampah di Jl. Jiwonolo	6°45'10.70"S, 111°1'58.11"E
9	Titik Timbulan Sampah di Jl. Supriyadi	6°45'15.74"S, 111°1'53.77"E
10	Titik Timbulan Sampah di Jl. Mojopitu	6°45'20.13"S, 111°1'57.59"E
11	Titik Timbulan Sampah di Jl. Syeh Jangkung	6°45'27.12"S, 111°2'6.78"E
12	Titik Timbulan Sampah di Jl. Ronggowarsito	6°45'13.01"S, 111°1'41.69"E
13	Titik Timbulan Sampah di Jl. Kyai Pupus	6°45'50.91"S, 111° 2'30.77"E
14	Titik Timbulan Sampah di Jl. Ki Ageng Selo	6°45'35.05"S, 111° 2'6.35"E
15	Titik Timbulan Sampah di Jl. Pegadaian	6°45'9.27"S, 111°2'22.74"E
16	Titik Timbulan Sampah di Jl. R.A. Kartini	6°45'1.95"S, 111°2'22.01"E
17	Titik Timbulan Sampah di Jl. Kyai Saleh	6°45'6.01"S, 111°2'14.25"E
18	Titik Timbulan Sampah di Jl. Kamandowo	6°45'13.77"S, 111°2'12.21"E
19	Titik Timbulan Sampah di Jl. Wahid Hasyim	6°45'20.11"S, 111°2'17.79"E
20	Titik Timbulan Sampah di Jl. Rogowongso	6°45'22.87"S, 111°2'29.15"E
21	Titik Timbulan Sampah di Jl. Panunggulan	6°45'30.54"S, 111°2'30.34"E
22	Titik Timbulan Sampah di Jl. Pangeran Diponegoro	6°44'55.35"S, 111°2'17.01"E
23	Titik Timbulan Sampah di Jl. Soponyono	6°44'56.44"S, 111°2'43.53"E
24	Titik Timbulan Sampah di Jl. K.H. Ahmad Dahlan	6°45'5.67"S, 111°2'39.39"E
25	Titik Timbulan Sampah di Jl. Tondonegoro	6°45'7.74"S, 111°2'33.01"E
26	Titik Timbulan Sampah di Jl. Penjawi	6°44'47.83"S, 111°2'18.15"E
27	Titik Timbulan Sampah di Jl. Raya Pati – Kudus	6°45'21.29"S, 111°1'15.52"E
28	Titik Timbulan Sampah di Jl. Tunggul Wulung	6°44'58.84"S, 111°1'34.96"E
29	Titik Timbulan Sampah di Jl. Kolonel Sunandar	6°44'36.66"S, 111°1'35.22"E
30	Titik Timbulan Sampah di Jl. Ahmad Yani	6°44'24.29"S, 111°1'59.71"E
31	Titik Timbulan Sampah di Jl. Sunan Muria	6°44'31.03"S, 111°2'3.61"E
32	Titik Timbulan Sampah di Jl. Agil Kusumadya	6°44'38.28"S, 111°2'5.05"E
33	Titik Timbulan Sampah di Jl. Kolonel Sugiyono	6°44'37.03"S, 111°2'3.39"E
34	Titik Timbulan Sampah di Jl. Sunan Kalijaga	6°44'23.93"S, 111°2'7.33"E
35	Titik Timbulan Sampah di Jl. Tombronegoro	6°45'11.66"S, 111°2'22.78"E
36	Titik Timbulan Sampah di Jl. Panglima Sudirman	6°45'11.45"S, 111°2'21.49"E
37	Titik Timbulan Sampah di Jl. Dr. Wahidin	6°45'9.36"S, 111°2'26.20"E
38	Titik Timbulan Sampah di Jl. DR. Susanto	6°44'55.76"S, 111°2'28.66"E
39	Titik Timbulan Sampah di Jl. Pati - Tayu	6°44'4.53"S, 111° 2'44.37"E
40	Titik Timbulan Sampah di Jl. DR. Soetomo	6°45'24.64"S, 111°2'22.87"E

Zona	Nama Zona	Koordinat
41	Titik Timbulan Sampah di Jl. Mr. Iskandar	6°45'30.75"S, 111°2'22.68"E
42	Titik Timbulan Sampah di Jl. Pemuda	6°45'13.66"S, 111°2'29.80"E
43	Titik Timbulan Sampah di Jl. Pati - Juwana	6°43'57.56"S, 111°5'47.69"E
44	Titik Timbulan Sampah di Jl. H.O.S Cokroaminoto	6°45'17.76"S, 111°2'50.21"E
45	Titik Timbulan Sampah di Jl. Roro Mendut	6°45'23.65"S, 111°2'51.56"E
46	Titik Timbulan Sampah di Jl. H. Munadi	6°45'25.77"S, 111°2'53.80"E
47	Titik Timbulan Sampah di Jl. Setiabudi	6°45'18.76"S, 111°2'32.37"E
48	Titik Timbulan Sampah di Jl. M.H. Thamrin	6°45'16.50"S, 111°2'38.28"E

Berdasarkan analisis pola pengumpulan, pemindahan, dan pengangkutan sampah domestik di Kecamatan Pati, didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Data mengenai sarana yang dimiliki oleh Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Pati menunjukkan bahwa semuanya masih dalam kondisi baik dan laik jalan dengan cakupan pelayanan pengelolaan sampah di Kecamatan Pati mencapai 100%, yang berarti seluruh wilayah telah dilayani;
2. Pengelolaan sampah di Kecamatan Pati sudah menerapkan paradigma baru yaitu sampah yang dihasilkan tidak seluruhnya dibuang ke TPA, melainkan dikelola dengan pengurangan dan penanganan sampah. Selain itu, rata-rata timbulan sampah yang dihasilkan per orang per hari adalah 0,488 Kg/Jiwa/Hari pada Tahun 2021, 0,498 Kg/Jiwa/Hari pada Tahun 2022, dan 0,5 Kg/Jiwa/Hari pada Tahun 2023;
3. Di Kecamatan Pati terdapat 4 TPS antara lain TPS Pasar Sleko, TPS Puri, TPS Winong, dan TPS Pasar Runting. Di setiap TPS terdapat kontainer *arm roll truck* berukuran 6 m³ dengan jumlah menyesuaikan lokasi dan jumlah timbulan sampah yang dihasilkan pada daerah/tempat tersebut. Di TPS Pasar Sleko terdapat 3 kontainer, TPS Puri terdapat 2 kontainer, TPS Winong terdapat 3 kontainer, dan TPS Pasar Runting terdapat 1 kontainer. Dari 4 TPS tersebut, hanya TPS Pasar Runting yang terletak di bahu jalan, yaitu Jalan Raya Pati – Tayu Segmen VII sehingga pada saat proses pengangkutan sampah dari TPS kemudian diangkut ke sarana pengangkutan, menyebabkan terjadinya antrian kendaraan;
4. Di Kecamatan Pati sudah menerapkan 5 pola pengumpulan sampah yaitu pola individual langsung, pola individual tidak langsung, pola komunal langsung, pola komunal tidak langsung, dan pola penyapuan jalan; dan
5. Proses pemindahan sampah di Kecamatan Pati terdapat 2 cara yaitu proses pemindahan tidak langsung yang dilakukan dari tempat pengumpul sampah atau sumber-sumber sampah menggunakan *dump truck* dan dilakukan secara manual untuk memindahkan sampah ke truk menggunakan tenaga manusia kemudian dibawa ke TPA Sukoharjo. Sedangkan untuk proses pemindahan langsung dilakukan dengan cara pengangkutan wadah berupa kontainer menggunakan *arm roll truck* kemudian dibawa langsung menuju ke TPA Sukoharjo. Dalam proses pemindahan sampah di Kecamatan Pati, sudah memenuhi persyaratan sebagaimana tercantum di SNI 19-2454-2002 yaitu dilakukan dengan dua cara, cara pertama dilakukan dengan pemindahan secara manual yang mana petugas menggunakan cakar tiga, sapu lidi, dan serok untuk dikumpulkan di keranjang rotan kemudian dimasukkan ke dalam bak *dump truck*. Sedangkan cara kedua dilakukan menggunakan *arm roll truck* yang mana petugas merapikan dan membersihkan sebagian kecil sampah yang tercecer diluar kontainer sampah, kemudian kontainer diangkut ke atas truk dengan mekanis. *Arm roll truck* mengangkut kontainer yang telah terisi penuh oleh sampah kemudian dibawa menuju ke TPA Sukoharjo. Dalam proses ini menggunakan HCS (*Hauled Container System*) dan SCS (*Stationary Container System*) menggunakan *dump truck* secara manual dibantu oleh 3 – 5 orang. Pengangkutan menggunakan *dump truck* di Kecamatan Pati dilakukan 1 kali sehari. Sedangkan, pengangkutan menggunakan *arm roll truck* di Kecamatan Pati dilakukan 1 – 8 kali sehari, dengan mempertimbangkan lokasi

penempatan kontainer. Sedangkan untuk jumlah awak petugas yang dibawa ke TPA sebanyak 1 orang, yang mana hal ini telah memenuhi kriteria maksimum yaitu 1 orang.

Analisis Penentuan Rute Efektif dan Efisien Menggunakan Metode *Vehicle Routing Problem*

Berdasarkan analisis penentuan rute efektif dan efisien menggunakan metode *Vehicle Routing Problem*, didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Perjalanan yang dilakukan oleh kendaraan jenis *arm roll truck* pada rute eksisting menghasilkan total jarak tempuh pada TPS Pasar Sleko sepanjang 152,6 Km, TPS Puri sepanjang 51,6 Km, TPS Winong sepanjang 54,1 Km, dan TPS Pasar Runting sepanjang 34,6 Km dengan ritasi pada tiap TPS berbeda-beda yaitu 8 ritasi untuk TPS Pasar Sleko, 4 ritasi untuk TPS Puri, 3 ritasi untuk TPS Winong, serta 1 ritasi untuk TPS Pasar Runting. Sehingga, total jarak tempuh yang dicapai oleh kendaraan jenis *arm roll truck* adalah 292,9 Km. Selain itu, total penggunaan BBM per hari dalam proses pengangkutan sampah menggunakan kendaraan jenis *arm roll truck* adalah 29,3 liter. Jika biaya BBM dalam satuan liter dikonversi ke rupiah, dengan harga Pertamina Dex per 1 liter adalah Rp15.100,00 serta perbandingan menggunakan *arm roll truck* berbeda dengan *dump truck*, yang mana *arm roll truck* lebih hemat dalam penggunaan BBM yaitu 1:10 artinya 1 liter Pertamina Dex dapat digunakan untuk menempuh perjalanan sepanjang 10 Km, maka biaya BBM untuk 29,3 liter dikalikan dengan Rp15.100,00 yaitu Rp442.279,00. Apabila dikalikan 1 bulan maka membutuhkan dana sebesar Rp13.268.370,00 per bulan.
2. Total waktu pengangkutan semua ritasi atau waktu operasi pengangkutan sampah per hari ditambah dengan waktu menunggu pengumpulan sampah yang juga digunakan untuk waktu istirahat petugas pada rute eksisting adalah 12,88 jam. Berdasarkan kondisi eksisting pembagian tugas untuk melakukan pengangkutan sampah, dibagi menjadi 2 sesi waktu pengangkutan yaitu di pagi hari pukul 07.00 WIB – 11.00 WIB dan sore hari pukul 13.00 WIB – 17.00 WIB, dengan pembagian sesi pengambilan pada TPS Pasar Sleko yaitu 4 ritasi di pagi hari dan 4 ritasi di sore hari, 2 ritasi di pagi hari dan 2 ritasi di sore hari untuk TPS Puri, 2 ritasi di pagi hari dan 1 ritasi di sore hari untuk TPS Winong, serta 1 ritasi untuk TPS Pasar Runting yang menggunakan kendaraan *arm roll truck* sebanyak 7 unit. Selain itu, waktu pengangkutan yang digunakan untuk melayani semua TPS pada tiap sesi tidak melebihi jam kerja, yaitu untuk TPS Pasar Sleko membutuhkan waktu 3,27 jam per sesi, TPS Puri 1,35 jam per sesi, TPS Winong 1,57 untuk sesi 1 dan 0,84 untuk sesi 2, serta TPS Pasar Runting 1,22 jam.
3. Perjalanan yang dilakukan oleh kendaraan jenis *dump truck* pada rute eksisting menghasilkan total jarak tempuh dari 7 rute adalah 172,73 Km dengan 1 ritasi. Selain itu, total penggunaan BBM per hari dalam proses pengangkutan sampah menggunakan kendaraan jenis *dump truck* adalah 21,6 liter. Jika biaya BBM dalam satuan liter dikonversi ke rupiah, dengan harga Pertamina Dex per 1 liter adalah Rp15.100,00 serta perbandingan menggunakan *dump truck* berbeda dengan *arm roll truck*, yang mana *dump truck* lebih boros dalam penggunaan BBM yaitu 1:8 artinya 1 liter Pertamina Dex dapat digunakan untuk menempuh perjalanan sepanjang 8 Km, maka biaya BBM untuk 21,6 liter dikalikan dengan Rp15.100,00 yaitu Rp326.028,00. Apabila dikalikan 1 bulan maka membutuhkan dana sebesar Rp9.780.836,00 per bulan.
4. Total waktu pengangkutan semua ritasi di atas atau waktu operasi pengangkutan sampah per hari ditambah dengan waktu menunggu pengumpulan sampah pada rute eksisting adalah 18,2 jam. Berdasarkan kondisi eksisting, kendaraan *dump truck* yang digunakan untuk melakukan proses pengangkutan sampah sebanyak 7 unit.
5. Berdasarkan hasil dari perhitungan, kendaraan yang dibutuhkan untuk proses pengangkutan sampah menggunakan *arm roll truck* adalah 17 unit. Akan tetapi, kendaraan yang sudah tersedia saat ini masih mampu melayani pengangkutan sampah, jadi tidak perlu adanya penambahan kendaraan pengangkutan sampah.
6. Perjalanan yang dilakukan oleh kendaraan jenis *arm roll truck* hasil dari VRP menghasilkan total jarak tempuh pada TPS Pasar Sleko sepanjang 148,4 Km, TPS Puri sepanjang 51,6 Km, TPS Winong sepanjang 53,6 Km, dan TPS Pasar Runting sepanjang 33,8 Km. Jadi, total jarak

tempuh perjalanan kendaraan jenis *arm roll truck* adalah 287,4 Km. Selain itu, total penggunaan BBM per hari adalah 28,74 liter, maka biaya BBM untuk 28,74 liter dikalikan dengan Rp15.100,00 yaitu Rp433.974,00. Apabila dikalikan 1 bulan maka membutuhkan dana sebesar Rp13.019.220,00 per bulan. Jika dibandingkan dengan kondisi rute eksisting, maka selisih rute eksisting dengan rute usulan yaitu 5,5 Km, sedangkan selisih BBM yang digunakan sebanyak 0,55 liter atau penghematan biaya BBM sebesar Rp249.150,00 per bulan.

7. Hasil dari VRP mengenai total waktu pengangkutan semua ritasi atau waktu operasi pengangkutan sampah per hari ditambah dengan waktu menunggu pengumpulan sampah yang juga digunakan untuk waktu istirahat petugas adalah 12,02 jam. Berdasarkan kondisi eksisting dan usulan pembagian tugas untuk melakukan pengangkutan sampah, dibagi menjadi 2 sesi waktu pengangkutan yaitu di pagi hari pukul 07.00 WIB – 11.00 WIB dan sore hari pukul 13.00 WIB – 17.00 WIB, dengan pembagian sesi pengambilan pada TPS Pasar Sleko yaitu 4 ritasi di pagi hari dan 4 ritasi di sore hari menggunakan kendaraan 1 dan 2, 2 ritasi di pagi hari dan 2 ritasi di sore hari untuk TPS Puri menggunakan kendaraan 3 dan 4, 2 ritasi di pagi hari dan 1 ritasi di sore hari untuk TPS Winong menggunakan kendaraan 6, serta 1 ritasi untuk TPS Pasar Runting menggunakan kendaraan 7 sehingga kendaraan *arm roll truck* yang digunakan adalah 7 unit. Selain itu, waktu pengangkutan yang digunakan untuk melayani semua TPS pada tiap sesi mengalami pengurangan dibandingkan dengan kondisi eksisting, yaitu untuk TPS Pasar Sleko membutuhkan waktu 2,87 jam per sesi yang lebih hemat 0,4 jam dari eksisting, TPS Puri 1,35 jam per sesi yang masih sama dengan kondisi eksisting karena rute eksisting sudah efektif dan efisien, TPS Winong 1,55 jam untuk sesi 1 yang lebih hemat 0,02 jam dari eksisting dan 0,84 jam untuk sesi 2, serta TPS Pasar Runting 1,18 jam yang lebih hemat 0,04 jam dari eksisting.
8. Berdasarkan hasil dari perhitungan, kendaraan yang dibutuhkan untuk proses pengangkutan sampah menggunakan *dump truck* adalah 2,15 unit kemudian dibulatkan menjadi 3 unit karena jika menggunakan 2 kendaraan maka volume sampah akan melebihi kapasitas kendaraan. Akan tetapi pada kondisi eksisting, pada proses pengangkutan sampah menggunakan 7 unit kendaraan.
9. Perjalanan yang dilakukan oleh kendaraan jenis *dump truck* hasil dari VRP menghasilkan total jarak tempuh sepanjang 106,79 Km. Selain itu, total penggunaan BBM per hari adalah 13,3 liter, maka biaya BBM untuk 13,3 liter dikalikan dengan Rp15.100,00 yaitu Rp201.566,00. Apabila dikalikan 1 bulan maka membutuhkan dana sebesar Rp6.046.984,00 per bulan. Jika dibandingkan dengan kondisi rute eksisting, maka selisih rute eksisting dengan rute usulan yaitu 65,94 Km, sedangkan selisih BBM yang digunakan sebanyak 8,3 liter atau penghematan biaya BBM sebesar Rp3.733.853,00 per bulan.
10. Hasil dari VRP mengenai total waktu pengangkutan semua ritasi atau waktu operasi pengangkutan sampah per hari ditambah dengan waktu menunggu pengumpulan sampah yang juga digunakan untuk waktu istirahat petugas adalah 8,4 jam. Berdasarkan usulan, dalam proses pengangkutan sampah menggunakan kendaraan *dump truck* sebanyak 3 unit dari yang sebelumnya yaitu 7 unit. Selain itu, waktu pengangkutan yang digunakan untuk melayani semua titik timbulan di ruas-ruas jalan mengalami pengurangan dibandingkan dengan kondisi eksisting, yaitu lebih hemat 9,8 jam yang dapat dijadikan pedoman untuk menentukan penjadwalan atau waktu pelayanan pengangkutan sampah.
11. Berikut ini adalah waktu pelayanan usulan untuk kendaraan *arm roll truck* dan *dump truck*:

Tabel 2. Usulan Waktu Pelayanan Kendaraan *Arm Roll Truck*

No.	Lokasi	Waktu Pelayanan
1	TPS Pasar Sleko	Pukul 07.30 WIB - Pukul 11.00 WIB (Sesi 1)
		Pukul 13.30 WIB - Pukul 17.00 WIB (Sesi 2)
2	TPS Puri	Pukul 09.00 WIB - Pukul 11.00 WIB (Sesi 1)
		Pukul 14.00 WIB - Pukul 17.00 WIB (Sesi 2)

No.	Lokasi	Waktu Pelayanan
3	TPS Winong	Pukul 09.00 WIB - Pukul 11.00 WIB (Sesi 1) Pukul 14.00 WIB - Pukul 17.00 WIB (Sesi 2)
4	TPS Pasar Runting	Pukul 10.00 WIB - Selesai

Tabel 3. Usulan Waktu Pelayanan Kendaraan *Dump Truck*

No.	Rute	Waktu Pelayanan
1	1-44-42-43-18-9-15-16-17-8&10-19-40-11-46-45-13-48-22-23-2-1 1-33-34-26-39-38-20-21-41-14-12-7-32-31-30-29-2-1	Pukul 08.00 WIB - Selesai
2	1-27-28-37-47-24-25-35-36-2-1 1-44-42-43-18-9-15-16-17-8&10-19-40-11-46-45-13-48-22-23-2-1	Pukul 09.00 WIB - Selesai
3	1-33-34-26-39-38-20-21-41-14-12-7-32-31-30-29-2-1	Pukul 09.00 WIB - Selesai

Analisis Permasalahan pada Ruas Jalan yang Terdampak Pengangkutan Sampah Domestik serta Dampak Penanganannya terhadap Kinerja Lalu Lintas

Pada kondisi eksisting, ruas jalan yang terdampak oleh adanya pengangkutan sampah menggunakan *arm roll truck* adalah Jalan Pati – Tayu Segmen VII tepatnya berada di depan Pasar Runting yang terdapat kontainer pada bahu jalan. Dibawah ini adalah kondisi eksisting yang berada di depan Pasar Runting dan penampang melintang Jalan Pati – Tayu Segmen VII:



Gambar 2. Kondisi Eksisting di Depan Pasar Runting

Berdasarkan hasil survei, berikut ini merupakan pelanggaran yang terjadi pada saat proses pengangkutan sampah menggunakan kendaraan jenis *arm roll truck* dan *dump truck*:



Gambar 3. Pelanggaran Pengangkutan Sampah

Berdasarkan analisis permasalahan pada ruas jalan yang terdampak pengangkutan sampah domestik serta dampak penanganannya terhadap kinerja lalu lintas, didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil survei di TPS Pasar Runting, terjadi antrian sepanjang 11 m dan tundaan 8 detik/smp pada saat proses pengangkutan sampah menggunakan *arm roll truck* di TPS Pasar

Runting yaitu disebabkan oleh kendaraan yang putar balik untuk mengangkut kontainer. Untuk menangani masalah tersebut, pada saat proses pengangkutan sampah petugas dapat menggunakan gang permukiman yang ada di lokasi tersebut sehingga mengurangi terjadinya antrian dan tundaan.

- Adanya pelanggaran berupa pengangkutan sampah yang melebihi kapasitas kontainer dan tidak adanya penutup sampah seperti jaring ataupun terpal sehingga dapat mengganggu lingkungan maupun pengguna jalan lainnya karena sampah berterbangan serta tercecer di jalan. Dalam pengangkutan sampah diharuskan untuk menutup dengan jaring atau terpal untuk mencegah sampah tercecer, mengurangi bau, dan menghindari pencampuran sampah dengan air hujan yang dapat menyebabkan air lindi mengalir di jalan. Untuk menangani volume sampah yang melebihi kapasitas kendaraan di setiap TPS, maka sisa sampah yang tidak terangkut oleh *arm roll truck*, dapat diangkut oleh *dump truck* yang juga melayani pengangkutan sampah di ruas jalan yang terdapat TPS, dan kapasitas *dump truck* masih mampu menampung sisa sampah yang berada di setiap TPS.

Analisis Jumlah Timbulan Sampah dan Angkutan Sampah Tahun Rencana 2028

Berdasarkan data jumlah timbulan sampah 3 tahun terakhir mulai tahun 2021 sampai dengan tahun 2023 yang didapatkan dari Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Pati, maka analisis prediksi timbulan sampah menggunakan rumus peramalan $P_t = P_o \times (1+i)^n$. Selama tiga tahun terakhir, jumlah lokasi sumber sampah dan TPS tidak mengalami perubahan.

Tabel 4. Prediksi Timbulan Sampah dan Angkutan Sampah Tahun Rencana

No.	Tahun	Timbulan Sampah (Ton/Hari)	Arm Roll Truck (Ton/Hari)	Arm Roll Truck (m ³)	n (unit)	Dump Truck (Ton/Hari)	Dump Truck (m ³)	n (unit)
1	2024	55,037	48,433	98,843	16,47	6,604	13,479	2,25
2	2025	55,326	48,687	99,362	16,56	6,639	13,549	2,26
3	2026	55,617	48,943	99,883	16,65	6,674	13,620	2,27
4	2027	55,909	49,200	100,408	16,73	6,709	13,692	2,28
5	2028	56,202	49,458	100,935	16,82	6,744	13,764	2,29

Tabel di atas merupakan prediksi timbulan sampah dan angkutan sampah di tahun rencana 2028 dengan rata-rata pertumbuhan timbulan sampah sebesar 0,52% yang didapatkan dari data timbulan sampah tahun 2021 sampai dengan tahun 2023. Maka jumlah timbulan sampah pada tahun 2028 adalah 56,202 Ton/Hari. Selain itu, tidak perlu ada penambahan kendaraan, karena kendaraan yang ada masih mampu melayani proses pengangkutan sampah.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian yaitu pada tahun 2023 hampir 100% volume sampah di Kec. Pati sudah terangkut ke TPA Sukoharjo dengan menerapkan 5 pola pengumpulan sampah; selisih rute eksisting dengan rute usulan *arm roll truck* yaitu 5,5 Km, sedangkan selisih BBM yang dikeluarkan sebanyak 0,55 liter atau penghematan biaya BBM sebesar Rp249.150,00 per bulan. Sedangkan selisih rute eksisting dengan rute usulan *dump truck* yaitu 65,94 Km, sedangkan selisih BBM yang dikeluarkan sebanyak 8,3 liter atau penghematan biaya BBM sebesar Rp3.733.853,00 per bulan; penggunaan gang permukiman untuk proses pengangkutan sampah di TPS Pasar Runting, penggunaan jaring atau terpal, dan pengangkutan sisa sampah dari *arm roll truck* dengan menggunakan *dump truck*; serta jumlah timbulan sampah pada tahun 2028 adalah 56,202 Ton/Hari.

SARAN

Adapun saran yang diusulkan berdasarkan hasil penelitian ini antara lain perlu adanya sosialisasi mengenai rute dan waktu pelayanan yang baru kepada masyarakat; perlu adanya himbauan kepada

pengemudi dan petugas di TPA, TPS, serta sumber sampah untuk tidak melakukan pelanggaran terkait pengangkutan sampah; perlu adanya sosialisasi dan himbauan yang lebih masif kepada masyarakat agar tidak membuang sampah di tempat-tempat yang bukan sebagai TPS; jika adanya pembaruan terhadap lokasi TPA, TPS, dan sumber sampah, maka perlu dilakukan studi optimasi rute angkutan sampah yang baru; perlu adanya sistem informasi mengenai pengangkutan sampah seperti volume sampah, jumlah armada, waktu pelayanan, rute yang dilalui, dan mekanisme pengelolaan; serta perlu adanya kajian seperti perubahan waktu pengangkutan dan pengaturan waktu pelayanan seiring dengan bertambahnya volume sampah sampai tahun 2028.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua dan keluarga yang selalu ada untuk mendukung; Bapak Avi Mukti Amin, S.Si.T., M.T. selaku Direktur Politeknik Transportasi Darat Indonesia – STTD; Bapak Yuanda Patria Tama, S.ST., M.T. selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Transportasi Darat beserta staf dan jajarannya; Bapak R Caesario Boing Rachmat Raharjo, S. Si.T., M.T. dan Bapak Mohammad Sugiarto, A.Ma. PKB., S.T., M.Sc sebagai dosen pembimbing yang telah memberi bimbingan dan arahan langsung terhadap penyusunan penelitian ini; dosen-dosen Program Studi Sarjana Terapan Transportasi Darat yang telah memberikan bimbingan selama Pendidikan; Kepala Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Pati beserta staf dan jajarannya yang telah berkenan untuk memberikan data dukung penelitian; Alumni ALL di Dinas Perhubungan Kabupaten Pati yang telah membimbing dan mengarahkan dalam penyusunan penelitian ini; Kakak-Kakak dan Rekan-Rekan Taruna/i Ekstensi Politeknik Transportasi Darat Indonesia - STTD Angkatan XXVIII; serta seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu-persatu yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penyusunan penelitian ini.

REFERENSI

- _____. 2013, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 03/PRT/M/2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Rumah Tangga
- _____. 2002, SNI 19-2454-2002 tentang Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan
- _____. 2022, Peraturan Bupati Pati Nomor 15 Tahun 2022 tentang Rencana Pembangunan Daerah Kabupaten Pati Tahun 2023 – 2026
- Aminuddin, Ramadhani, Putri Randini, dan Hendrik Jimmyanto. 2019. "Analisis Waktu Angkut Sampah Padat Khususnya Dump Truk Pada Kawasan Kecamatan Alang-Alang Lebar Kota Palembang." *TEKNIKA: Jurnal Teknik* 6 (2): 178 - 185.
- Damanhuri, Enri, dan Tri Padmi, 2010, *Pengelolaan Sampah*, ITB, Bandung.
- Eminugroho, R., dan Dwi Lestari. 2014. "Optimasi Sistem Pengangkutan Sampah di Kota Yogyakarta dengan Model Vehicle Routing Problem Menggunakan Algoritma Sequential Insertion." *Jurnal Penelitian Saintek* 19 (1): 31 - 40.
- Ferdian, Deti Saskia Dela, Triana Sharly P. Arifin, dan Masayu Widiastuti. 2022. "Optimasi Rute Angkutan Sampah Kecamatan Sungai Kunjang Kota Samarinda dengan Metode Penyelesaian Vehicle Routing Problem (VRP)." *Kurva S: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik Sipil* 10 (3): 112 - 128.
- Nadjih, Difla, Sujarwo Saputro, dan Mukhlas Madani. 2020. "Identifikasi Jumlah dan Faktor Timbulan Sampah di Kawasan Wisata Malioboro." *JURNAL NUANAS AKADEMIK Jurnal Pembangunan Masyarakat* 5 (1): 39 - 52.
- Widodo, Dityo Eka, dan Muhammad Hadid. 2023. "Analisis Transportasi Pengangkutan Sampah di Kecamatan Samarinda Ulu, Kota Samarinda." *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil* 21 (2): 137 - 144.