



Optimasi Rute Pengangkutan Sampah dengan Menggunakan Metode *Nearest Neighbour* (Studi Kasus: Kabupaten Manokwari, Papua Barat)

Waste Transport Route System Optimization Using Nearest Neighbour Method (Case Study: Monokwari District, West Papua)

Mochammad Chaerul¹

Program Studi Pengelolaan Infrastruktur Air Bersih dan Sanitasi, Fakultas Teknik Sipil & Lingkungan Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

Michael Puturuhu

Program Studi Pengelolaan Infrastruktur Air Bersih dan Sanitasi, Fakultas Teknik Sipil & Lingkungan Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

Ika Artika

Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta, Indonesia

Artikel Masuk : 12 April 2021

Artikel Diterima : 18 April 2022

Tersedia Online : 30 April 2022

Abstrak: Seiring dengan pertambahan jumlah penduduk, timbulan sampah yang harus diangkut pun akan meningkat di Kabupaten Manokwari. Sistem pengangkutan *existing* yang belum optimal mengakibatkan sampah belum seluruhnya terangkut tepat waktu dan menumpuk di beberapa titik Tempat Penampungan Sementara (TPS). Kabupaten Manokwari dipilih karena baru 3 distrik dari total 4 distrik yang mendapatkan pelayanan pengangkutan sampah. Penelitian ini dilakukan untuk mengoptimasi rute pengangkutan sampah *existing* di Kabupaten Manokwari dengan menggunakan metode *Vehicle Routing Problem* (VRP) sehingga mendapatkan rute tercepat. Dari hasil sampling, didapatkan bahwa rerata timbulan sampah di 3 (tiga) Distrik terlayani sebesar 0,334 kg/orang/hari. Dengan rute eksisting, pengangkutan sampah membutuhkan waktu 3.289 menit/hari untuk menyelesaikan seluruh pengangkutan dari 25 unit TPS ke TPA Masiepi yang berlokasi di Distrik Manokwari Selatan. Optimasi rute pengangkutan menghasilkan total waktu 3.038 menit/hari, yaitu 251 menit/hari lebih cepat dibandingkan kondisi *existing*. Jumlah truk pengangkutan sampah yang dibutuhkan pun lebih sedikit, yaitu 13 unit dibandingkan kondisi *existing* yang sebanyak 15 unit. Dari studi ini memperlihatkan bahwa optimasi rute pengangkutan sampah bukan hanya dapat menghemat waktu pengangkutan tetapi juga mengurangi kebutuhan truknya, sehingga dapat pula mengurangi kebutuhan biaya untuk pengelolaan sampah secara keseluruhan di Kabupaten Manokwari.

Kata Kunci: *nearest neighbour*; optimasi; pengangkutan sampah; rute tercepat; *vehicle routing problem*

¹ Korespondensi Penulis: Program Studi Pengelolaan Infrastruktur Air Bersih dan Sanitasi, Fakultas Teknik Sipil & Lingkungan Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia
Email: m.chaerul@ftsl.itb.ac.id

Abstract: Proportionally, with the population growth, the waste generation that must be transported will also increase in Manokwari Regency. Not optimal existing waste transportation cause not all wastes transported on time and wastes becomes heap at several temporary waste storage (TPS) sites. The Manokwari Regency, selected as only three of the four districts, has waste transportation services. This study aims to optimize the existing waste transportation route by applying the Vehicle Routing Problem (VRP) method to generate the fastest route. From the sampling results, it was found that the average waste generation from the 3 (three) districts was 0.334 kg/person/day. With the existing route, it takes 3,289 minutes per day to transport the waste from 25 temporary waste storage (TPS) units to the final disposal site (TPA) of Masiepi located in South Manokwari District. Transportation route optimization resulted in a total transportation time of 3.038 minutes/day, which is 251 minutes/day faster than the existing conditions. The number of garbage trucks required is also less, i.e., 13 units compared to the existing condition of 15 units. From this study, it was found that the transportation of waste can help to shorten the time of transportation and reduce the need for trucks, thus reducing the cost requirements for overall waste management in Manokwari Regency.

Keywords: fastest route; nearest neighbour; optimization; waste transportation; vehicle routing problem

Pendahuluan

Pengangkutan sampah merupakan salah satu subsistem dalam pengelolaan sampah perkotaan. Pengangkutan sampah yang dimaksud adalah sebagai suatu kegiatan operasional yang dimulai dari lokasi pemindahan atau dari sumber sampah secara langsung menuju ke pemrosesan atau Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Pengangkutan sampah merupakan salah satu komponen penting dan membutuhkan perhitungan yang cukup teliti, dengan sasaran mengoptimalkan waktu angkut yang diperlukan dalam sistem tersebut (Damanhuri & Padmi, 2010). Sesuai dengan SNI 19-2454-2002 Tentang Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan, pengumpulan dan pengangkutan sampah biasanya dilakukan dengan dua cara yaitu, secara langsung maupun secara tidak langsung dengan menggunakan transfer depo/kontainer sebagai Tempat Penampungan Sementara (TPS).

Saat ini, pengelolaan sampah menjadi permasalahan umum yang banyak dihadapi oleh kota/kabupaten di Indonesia. Permasalahan yang timbul bukan hanya dari aspek teknis saja tetapi juga mencakup aspek non teknis juga (Mulyadin et al., 2018). Di antara berbagai permasalahan aspek teknis pengelolaan sampah, pengangkutan sampah menjadi salah satu tahapan yang penting, terutama bagi kota/kabupaten yang memiliki keterbatasan prasarana sarana tetapi memiliki wilayah administrasi yang sangat luas (Dobiki, 2018). Kedua hal di atas juga dihadapi oleh Kabupaten Manokwari, sehingga dipilih menjadi wilayah studi pada penelitian ini.

Menurut Widyastiti & Kamila (2019) dan Jivani et al. (2018), permasalahan sistem pengangkutan sampah dapat dipandang sebagai *vehicle routing problem* (VRP). Optimasi sistem pengangkutan sampah menjadi penting karena berkonsekuensi pada kebutuhan biaya dan emisi gas buang dari kendaraan ke lingkungan (Chaerul et al., 2016; Chaerul & Tompubolon, 2019; Das & Bhattacharyya, 2015). Berbagai macam metode optimasi sistem pengangkutan telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, antara lain menggunakan metode yang berdasarkan sistem informasi geografis (Hidayat, 2013; Ridha et al., 2016), metode *tabu search*. Metode *nearest neighbour* sendiri telah banyak diaplikasikan untuk menyelesaikan permasalahan pengangkutan sampah, baik untuk kasus di luar negeri (Du & He, 2012; Li et al., 2019; Wei-Kleiner, 2016; Yu et al., 2016), maupun di Indonesia (Hermawan, 2018; Rahma et al., 2020).

Kabupaten Manokwari yang merupakan ibukota Provinsi Papua Barat memiliki luas wilayah 1.556,94 km² dan berpenduduk sebanyak 169.852 jiwa yang terdiri dari 89.572 jiwa penduduk laki-laki dan 79.280 jiwa penduduk perempuan dengan penambahan jumlah penduduk sebesar 2,58 persen (BPS Kabupaten Manokwari, 2018). Kabupaten Manokwari memiliki beberapa permasalahan dalam pengelolaan sampah termasuk dalam sistem pengangkutan sampah. Pengangkutan sampah yang belum optimal mengakibatkan pada beberapa titik TPS menjadi tempat penumpukan sampah liar yang tidak diangkut ke TPA yang berlokasi di Masiepi di Distrik Manokwari Selatan.

Di banyak kota/kabupaten di Indonesia, sistem pengangkutan sampah dilakukan dengan cara pengumpulan secara tidak langsung yaitu sampah yang dihasilkan dari penghasil dikumpulkan dengan menggunakan alat kumpul berupa gerobak sampah, motor 3 roda, dan lain-lain yang memiliki kapasitas kecil menuju ke TPS. Selanjutnya, sampah yang terkumpul di TPS akan diangkut dengan menggunakan truk dengan kapasitas lebih besar menuju ke TPA. Di Kabupaten Manokwari, pola pengangkutan sampah sedikit berbeda, yaitu pola pengumpulan sampah ke TPS dilakukan secara mandiri oleh masyarakat, tanpa menggunakan alat kumpul. Metode VRP biasanya banyak digunakan untuk pola pengumpulan dan pengangkutan sampah yang pertama, sedangkan dengan pola kedua diatas, seperti yang di Kabupaten Manokwari, belum banyak dilakukan penelitiannya, sehingga penelitian ini dapat berkontribusi dalam bidang optimasi sistem pengelolaan sampah di Indonesia. Selain itu, studi pengangkutan sampah lebih banyak terfokus pada kota-kota di Pulau Jawa, tetapi masih sedikit yang dilakukan diluar Pulau Jawa, termasuk di Pulau Papua.

Belum optimalnya sistem pengangkutan dan keterbatasan jumlah armada pengangkutan sampah mengakibatkan belum semua Distrik di Kabupaten Manokwari mendapatkan pelayanan. Dari total 4 Distrik yang ada, hanya 3 Distrik yang mendapatkan pelayanan pengangkutan sampah yang disediakan oleh Pemerintah Daerah Kabupaten Manokwari, yaitu: Distrik Manokwari Selatan, Distrik Manokwari Barat dan Distrik Manokwari Timur. Sementara itu, di Distrik Manokwari Utara pengangkutan sampahnya masih diserahkan sepenuhnya kepada swadaya masyarakat. Dengan kondisi tersebut maka Kabupaten Manokwari dipilih sebagai wilayah studi dengan harapan dapat memperluas wilayah pelayanan pengelolaan sampah di masa datang melalui optimasi *existing* pengangkutan sampah terlebih dahulu.

Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk, jumlah sampah yang dihasilkan oleh penduduk di Kabupaten Manokwari pun meningkat setiap tahunnya (BPS Kabupaten Manokwari, 2018). Oleh karena itu, dibutuhkan sistem pengelolaan sampah yang lebih baik, termasuk dengan mengoptimalkan sistem pengangkutan sampah di Kabupaten Manokwari. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan rute pengangkutan sampah dengan waktu tercepat dengan mengaplikasikan metode *nearest neighbour* dengan studi kasus yang dipilih adalah Kabupaten Manokwari, Propinsi Papua Barat.

Metode Penelitian

Studi optimasi sistem pengangkutan sampah di Kabupaten Manokwari ini dimulai dengan sampling timbulan sampah dan observasi lapangan, terutama yang berkaitan dengan kondisi *existing* dan identifikasi permasalahan pengangkutan sampah yang dihadapi, mulai dari pool armada menuju ke TPS dan selanjutnya ke TPA. Semua pool, TPS dan TPA didata lokasi detailnya dengan menggunakan alat *global positioning system* (GPS). Demikian pula dengan rute pengangkutan sampahnya. Termasuk dalam observasi ini adalah rute pengangkutan dan pencatatan waktu tempuh yang dibutuhkan untuk mengangkut semua sampah yang terkumpulkan di total 25 lokasi TPS ke TPA Masiepi.

Optimasi permasalahan pengangkutan sampah di Kabupaten Manokwari ini didekati sebagai bentuk *vehicle routing problem* (VRP) untuk mendapatkan rute pengangkutan tercepat. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *nearest neighbour*. Metode ini dipilih dengan mempertimbangkan lokasi antar TPS yang relatif jauh dengan wilayah pelayanan yang sangat luas, sehingga pergerakan truk dari suatu TPS ke TPS terdekat selanjutnya dianggap paling baik untuk diaplikasikan di Kabupaten Manokwari ini.

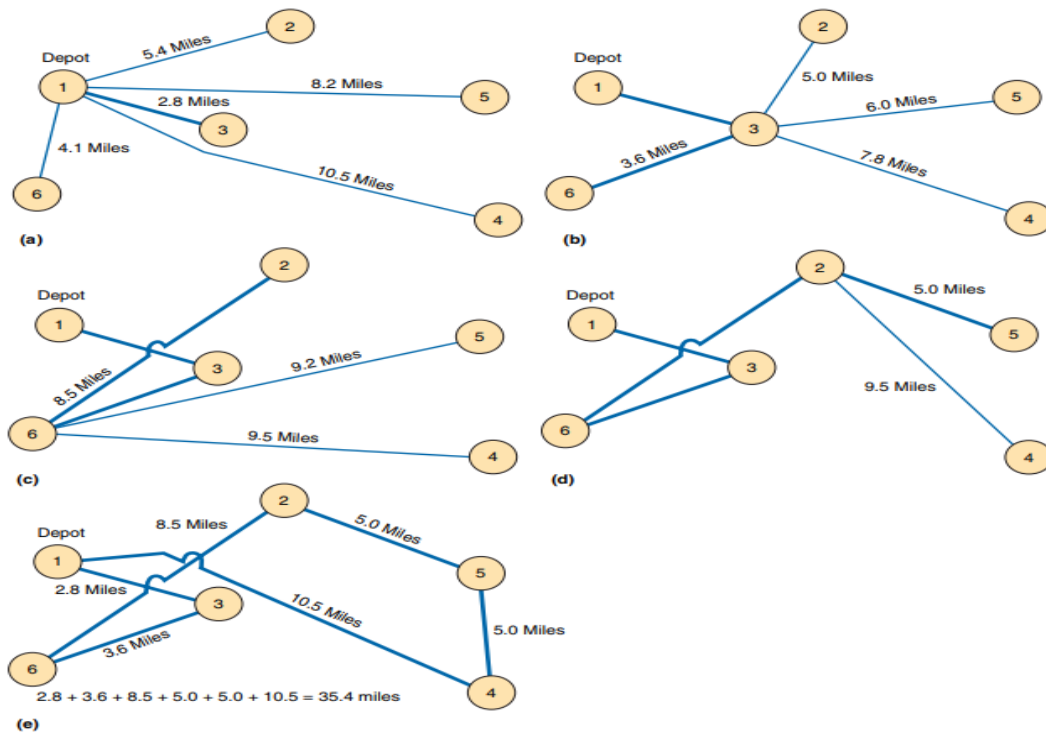
Sampling Timbulan Sampah

Sampling timbulan sampah dilakukan sesuai dengan SNI 19-3964-1994 tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan pada 3 distrik yang mendapatkan pelayanan pengangkutan sampah dari Pemerintah Kabupaten Manokwari, yaitu: Distrik Manokwari Selatan, Distrik Manokwari Barat, dan Distrik Manokwari Timur. Setiap distrik diambil sampel dari 5 rumah untuk memberikan gambaran pola timbulan sampah yang dihasilkan dari rumah tangga yang berada di distrik yang berbeda. Selama pengambilan sampel juga dilakukan pendataan jumlah jiwa penghuni rumah yang dijadikan responden, sehingga jumlah respondennya pun sama dengan yang diambil untuk sampling timbulan sampah, yaitu total sebanyak 15 rumah.

Metode Nearest Neighbour

Secara umum, untuk mendapatkan rute terpendek bisa dilakukan dengan beberapa metode yaitu metode konvensional / eksakta, metode heuristik, dan metode meta heuristik (Wijaya, 2016). Salah satu contoh pada metode meta heuristik yaitu metode *nearest neighbour* yang memiliki karakteristik pembentukan rute distribusi sesuai dengan keadaan nyata yang terdapat pada kondisi di lapangan. Metode *nearest neighbour* merupakan prosedur memulai rute kendaraan dari jarak yang paling dekat dengan depot (pool). Rute selanjutnya yaitu pelanggan yang paling dekat dengan pelanggan pertama yang sudah dikunjungi. Prosedur ini terus berulang sampai semua pelanggan masuk ke dalam rute perjalanan. Keistimewaan dari metode ini merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menjadwalkan sejumlah terbatas kendaraan dengan memperhatikan kapasitas maksimum. Prinsip dasar dari metode *nearest neighbour* yaitu membentuk rute perjalanan dengan memilih konsumen yang terdekat dari lokasi awal. Untuk mendapatkan solusi optimum dengan menggunakan metode *nearest neighbour* seperti yang terlihat pada Gambar 1.

1. Periksa jarak antara simpul 1 dan yang lainnya simpul Node terdekat ke node 1 adalah node 3, jadi tentukan tur parsial atau path sebagai $1 \rightarrow 3$. Perhatikan bahwa \rightarrow berarti bahwa node terhubung, bukan bahwa busurnya diarahkan. (Gambar 1a).
2. Temukan simpul terdekat ke simpul terakhir yang ditambahkan (simpul 3) yang saat ini tidak ada di jalur. Node 6 berjarak 3,6 mil dari node 3, jadi sambungkan ke jalur. Hasilnya adalah jalur tiga simpul $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6$ (Gambar 1b).
3. Temukan simpul yang paling dekat dengan simpul 6 yang belum terhubung. Ini adalah simpul 2, yaitu 8.5 mil dari node 6. Hubungkan untuk menghasilkan $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 2$. (Gambar 1c).
4. Node yang paling dekat dengan node 2 adalah node 5. Sehingga rute sekarang $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 2 \rightarrow 5$. (Gambar 1d).
5. Sambungkan simpul terakhir (simpul 4) ke jalur dan selesaikan tur dengan menghubungkan simpul 4 ke depot. Tur lengkap yang dibentuk adalah $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 1$. Jarak tempuh rute tersebut adalah 35,4 mil. (Gambar 1.e).



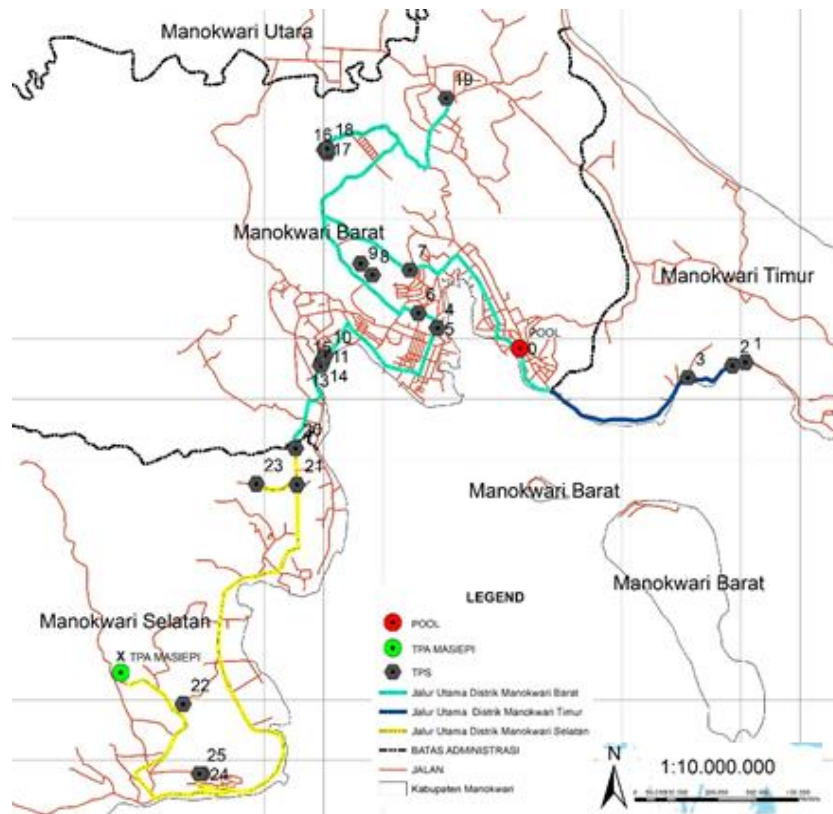
Sumber: Haksever et al., 2000

Gambar 1. Contoh Penggunaan Nearest Neighbour

Input dan Pengumpulan Data

Data lokasi penelitian menggunakan ArcGIS untuk melakukan pemetaan wilayah operasional pengangkutan sampah dari Pool/TPS/TPA yang di dapat dari survei lapangan untuk diakses ke *google earth* dan dilakukan digitasi untuk menjadi data *shapefile* pada ArcGIS 10.8, sehingga peta *existing* rute pengangkutan sampah di Kabupaten Manokwari dapat dilihat pada Gambar 2.

Waktu perjalanan merupakan waktu operasi yang dibutuhkan kendaraan untuk melakukan operasional pergi dan atau menuju Pool/TPS/TPA (waktu perjalanan antar node). Waktu tempuh dalam penelitian ini didapat melalui pencatatan manual dengan mengikuti truk pengangkut sampah. Selain waktu perjalanan, dilakukan juga pencatatan waktu muat dan waktu bongkar kontainer. Waktu muat adalah waktu yang dibutuhkan kendaraan ketika sampai di lokasi TPS dan melakukan penurunan kontainer kosong dan mengangkat kontainer isi ke kendaraan. Menurut hasil wawancara dengan pekerja, proses ini memerlukan waktu sebanyak 10 menit. Waktu bongkar adalah waktu yang dibutuhkan kendaraan ketika sampai di lokasi TPA dan melakukan penurunan kontainer isi sampai pembongkaran isi sampah sesuai dengan arahan petugas. Proses ini memerlukan 20 menit sampai pengangkutan kontainer kosong kembali ke kendaraan sesuai dengan wawancara dengan pekerja.



Gambar 2. Peta Kondisi *Existing* Jalur Pengangkutan Sampah

Hasil dan Pembahasan

Prediksi Timbulan Sampah di Kabupaten Manokwari

Berdasarkan sampling yang dilakukan pada tiga distrik yang dilayani pengangkutan sampah oleh Pemerintah Kabupaten Manokwari didapatkan hasil satuan timbulan sampah rata-rata untuk Distrik Manokwari Timur, Distrik Manokwari Barat dan Distrik Manokwari Selatan masing-masing sebesar 0,310 kg/orang/hari, 0,319 kg/orang/hari dan 0,379 kg/orang/hari. Sehingga, timbulan sampah rata-rata pada daerah yang dilayani Pemerintah Kabupaten Manokwari adalah sebesar 0,334 kg/hari/orang. Hasil *sampling* secara detail dapat dilihat pada Tabel 1.

Dengan menggunakan data hasil timbulan tiap distrik diatas dan mempertimbangkan jumlah penduduk yang ada di masing-masing distrik maka dapat diprediksi total jumlah sampah yang dihasilkan dari 3 distrik yang dilayani pengangkutan sampahnya oleh Pemerintah Kabupaten Manokwari (Tabel 2). Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa jumlah sampah terbanyak dihasilkan dari Distrik Manokwari Barat. Jumlah sampah yang lebih banyak ini sebenarnya telah diantisipasi oleh Pemerintah Kabupaten Manokwari dengan menyediakan lokasi TPS yang lebih banyak di Distrik Manokwari Barat.

Tabel 1. Hasil Sampling Timbulan Sampah 3 Distrik Terlayani di Kabupaten Manokwari

Distrik	Jumlah Penduduk	Rumah	Jumlah Jiwa	Timbulan (kg/hari)								Timbulan Rata-rata (kg/o/hari)
				1	2	3	4	5	6	7	8	
Manokwari Timur	10.401	1	3	3,35	3,90	3,75	3,67	4,10	3,25	3,77	3,50	0,310
		2	5	4,50	5,20	4,85	4,55	5,35	4,90	4,70	4,55	
		3	4	6,30	5,70	6,40	6,13	6,00	6,10	6,00	6,10	
		4	2	2,35	2,80	2,60	2,58	2,30	2,50	2,70	2,65	
		5	6	7,20	6,60	7,35	7,00	7,50	7,10	6,90	6,65	
		Total	20	23,70	24,20	24,95	23,93	25,25	23,85	24,07	23,45	
Manokwari Barat	96.924	1	4	4,73	4,31	5,06	4,14	4,95	5,60	4,20	5,85	0,319
		2	5	6,58	5,59	5,95	6,00	7,13	6,30	6,53	7,00	
		3	3	3,93	4,29	4,10	3,46	4,80	3,25	3,85	4,69	
		4	2	3,30	3,05	3,57	3,32	3,92	3,85	3,22	3,43	
		5	7	8,03	7,53	7,90	8,30	7,92	7,46	7,47	8,15	
		Total	21	26,57	24,77	26,58	25,22	28,72	26,46	25,27	29,12	
Manokwari Selatan	15.281	1	3	3,77	3,80	4,20	3,88	4,36	4,24	3,49	3,95	0,379
		2	2	3,53	2,70	2,40	2,98	3,22	3,35	2,40	2,76	
		3	5	5,95	6,34	6,79	5,87	6,89	6,85	5,80	6,40	
		4	4	5,65	6,46	5,53	5,92	6,20	5,73	5,20	5,85	
		5	4	4,60	5,59	4,57	5,20	4,90	4,85	5,60	4,96	
		Total	18	23,50	24,89	23,49	23,85	25,57	25,02	22,49	23,92	

Tabel 2. Prediksi Total Timbulan Sampah di Sumber

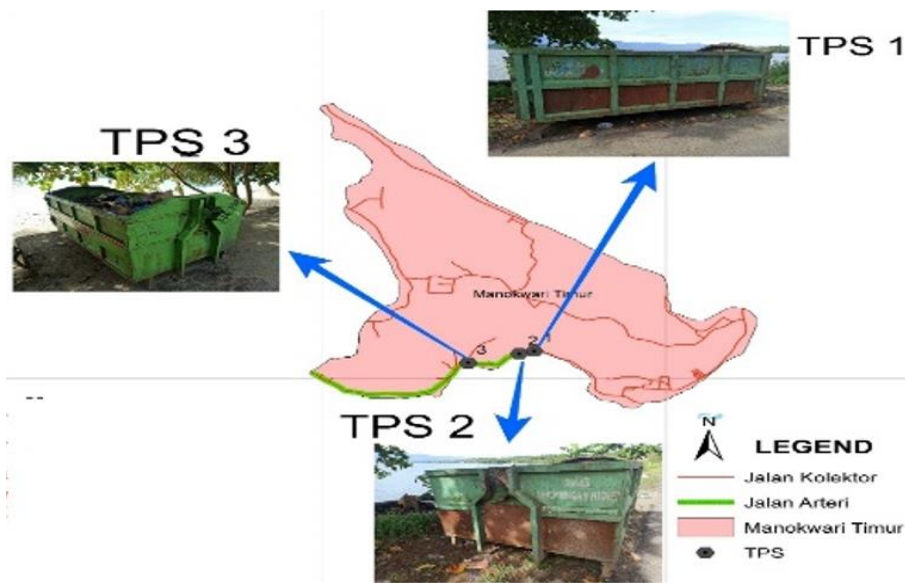
No.	Distrik	Timbulan Sampah di Sumber (kg/hari)
1.	Manokwari Timur	3.225
2.	Manokwari Barat	30.919
3.	Manokwari Selatan	5.791
	Total	39.935

Pengangkutan Sampah Existing di Kabupaten Manokwari

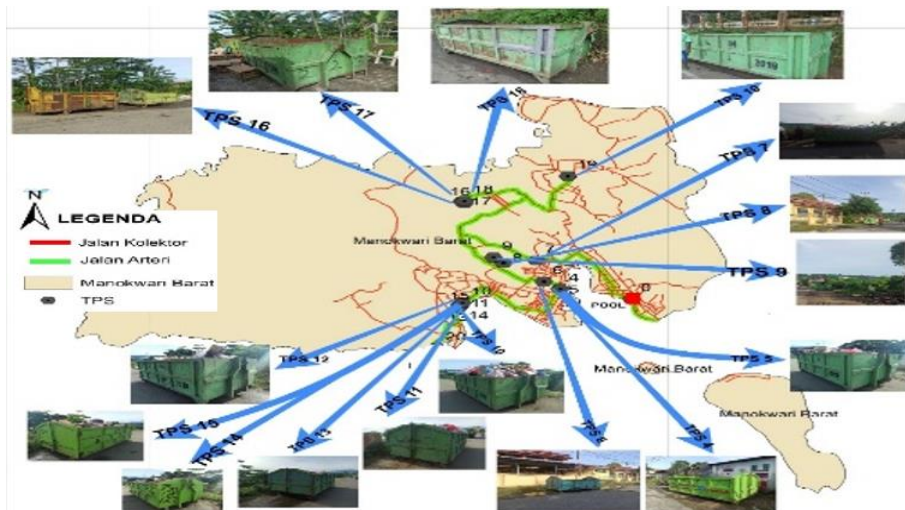
Pengelolaan persampahan di Kabupaten Manokwari merupakan tanggung jawab Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Manokwari. Sistem pengangkutan sampah yang terdapat pada Kabupaten Manokwari merupakan sistem kontainer angkat (*hauling container system* / HCS) yaitu dengan dimulai dari truk di pool yang membawa kontainer kosong menuju ke suatu TPS yang telah terdapat container isi. Kontainer kosong diletakkan di TPS tersebut dan truk dengan kontainer isi dari TPS tersebut selanjutnya dibawa ke TPA. Setelah membongkar sampah pada TPA, kendaraan dengan kontainer kosong akan menuju TPS selanjutnya dengan menggunakan pola yang sama. Setelah melayani semua TPS, truk dengan kontainer kosong dari TPA akan kembali ke pool.

Pemerintah Kabupaten Manokwari menyediakan 25 lokasi Tempat Penampungan Sementara (TPS) yang tersebar di 3 Distrik yang dilayani. Di setiap TPS telah tersedia kontainer baja yang dapat dipindahkan oleh *arm roll truck* yang memiliki 2 variasi kapasitas, yaitu 6 m³ dan 8 m³. Hasil pemetaan dan kondisi *existing* semua TPS yang ada di Kabupaten Manokwari dapat dilihat pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5 dengan masing-masing untuk distrik yang dilayani, yaitu: Distrik Manokwari Timur (sebanyak 3 TPS), Distrik Manokwari Barat (sebanyak 16 TPS), dan Distrik Manokwari Selatan

(sebanyak 6 TPS). Dengan mengikuti perjalanan pengangkutan sampah, total waktu pengangkutan sampah yang dibutuhkan untuk mengangkut sampah dari 25 TPS dengan kondisi *existing* adalah selama 3.289 menit per hari (Tabel 3).



Gambar 3. Lokasi dan Kondisi TPS di Distrik Manokwari Timur



Gambar 4. Lokasi dan Kondisi TPS di Distrik Manokwari Barat



Gambar 5. Lokasi dan Kondisi TPS di Distrik Manokwari Selatan

Tabel 3. Rekapitulasi Waktu Pengangkutan Sampah dengan Rute Existing

No.	Distrik	Kapasitas Kontainer di TPS	Waktu (Menit)
1	Manokwari Timur	8 m ³	591
2	Manokwari Barat	6 m ³	700
3	Manokwari Selatan	8 m ³	1.419
Total Waktu Pemodelan Rute			3.289

Optimasi Pengangkutan Sampah

Analisis rute dengan menggunakan metode *nearest neighbour* dengan memperhatikan tetangga terdekat dalam hal ini waktu tempuh kendaraan. Analisis dilakukan untuk masing-masing volume kontainer kapasitas 6 m³ dan 8 m³ per distrik di lokasi penelitian.

1. Distrik Manokwari Timur; Seluruh TPS menggunakan kontainer kapasitas 8 m³, sehingga terdapat 1 pool, 3 TPS yang harus dilayani dan 1 TPA dengan Node: Pool (0) TPS (1,2,3), TPA (X).

Sistem pengangkutan menggunakan sistem kontainer angkat (HCS)

Terdapat 1 pool (0), 3 TPS (1,2,3), dan 1 TPA (X)

$V = \{0,1,2,3,X\}$

Kendaraan tersedia 3 unit dengan kapasitas kendaraan 8m³

$Q_{Kendaraan} = 8 \text{ m}^3$

Waktu muat (*loading time*) dan waktu bongkar (*unloading time*)

$L_t = 10 \text{ menit}$

$U_t = 20 \text{ menit}$

Waktu tempuh (T_{ij}) dari Pool ke 3 TPS yang ada dan TPA dapat dilihat pada Tabel 4.

Rute Kendaraan 1 = 0 – 3 – X – 2 – X – 0

Waktu perjalanan = 32 + 77 + 87 + 82 + 51 = 329 menit

Waktu muat = 2 x 10 menit = 20 menit

Waktu bongkar = 2 x 20 menit = 40 menit

$$\begin{aligned} \text{Total waktu kendaraan 1} &= \text{waktu perjalanan} + \text{waktu muat} + \text{waktu bongkar} \\ &= 329 + 20 + 40 \text{ menit} \\ &= 389 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rute Kendaraan 2} &= 0 - 1 - X - 0 \\ \text{Waktu perjalanan} &= 38 + 83 + 51 &= 172 \text{ menit} \\ \text{Waktu muat} &= 1 \times 10 \text{ menit} &= 10 \text{ menit} \\ \text{Waktu bongkar} &= 1 \times 20 \text{ menit} &= 20 \text{ menit} \\ \text{Total waktu kendaraan 2} &= \text{waktu perjalanan} + \text{waktu muat} + \text{waktu bongkar} \\ &= 172 + 10 + 20 \text{ menit} \\ &= 202 \text{ menit} \end{aligned}$$

Tabel 4. Hasil Pemodelan Rute Pengangkutan Sampah di Distrik Manokwari Timur

Armada	Rute Melayani TPS Kapasitas 8 m ³	Waktu (Menit)
1	0 - 3 - X - 2 - X - 0	389
2	0 - 1 - X - 0	202
Total Waktu Pemodelan Rute		591

Dengan cara yang sama maka akan didapat rute dan waktu pengangkutan sampah di 2 distrik lainnya, yaitu: Distrik Manokwari Barat dan Distrik Manokwari Selatan. Karakteristik dari kedua Distrik tersebut diuraikan di bagian berikut.

2. Distrik Manokwari Barat;

- Terdapat 6 TPS yang menggunakan kontainer kapasitas 6 m³, sehingga terdapat 1 pool, 6 TPS yang harus dilayani dan 1 TPA dengan Node: Pool (0) TPS (10,11,12,13,14,15), TPA (X).
- Terdapat 11 TPS yang menggunakan kontainer kapasitas 8 m³, sehingga terdapat 1 pool, 11 TPS yang harus dilayani dan 1 TPA dengan Node: Pool (0) TPS (4,5,6,7,8,9,16,17,18,19,20), TPA (X).

Waktu tempuh dan rute pengangkutan sampah hasil optimasi di Distrik Manokwari Barat dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6. Contoh rute pengangkutan sampah hasil pemodelan untuk TPS dengan kapasitas kontainer 8 m³ dapat dilihat pada Gambar 6.

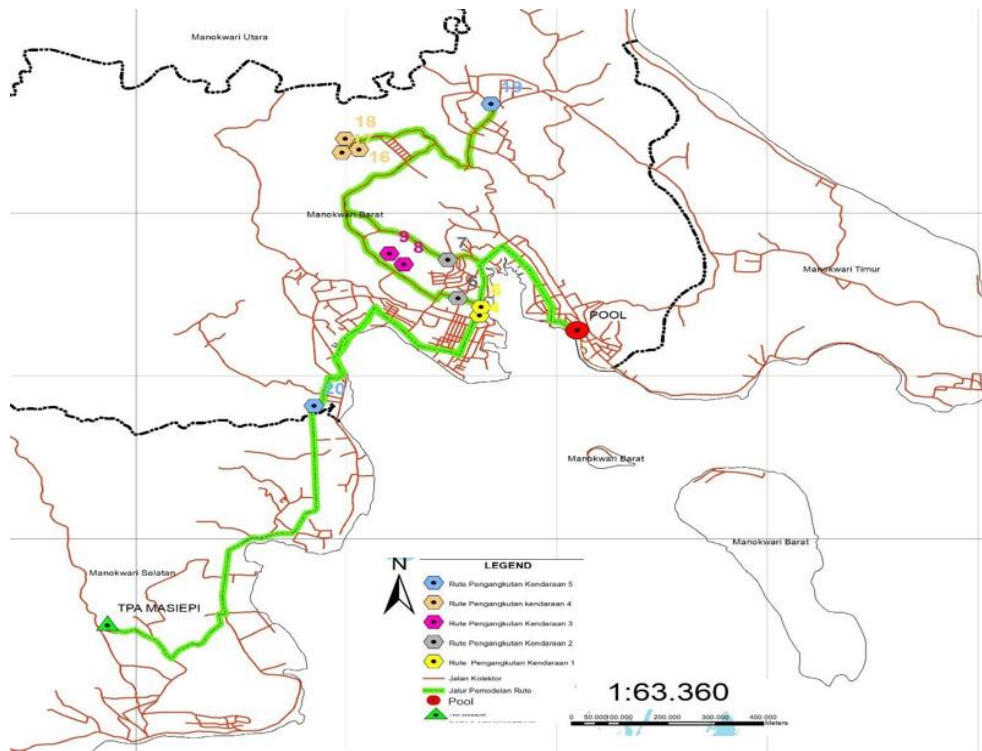
Tabel 5. Hasil Pemodelan Rute Pengangkutan Sampah di Distrik Manokwari Barat terhadap TPS Kapasitas 6 m³

Armada	Rute Melayani TPS Kapasitas 6 m ³	Waktu (Menit)
1	0 - 10 - X - 11 - X - 0	220
2	0 - 12 - X - 13 - X - 0	228
3	0 - 14 - X - 15 - X - 0	217
Total Waktu Pemodelan Rute		665

Tabel 6. Hasil Pemodelan Rute Pengangkutan Sampah di Distrik Manokwari Barat terhadap TPS Kapasitas 8 m³

Armada	Rute Melayani TPS Kapasitas 8 m ³	Waktu (Menit)
1	0 – 4 – X – 5 – X – 0	232
2	0 – 6 – X – 7 – X – 0	253
3	0 – 8 – X – 9 – X – 0	265
4	0 – 16 – X – 17 – 18 – X – 0	303
5	0 – 19 – X – 20 – X – 0	221
Total Waktu Pemodelan Rute		1.274

3. Distrik Manokwari Selatan; Seluruh TPS menggunakan kontainer kapasitas 8 m³, sehingga terdapat 1 pool, 6 TPS yang harus dilayani dan 1 TPA dengan Node: Pool (0) TPS (21, 22, 23, 24, 25), TPA (X). Hasil optimasi rute pengangkutan di Distrik Manokwari Selatan dapat dilihat pada Tabel 7.



Gambar 6. Rute Hasil Pemodelan Pengangkutan Sampah di Distrik Manokwari Barat yang Melayani TPS dengan Kapasitas Kontainer 8 m³

Tabel 7. Hasil Pemodelan Rute Pengangkutan Sampah di Distrik Manokwari Selatan

Armada	Rute Melayani TPS Kapasitas 8 m ³	Waktu (Menit)
1	0 – 21 – X – 23 – X – 0	185
2	0 – 22 – X – 24 – X – 0	176
3	0 – 25 – X – 0	147
Total Waktu Pemodelan Rute		508

Secara total, hasil optimasi rute pengangkutan dengan menggunakan metode Nearest Neighbour untuk 3 distrik yang terlayani di Kabupaten Manokwari membutuhkan waktu selama 3.038 menit perhari (Tabel 8). Bila dibandingkan dengan rute *existing* pengangkutan sampah yang membutuhkan waktu 3.289 menit perhari maka didapat pengurangan waktu pengangkutan sampah selama 251 menit per hari.

Tabel 8. Rekapitulasi Waktu Pengangkutan Sampah dengan Metode Nearest Neighbour

No.	Distrik	Kapasitas Kontainer di TPS	Waktu (Menit)
1	Manokwari Timur	8 m ³	591
2	Manokwari Barat	6 m ³	665
		8 m ³	1.274
3	Manokwari Selatan	8 m ³	508
Total Waktu Pemodelan Rute			3.038

Dari optimasi juga didapat hasil bahwa jumlah truk yang dibutuhkan untuk melayani 25 lokasi TPS di 3 distrik terlayani adalah sebanyak 13 truk saja. Sedangkan jumlah truk yang digunakan dengan rute *existing* adalah sebanyak 15 truk. Artinya terdapat pengurangan kebutuhan truk pengangkutan sampahh sebanyak 2 truk. Hal ini dikarenakan adanya optimasi rute pengangkutan yang lebih efisien yang didapat ketika mengaplikasikan metode *nearest neighbour*.

Hasil yang didapat dari studi di Kabupaten Manokwari ini dapat diperbandingkan dengan studi kasus di beberapa daerah lain di Indonesia. Metode *nearest neighbour* juga digunakan untuk studi kasus di Jakarta, dimana hasil simulasi bukan saja menghasilkan penghematan jumlah truk pengangkut sampah (39,16%), tetapi juga penghematan beberapa komponen lain, yaitu: kebutuhan bahan bakar (35,64%), pengeluaran untuk honor pekerja (39,16%), dan emisi gas rumah kaca (35,64%) (Hermawan, 2018). Selain menggunakan metode *nearest neighbour*, simulasi rute pengangkutan juga dapat menggunakan metode *sequential insertion*. Dari studi yang dilakukan untuk kasus pengangkutan sampah di Yogyakarta didapatkan bahwa metode *nearest neighbour* dapat membentuk rute yang lebih efektif dibandingkan metode *sequential insertion*, yaitu terdapat selisih jarak sebesar 32,86 km dan waktu selama 49,29 menit sebagai hasil perbandingan diantara kedua metode tersebut (Putra, 2014).

Kesimpulan

Dengan berbagai macam keterbatasan yang dimiliki, Pemerintah Kabupaten Manokwari hanya bisa melayani 3 dari 4 distrik yang ada, yaitu: Distrik Manokwari Timur, Distrik Manowari Barat dan Distrik Manokwari Selatan. Sementara, pengelolaan sampah di Distrik Manokwari Utara masih diserahkan kepada swadaya masyarakat. Timbulan sampah di sumber yang dihasilkan dari 3 distrik yang dilayani pengangkutan sampah oleh Pemerintah Kabupaten diprediksi sebesar 39.935 kg/hari atau setara dengan 0,334 kg/hari/orang.

Sistem pengangkutan sampah di Kabupaten Manokwari menggunakan sistem kontainer angkat (*hauled container system* / HCS) dengan cara 3 yaitu dimulai dari Pool dimana truk membawa dan meletakkan kontainer kosong ke suatu TPS yang telah terdapat kontainer isi dan di akhir operasi pengangkutan akan membawa kontainer kosong dari TPA menuju ke pool. Penelitian ini telah berhasil mendapatkan rute pengangkutan sampah yang lebih cepat dengan menggunakan metode *nearest neighbour* untuk kasus Kabupaten Manokwari. Pemodelan rute pengangkutan sampah dengan menggunakan metode *nearest neighbour* dapat menghemat waktu pengangkutan sebesar 8% dibandingkan kondisi

existingnya, yaitu dari 3.289 menit perhari menjadi 3.089 menit perhari (penghematan waktu 251 menit perhari). Pemodelan rute pengangkutan sampah dengan menggunakan metode *nearest neighbour* juga dapat menghemat kebutuhan armada truk pengangkut sampah yang dibutuhkan sebesar 13% dibandingkan kondisi *existing*, yaitu dari 15 truk menjadi 13 truk (penghematan 2 unit truk).

Penelitian terkait pemodelan sistem pengangkutan sampah, termasuk dengan metode *nearest neighbour*, masih belum banyak dilakukan, dan implementasi rute pengangkutan sampah di Indonesia biasanya hanya didasari oleh pengalaman empiris dari pengemudi truk sampah. Melalui penelitian diharapkan adanya penelitian terbaru sejenis dengan metode yang sama atau dengan metode ilmiah lainnya untuk studi kasus di daerah lain, sehingga pengambilan keputusan rute pengangkutan sampah di suatu wilayah dapat lebih optimal. Dengan rute pengangkutan yang lebih optimal diharapkan dapat mengurangi beban pengelolaan sampah yang harus dijalankan oleh pemerintah daerah.

Daftar Pustaka

- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *SNI 19-2454-2002 tentang tata cara teknik operasional pengelolaan sampah perkotaan*.
- BPS Kabupaten Manokwari. (2018). *Kabupaten Manokwari dalam angka 2018*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Manokwari.
- BSN. (1994). *SNI 19-3964-1994 tentang metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah perkotaan*. Badan Standardisasi Nasional.
- Chaerul, M., Dirgantara, G. G., & Akib, R. (2016). Prediction of greenhouse gasses emission from municipal solid waste sector in Kendari City, Indonesia. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 23(1), 42–48. doi:10.22146/jml.18772.
- Chaerul, M., & Mulananda, A. M. (2018). Minimization of municipal solid waste transportation route in West Jakarta using Tabu Search method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 148, 012026. doi:10.1088/1755-1315/148/1/012026.
- Chaerul, M., & Tompubolon, G. M. H. (2019). The role of waste compaction facility for reducing greenhouse gasses emission of waste transportation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 245, 012050. doi:10.1088/1755-1315/245/1/012050.
- Damanhuri, E., & Padmi, T. (2010). *Pengelolaan sampah terpadu. Diktat Mata Kuliah Pengelolaan Sampah*. Bandung: Penerbit ITB.
- Das, S., & Bhattacharyya, B. Kr. (2015). Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. *Waste Management*, 43, 9–18. doi:10.1016/j.wasman.2015.06.033.
- Dobiki, J. (2018). Analisis ketersediaan prasarana persampahan di Pulau Kumo dan Pulau Kakara di Kabupaten Halmahera Utara. *Jurnal Spasial*, 5(2), 220–228.
- Du, L., & He, R. (2012). Combining nearest neighbor search with tabu search for large-scale vehicle routing problem. *Physics Procedia*, 25, 1536–1546. doi:10.1016/j.phpro.2012.03.273.
- Haksever, C., Render, B., Russell, R., & Murdick, R. (2000). In *service management and operations, 2nd ed* (pp. 476–497). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Hermawan, F. (2018). Optimization of transportation of municipal solid waste from resource to intermediate treatment facility with nearest neighbour method (Study on six Sub Sub District in DKI Jakarta Province). *Jurnal of Environmental Science and Sustainable Development*, 1(1), 86–99. doi:10.7454/jessd.v1i1.21.
- Hidayat, R. (2013). Evaluasi sistem angkutan sampah kota kandangan dengan pemanfaatan sistem informasi geografis. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, 1(2), 201–214. doi:10.14710/jwl.1.2.201-214.
- Jivani, J. A., Nimavat, D. M., & Kalyani, F. K. (2018). A comparative analysis of different algorithm to generate optimal route for garbage collection system. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 05(04), 5.

- Li, Z., Chen, C., Yu, S., Wu, B., Hao, L., Wang, J., & Wu, Y. (2019). Safety evaluation of spent fuel road transportation based on weighted nearest neighbor method. *Annals of Nuclear Energy*, 127, 412–418. doi:10.1016/j.anucene.2018.12.036.
- Mulyadin, R. M., Iqbal, M., & Ariawan, K. (2018). Konflik pengelolaan sampah DKI Jakarta dan upaya mengatasinya. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 15(2), 179–192. doi:10.20886/jakk.2018.15.2.179-191.
- Putra, R. A. (2014). *Efektivitas metode sequential insertion dan metode nearest neighbour dalam penentuan rute pengangkut sampah di Kota Yogyakarta* (Skripsi). Universitas Negeri Yogyakarta, Jurusan Pendidikan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
- Rahma, N., Purwani, A., & Febriyanto, D. N. (2020). The best route determination using nearest neighbor approach. *International Journal of Industrial Optimization*, 1(1), 43–52. doi:10.12928/ijio.v1i1.1423.
- Ridha, M. R., Abdi, C., & Mahyudin, R. P. (2016). Studi optimasi rute pengangkutan sampah kota marabahan dengan sistem informasi geografis. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 2(2), 38–51. doi:10.20527/jukung.v2i2.2310.
- Wei-Kleiner, F. (2016). Tree decomposition-based indexing for efficient shortest path and nearest neighbors query answering on graphs. *Journal of Computer and System Sciences*, 82(1), 23–44. doi:10.1016/j.jcss.2015.06.008.
- Widyastiti, M., & Kamila, I. (2019). Model vehicle rounting problem dalam menentukan banyaknya rute dan armada pengangkutan sampah di Kota Bogor. *Ekologia: Jurnal Ilmiah Ilmu Dasar dan Lingkungan Hidup*, 19(1), 39–43. doi:10.33751/ekol.v19i1.1661.
- Wijaya, H. A. (2016). *Optimasi sistem pengangkutan sampah perkotaan (Studi Kasus: Surabaya Timur)*. Program Magister Pengelolaan Air Bersih dan Sanitasi, Institut Teknologi Bandung.
- Yu, B., Song, X., Guan, F., Yang, Z., & Yao, B. (2016). K-Nearest neighbor model for multiple-time-step prediction of short-term traffic condition. *Journal of Transportation Engineering*, 142(6), 04016018. doi:10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000816.