

Geomedia

Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian

Geomedia Vol. 19 No. 2 Tahun 2021 | 122 – 135

<https://journal.uny.ac.id/index.php/geomedia/index>

Pemodelan rute optimal berbasis SIG terhadap sistem pengangkutan sampah kota Bandung

Satriandi Haratua ^a, Byna Kameswara ^{a, 1*}

^a Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

¹ kameswara.byna@itenas.ac.id*

*korespondensi penulis

Informasi artikel	ABSTRAK
Sejarah artikel	<p>Pengoperasian TPPAS Legok Nangka sebagai pengganti TPA Sarimukti mempengaruhi sistem pengangkutan sampah Kota Bandung yang wajib menggunakan SPA sebagai tempat transit bagi truk pengangkut sampah sebelum dilanjutkan ke TPA tujuan. Terdapat 2 lokasi SPA yang beroperasi yaitu SPA Gedebage dan SPA Leuwigajah. Pemodelan rute dilakukan berdasarkan 3 lokasi tujuan dari setiap model, yang diproses menggunakan analisis spasial berbasis jaringan menggunakan <i>Network Analyst</i> (NA). Penggunaan NA menghasilkan rute optimal yang memiliki jarak tempuh pendek serta waktu tempuh optimal pada masing-masing pemodelan rute. Pemodelan Rute 1 menunjukkan bahwa dari 82 rute yang dimodelkan terdapat beberapa rute yang belum optimal, sehingga rute tersebut diberikan alternatif berupa pemindahan TPS tujuan ke rute lain yang searah dan dengan jarak antar TPS tujuan < 5 km. Hasil pemodelan ulang terhadap rute yang belum optimal pada Pemodelan 1 menghasilkan rute yang memiliki jarak dan waktu tempuh lebih singkat dibandingkan dengan model rute awal. Hasil rute pemodelan 2 dan 3 menunjukkan bahwa Model Rute 2-1 dan Model Rute 3-2 merupakan rute yang optimal untuk menuju ke masing-masing TPA tujuan.</p>
Diterima : 06 Oktober 2021	
Revisi : 15 November 2021	
Dipublikasikan : 30 November 2021	
Kata kunci:	
Pengangkutan Sampah	
Pemodelan Rute	
Analisis Jaringan	

Keywords:	ABSTRACT
Waste Transportation	<p>The operation of the TPPAS Legok Nangka as a substitute for the TPA Sarimukti affects the Bandung City waste transportation system which is obliged to use the SPA as a transit place for garbage trucks before proceeding to the destination landfill.. There are 2 SPA operating in Bandung, namely SPA Gedebage and SPA Leuwigajah. The route modeling is based on 3 destination locations from each model, which is processed using network-based spatial analysis using Network Analyst (NA). The use of NA produces an optimal route that has a short distance and optimal travel time for each route modeling. Route 1 modeling shows that from the 82 routes modeled there are several routes that are not optimal, so the route is given an alternative in the form of moving the destination TPS to another route in the same direction and with a distance between destination TPS < 5 km. The results of the re-modeling of the routes that are not optimal in Modeling 1 produce routes that have shorter distances and travel times than the initial route model. The results of modeling routes 2 and 3 show that the Route 2-1 Model and Route Model 3-2 are the optimal routes to get to each destination landfill.</p>
Route Modeling	
Network Analyst	

Pendahuluan

Pemerintah Indonesia melalui Perpres No. 58 Tahun 2017 berupaya mengantisipasi permasalahan pengelolaan sampah di Provinsi Jawa Barat dengan menetapkan pembangunan Tempat Pengolahan dan Pemrosesan Akhir Sampah (TPPAS) Legok Nangka sebagai respon dari kontrak tempat pembuangan akhir (TPA) Sarimukti yang akan berakhir pada tahun 2023. Sementara itu, Perda Kota Bandung No. 9 Tahun 2018 menjelaskan jika jarak dari lokasi ke TPA lebih dari 25 km, maka kabupaten/kota berkewajiban untuk memiliki Stasiun Peralihan Antara (SPA) sebagai sarana pemindahan sebelum sampah dibawa menuju TPA. Salah satu aspek dalam pengelolaan sampah yang menjadi fokus dari Kota Bandung dalam manajemen sampah perkotaan, adalah kegiatan pengangkutan sampah (Damanhuri, 2010). Pengangkutan sampah merupakan proses pemindahan sampah yang berasal dari sumber sampah, yang secara umum dikumpulkan pada tempat pembuangan sementara (TPS) dan dipindahkan menuju TPA (Dessy Apriyanti, 2017). Sistem pengelolaan sampah (SPS) terbagi kedalam 2 jenis, yakni aspek operasional dan non-operasional (Putra et al., 2020). Pada aspek operasional, biaya yang diperlukan pada proses pengangkutan sampah merupakan biaya dengan pengeluaran tertinggi (Sulemana et al., 2020).

Oleh karena itu pengeluaran yang diperlukan selama operasional pengangkutan sampah akan sangat bergantung terhadap penggunaan rute yang optimal (Hannan et al., 2018). Selain itu optimalisasi rute juga akan berpengaruh terhadap pengurangan dampak lingkungan yang timbul selama proses pengangkutan sampah berlangsung (Das & Bhattacharyya, 2015). Das dalam penelitiannya menjelaskan bahwa optimalisasi terhadap rute pengangkutan sampah dapat mengurangi jarak yang diperlukan oleh truk sampah untuk beroperasi sebesar 30%. Terdapat instrumen yang penting dalam perencanaan pengangkutan sampah, yaitu penggunaan rute dengan jarak dan waktu tempuh yang minimal bagi truk sampah untuk mengambil sampah dari tempat pembuangan sementara (TPS) hingga membuang sampah menuju ke tempat pembuangan akhir (TPA). Rute

pengangkutan dapat dikatakan optimal apabila rute mampu dibuat sependek mungkin dan minim hambatan, sehingga diharapkan dapat melancarkan proses pengangkutan sampah dari TPS ke TPA (Ridha et al., 2016). Metode yang dapat digunakan untuk memodelkan rute salah satunya adalah dengan menggunakan pendekatan Sistem Informasi Geografis (SIG) (Wijanarko, 2017).

Pemanfaatan SIG dalam proses pengelolaan sampah berguna untuk memudahkan proses pemodelan sebelum diaplikasikan pada kondisi lapangan. (Malakahmad et al., 2014; Zainun et al., 2016). Selain itu hal ini juga mencirikan upaya penerapan *smart city* melalui penggunaan teknologi yang bermanfaat bagi proses perencanaan pada suatu wilayah (Jenilasree et al., 2017; Mishra et al., 2019). Selain itu pendekatan SIG memiliki kegunaan salah satunya untuk melakukan pemodelan jaringan dari dunia nyata ke dalam bentuk digital melalui fitur Network Analyst (Lau, 2018; Sanjeevi & Shahabudeen, 2016). *Network Analyst* (analisis jaringan) adalah proses identifikasi dan pemodelan transportasi secara makro yang bertujuan untuk melihat hubungan antara lokasi dan objek yang dihubungkan dengan suatu jaringan transportasi (Hidayat, 2013).

Penelitian ini menggunakan data jaringan jalan yang berasal dari web pemetaan digital yaitu www.openstreetmap.org. *Openstreetmap* (OSM) adalah sebuah proyek berbasis web untuk membuat peta seluruh dunia yang gratis dan terbuka, dibangun sepenuhnya oleh sukarelawan dengan melakukan survei menggunakan GPS, mendigitasi citra satelit, dan mengumpulkan serta membebaskan data geografis yang tersedia di publik (Kanthi & Purwanto, 2016). Penggunaan OSM dilakukan karena selama beberapa tahun terakhir, basis data geografis yang dimiliki OSM telah berkembang pesat, dan telah mampu menyediakan berbagai data geografis untuk penggunaan yang luas (Wang & Zipf, 2017) seperti untuk manajemen bencana, perencanaan rute, simulasi lalu-lintas, dan lain-lain.

Pemindahan TPA tujuan ke TPPAS Legok Nangka tentu akan berpengaruh terhadap proses pengangkutan sampah di Kota Bandung. Selain itu, keterbatasan armada yang dimiliki PD

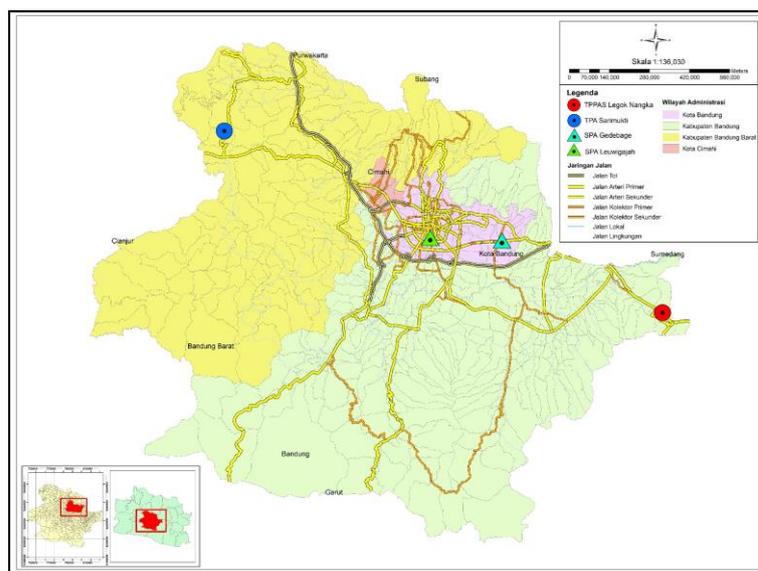
Kebersihan serta jumlah timbulan sampah yang dihasilkan terus meningkat menimbulkan kekhawatiran akan permasalahan seputar pengangkutan sampah. Perencanaan rute menjadi salah satu opsi yang dilakukan untuk dapat memaksimalkan kegiatan pengangkutan sampah. Melalui penggunaan rute yang optimal, kegiatan operasional pengangkutan sampah akan menjadi lebih efektif ditengah keterbatasan sumber daya yang dimiliki (Kardono, 2007).

Penggunaan SIG terhadap perencanaan pengangkutan sampah di suatu wilayah mampu menghasilkan pertimbangan kebijakan yang lebih efektif untuk kegiatan pengelolaan sampah (Nagarajappa, 2015). Selain itu pemanfaatan SIG sebagai alat pendukung dalam proses pengambilan keputusan memberikan hasil yang efektif dalam proses pengangkutan sampah meskipun dilakukan dengan kondisi sumber daya yang terbatas (Hatamleh et al., 2020). Optimalisasi terhadap rute berguna untuk memangkas jarak dan waktu tempuh yang diperlukan selama proses pengangkutan sampah, selain itu optimalisasi tersebut dapat berguna untuk mengurangi jumlah rute yang dilalui oleh truk sampah selama kegiatan operasional berlangsung (Sahoo et al., 2005). Selain itu penelitian ini tidak mempertimbangkan jumlah timbulan sampah di masa depan seperti yang dilakukan oleh penelitian milik Vu (2019),

maupun jumlah konsumsi BBM seperti pada penelitian Desai et al. (2018).

Ruang lingkup studi meliputi 4 wilayah administrasi (Gambar 1), yaitu Kota Bandung, Kabupaten Bandung, Kabupaten Bandung Barat, dan Kota Cimahi. Wilayah operasional dalam kegiatan pengelolaan sampah di Kota Bandung terbagi menjadi 4 wilayah yaitu Bandung Utara, Bandung Barat, Bandung Selatan dan Bandung Timur dengan total 127 TPS. Berikut wilayah operasional (WO) pengangkutan sampah menurut kecamatan di Kota Bandung :

- Bandung Utara : Terdapat 26 TPS, meliputi Kec. Sukasari, Kec. Sukajadi, Kec. Cidadap, Kec. Coblong, Kec. Bandung Wetan, Kec. Cibeunying Kidul, Kec. Cibeunying Kaler
- Bandung Barat : Terdapat 35 TPS, meliputi Kec. Cicendo, Kec. Andir, Kec. Bandung Kulon, Kec. Babakan Ciparay, Kec. Bojongloa Kaler, Kec. Bojongloa Kidul, Kec. Kec. Astana Anyar
- Bandung Selatan : Terdapat 40 TPS, meliputi Kec. Regol, Kec. Lengkong, Kec. Kiaracondong, Kec. Batununggal, Kec. Bandung Kidul, Kec. Sumur Bandung
- Bandung Timur : Terdapat 26 TPS, meliputi Kec. Arcamanik, Kec. Ujung Berung, Kec. Gedebage, Kec. Antapani, Kec. Rancasari, Kec. Buah Batu, Kec. Panyileukan, Kec. Cinambo, Kec. Mandalajati, Kec. Cibiru



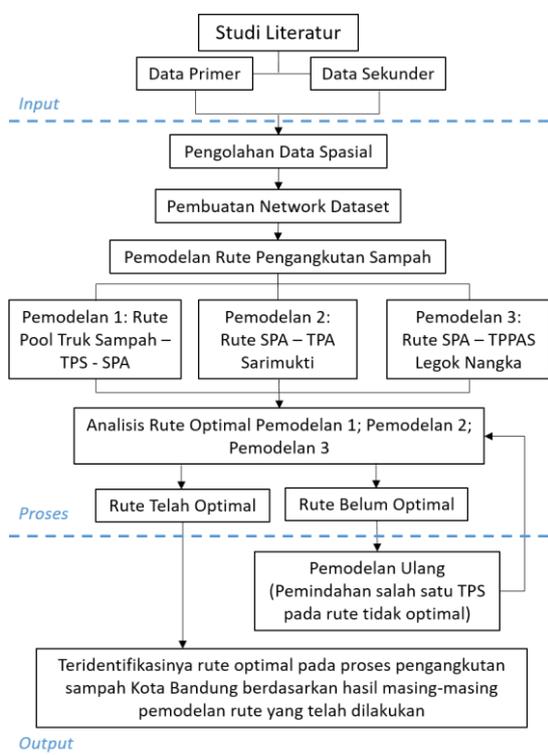
Gambar 1. Ruang Lingkup Wilayah Penelitian (Hasil Pengolahan, 2021)

Stasiun Peralihan Antara (SPA) di Kota Bandung beroperasi pada 2 titik, yaitu SPA Gedebage yang berlokasi di TPS Pasar Induk Gedebage, dan SPA Leuwigajah yang berlokasi di TPS Tegallega. SPA Gedebage akan melayani sarana pemindahan sampah pada wilayah operasional Bandung Selatan dan Bandung Timur, sementara SPA Leuwigajah akan melayani wilayah operasional Bandung Utara dan Bandung Barat.

Metode

Pemodelan Rute Pengangkutan Sampah

Pemodelan dilakukan menggunakan ArcMap 10.2. Secara umum penentuan rute yang optimal dapat dilakukan dengan menggunakan cara trial atau dicoba secara terus menerus, karena tidak terdapat aturan khusus yang mampu mengatur semua hal pada setiap situasi maupun lokasi (Sukarmawati, 2017). Penelitian ini menggunakan variabel jarak dan waktu untuk dapat mengetahui rute yang optimal. Penggunaan kedua variabel tersebut dapat dijadikan sebagai pertimbangan untuk dapat memperoleh suatu rute yang memiliki kondisi efektif dan efisien sesuai dengan keadaan di lapangan pada sistem pengelolaan sampah perkotaan (Ogwueleke, 2010).

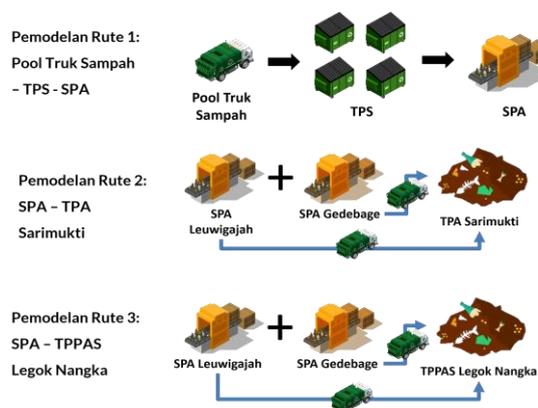


Gambar 2. Kerangka Analisis (Hasil Pengolahan, 2021)

Oleh karena itu, pemodelan rute dalam analisis ini dilakukan menggunakan tools *New Route* yang terdapat pada extension *Network Analyst*, untuk dapat menghasilkan rute optimal serta dapat menjadi alternatif rute baru bagi proses pengangkutan sampah di Kota Bandung. Secara umum, terdapat metode lain yang dapat digunakan untuk memodelkan rute, yaitu dengan menggunakan metode *Vehicle Routing Problem (VRP)* seperti pada penelitian milik Hannan et al. (2018) namun penggunaan VRP memerlukan beberapa variabel tambahan seperti jumlah timbulan sampah dan kapasitas truk pengangkut sampah.

Terdapat 3 pemodelan yang dilakukan, yaitu: Pemodelan 1 Rute Pool Truk Sampah – TPS – SPA; Pemodelan 2 Rute SPA – TPA Sarimukti; Pemodelan 3 Rute SPA – TPPAS Legok Nangka (Gambar 3). Pemodelan 1 menggunakan data yang berasal dari data operasional pengangkutan sampah eksisting di Kota Bandung. Data operasional pengangkutan sampah eksisting digunakan sebagai data dasar bagi pemodelan rute yang akan dilakukan, karena data tersebut diasumsikan telah mempertimbangkan kesesuaian antara kapasitas dan jumlah armada truk lokasi TPS tujuan yang perlu dilayani.

Pemodelan 2 dan Pemodelan 3 menggunakan rute yang berasal dari pemodelan yang dilakukan. Pemanfaatan pemodelan rute terhadap lokasi TPA yang baru telah dilakukan sebelumnya pada penelitian milik Khan & Samadder (2014), pemodelan tersebut berguna sebagai suatu penggambaran terkait pemilihan rute terpendek dan selanjutnya akan digunakan selama proses pengangkutan sampah.

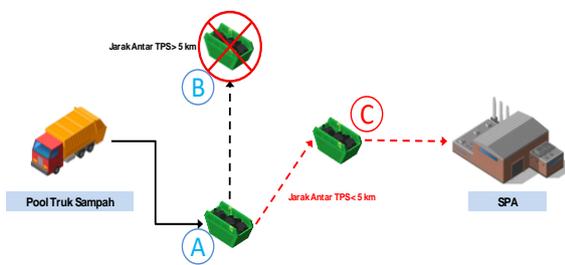


Gambar 3. Bagan Alir Pemodelan Rute Pengangkutan Sampah (Hasil Pengolahan, 2021)

Analisis Rute Optimal

Analisis Rute Optimal merupakan langkah yang digunakan untuk mengidentifikasi optimal atau tidak rute dari hasil pemodelan. Analisis rute optimal terhadap rute Pemodelan 1 merupakan suatu tahapan yang dilakukan untuk mengetahui tingkat optimal dari rute yang telah dilakukan pada hasil pemodelan. Tidak tersedianya aturan atau standar resmi yang digunakan untuk mengetahui rute optimal, maka pada penelitian ini digunakan asumsi bahwa rute dapat dikatakan optimal apabila jarak antara 2 atau lebih lokasi TPS tujuan dalam satu rute maksimal sejauh < 5 km.

Rute yang tidak sesuai dengan ketentuan sebelumnya dikategorikan sebagai rute yang tidak optimal, sehingga perlu dilakukan pemodelan ulang dengan memindahkan salah satu TPS menuju ke rute lain agar rute awal tersebut dapat menjadi optimal (Gambar 4). Sedangkan analisis rute optimal pada Pemodelan 2 dan 3 dilakukan dengan membandingkan jarak tempuh dan waktu tempuh dari setiap rute yang telah dimodelkan dari SPA Gedebage dan Leuwigajah untuk menuju ke TPA tujuan, untuk Pemodelan 2 menuju TPA Sarimukti dan Pemodelan 3 menuju TPPAS Legok Nangka.



Gambar 4. Ilustrasi Analisis Rute Optimal Pemodelan 1 (Hasil Pengolahan, 2021)

Hasil dan pembahasan

Pemodelan 1 Rute Pool Truk Sampah – TPS – SPA

Analisis rute optimal terhadap rute Pemodelan 1 merupakan suatu tahapan yang dilakukan untuk mengetahui tingkat optimal dari rute yang telah dilakukan pada hasil pemodelan. Tidak tersedianya aturan atau standar resmi yang digunakan untuk mengetahui rute optimal, maka pada penelitian ini digunakan asumsi bahwa rute dapat dikatakan optimal apabila jarak antara 2 atau lebih lokasi TPS tujuan dalam satu rute maksimal sejauh < 5 km. Rute yang tidak sesuai

dengan ketentuan tersebut dikategorikan sebagai rute yang tidak optimal, sehingga perlu diberikan alternatif lain agar rute tersebut dapat menjadi optimal. Alternatif tersebut berupa pemindahan salah satu lokasi TPS di rute awal, ke rute lain yang searah dengan jarak < 5 km.

a. Wilayah Operasional Bandung Barat

Hasil analisis pada rute pengangkutan sampah di Wilayah Operasional Bandung Barat menunjukkan bahwa dari 26 rute yang dilakukan pemodelan, terdapat 4 rute yang masih belum optimal, yaitu Rute 1-9; Rute 1-12; Rute 1-14; dan Rute 1-24. Hal ini terjadi akibat beberapa rute memiliki jarak antar TPS tujuan > 5 km. Selanjutnya dilakukan pemodelan ulang terhadap rute yang belum optimal, agar sesuai dengan asumsi yang digunakan.

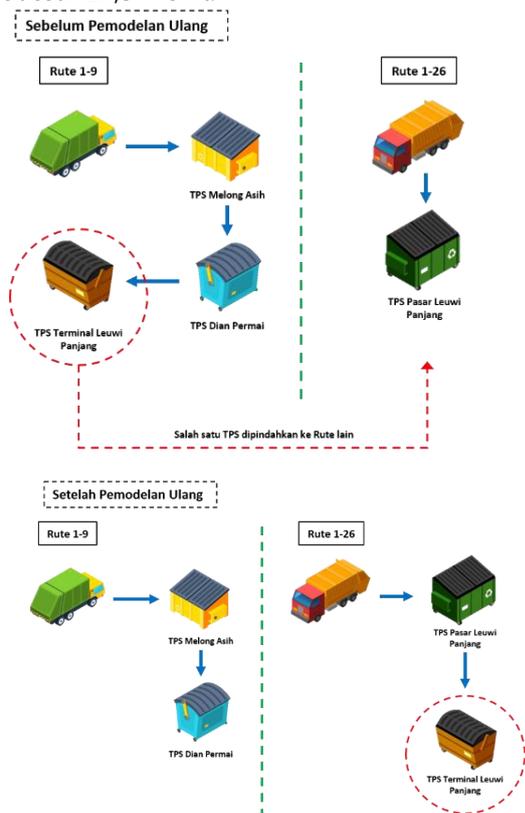
Tabel 1. Perbandingan Akumulasi Rute Bandung Barat Sebelum dan Setelah Pemodelan Ulang

Rute	Sebelum Pemodelan Ulang		Setelah Pemodelan Ulang	
	Jarak (Km)	Waktu (Menit)	Jarak (Km)	Waktu (Menit)
Rute 1-1	13,43	28	13,43	28
Rute 1-2*	11,42	25	12,41	24
Rute 1-3	5,65	12	5,65	12
Rute 1-4	6,23	13	6,23	13
Rute 1-5	9,15	16	9,15	16
Rute 1-6	5,55	13	5,55	13
Rute 1-7 ^d	5,31	11	6,04	15
Rute 1-8	10,96	24	10,96	24
Rute 1-9 ^a	10,24	21	8,57	20
Rute 1-10	7,84	13	7,84	13
Rute 1-11	8,46	18	8,46	18
Rute 1-12 ^a	11,70	26	8,16	18
Rute 1-13 ^b	6,81	19	8,17	24
Rute 1-14 ^a	16,50	29	9,09	26
Rute 1-15	4,37	8	4,37	8
Rute 1-16	7,68	17	7,68	17
Rute 1-17	9,41	21	9,41	21
Rute 1-18	5,89	14	5,89	14
Rute 1-19	7,80	18	7,80	18
Rute 1-20	10,03	19	10,03	19
Rute 1-21	6,84	14	6,84	14
Rute 1-22	6,80	19	6,80	19
Rute 1-23	7,41	17	7,41	17
Rute 1-24 ^a	8,92	21	7,25	17
Rute 1-25	5,32	11	5,32	11
Rute 1-26 ^b	5,78	15	6,21	15
Total	215,49	462	192,30	454
Rata-rata	8,29	17,8	7,69	17,5

Sumber: Hasil Analisis, 2021

a) rute awal; b) rute tujuan

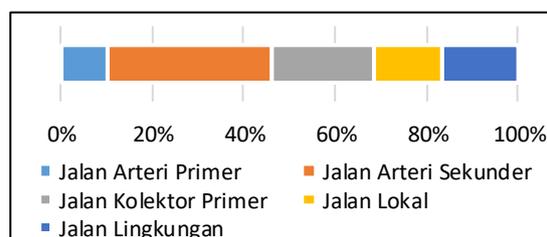
Pemodelan ulang dilakukan terhadap beberapa rute meliputi: a) Rute 1-9 dan Rute 1-26 (Gambar 5); b) Rute 1-12 dan Rute 1-7; c) Rute 1-14 dan Rute 1-2; d) Rute 1-24 dan Rute 1-13. Pemodelan yang dilakukan masing-masing meliputi 2 rute karena terdapat rute awal dan rute tujuan baru, sehingga keduanya saling berkaitan. Hasil pemodelan ulang terhadap 8 rute di Bandung Barat (Tabel 1) menunjukkan bahwa terjadi pengurangan jarak tempuh serta rata-rata waktu yang diperlukan untuk proses pengangkutan sampah. Jarak tempuh sebelum pemodelan ulang bagi wilayah Bandung Barat adalah 215,49 km, dengan rata-rata waktu tempuh sebesar 17,8 menit. Sedangkan setelah pemodelan ulang, jarak tempuh yang digunakan sejauh 192,30 km dengan rata-rata waktu tempuh sebesar 17,5 menit.



Gambar 5. Ilustrasi Pemodelan Ulang Rute 1-9 dan Rute 1-26

Selain itu diketahui bahwa proporsi penggunaan jalan menurut fungsi di wilayah operasional Bandung Barat yang memiliki nilai paling tinggi adalah penggunaan fungsi jalan arteri sekunder sebesar 81,78 km atau 36% dari total jalan yang dilalui pada rute di wilayah

operasional Bandung Barat, sedangkan proporsi yang memiliki nilai paling rendah adalah penggunaan fungsi jalan arteri primer sebesar 23,24 km atau 10% dari total jalan yang dilalui pada rute di wilayah operasional Bandung Barat (Gambar 6).



Gambar 6. Diagram Proporsi Penggunaan Jalan Menurut Fungsi di Wilayah Operasional Bandung Barat

b. Wilayah Operasional Bandung Utara

Hasil analisis pada rute pengangkutan sampah di Wilayah Operasional Bandung Utara menunjukkan bahwa dari 19 rute yang dilakukan pemodelan terdapat 2 rute yang masih belum optimal, yaitu Rute 1-27 dan Rute 1-32. Hal ini terjadi akibat beberapa rute memiliki jarak antar TPS tujuan > 5 km. Selanjutnya dilakukan pemodelan ulang terhadap rute yang belum optimal, agar sesuai asumsi yang digunakan.

Tabel 2. Perbandingan Akumulasi Rute Bandung Utara Sebelum dan Setelah Pemodelan Ulang

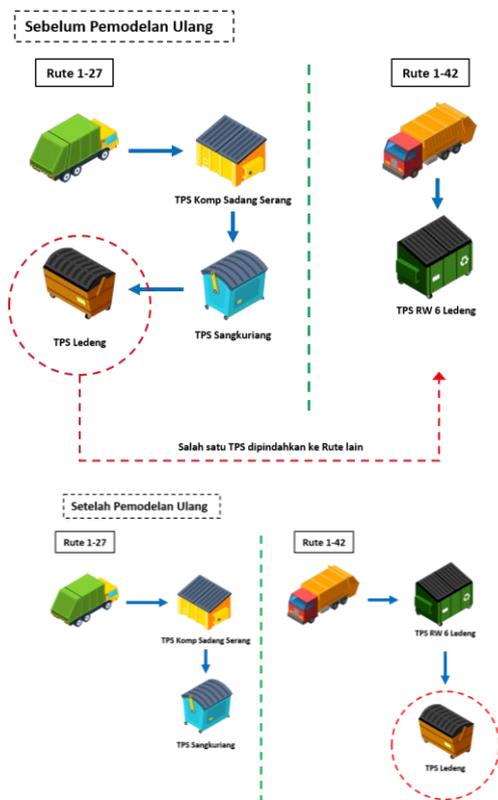
Rute	Sebelum Pemodelan Ulang		Setelah Pemodelan Ulang	
	Jarak (km)	Waktu (menit)	Jarak (km)	Waktu (menit)
Rute I-27 ^a	15,80	37	8,35	20
Rute I-28	15,12	33	15,12	33
Rute I-29	9,01	21	9,01	21
Rute I-30	7,89	17	7,89	17
Rute I-31	13,92	28	13,92	28
Rute I-32 ^a	14,71	29	7,55	19
Rute I-33	12,13	24	12,13	24
Rute I-34	10,26	22	10,26	22
Rute I-35	8,48	20	8,48	20
Rute I-36	9,55	23	9,55	23
Rute I-37	16,88	35	16,88	35
Rute I-38	10,31	21	10,31	21
Rute I-39	13,89	30	13,89	30
Rute I-40 ^b	14,33	30	15,03	32
Rute I-41	10,75	24	10,75	24
Rute I-42 ^b	15,00	31	15,04	31
Rute I-43	10,33	21	10,33	21
Rute I-44	9,96	20	9,96	20
Rute I-45	9,34	17	9,34	17

Rute	Sebelum Pemodelan Ulang		Setelah Pemodelan Ulang	
	Jarak (km)	Waktu (menit)	Jarak (km)	Waktu (menit)
Total	227,67	483	213,80	458
Rata-rata	11,98	25,4	11,25	24,1

Sumber: Hasil Analisis, 2021

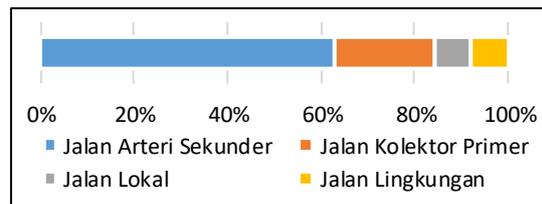
a) Rute Awal; b) Rute Tujuan

Pemodelan ulang dilakukan terhadap beberapa rute meliputi: a) Rute 1-27 dan Rute 1-42 (Gambar 7); b) Rute 1-32 dan Rute 1-40. Pemodelan yang dilakukan masing-masing meliputi 2 rute karena terdapat rute awal dan rute tujuan baru, sehingga keduanya saling berkaitan (Tabel 2). Hasil pemodelan ulang terhadap 4 rute di Bandung Utara menunjukkan bahwa terjadi pengurangan jarak tempuh serta rata-rata waktu yang diperlukan untuk proses pengangkutan sampah. Jarak tempuh sebelum pemodelan ulang bagi wilayah Bandung Utara adalah 227,67 km, dengan rata-rata waktu tempuh sebesar 25,4 menit. Sedangkan setelah pemodelan ulang, jarak tempuh yang digunakan sejauh 213,80 km dengan rata-rata waktu tempuh sebesar 24,1 menit.



Gambar 7. Ilustrasi Pemodelan Ulang Rute 1-27 dan Rute 1-42

Selain itu diketahui bahwa proporsi penggunaan jalan menurut fungsi di wilayah operasional Bandung Utara yang memiliki nilai paling tinggi adalah penggunaan fungsi jalan arteri sekunder sebesar 142,72 km atau 63% dari total jalan yang dilalui pada rute di wilayah operasional Bandung Utara, sedangkan proporsi yang memiliki nilai paling rendah adalah penggunaan fungsi jalan lokal dan jalan lingkungan masing-masing sebesar 17,75 km dan 17,83 km atau 8% dari total jalan yang dilalui pada rute di wilayah operasional Bandung Utara (Gambar 8).



Gambar 8. Diagram Proporsi Penggunaan Jalan Menurut Fungsi di Wilayah Operasional Bandung Utara

c. Wilayah Operasional Bandung Selatan

Hasil analisis pada rute pengangkutan sampah di Wilayah Operasional Bandung Selatan menunjukkan bahwa dari 19 rute yang dimodelkan terdapat 1 rute yang masih belum optimal, yaitu Rute 1-63 (Tabel 3). Hal ini terjadi akibat rute tersebut memiliki jarak antar TPS tujuan > 5 km. Selanjutnya dilakukan pemodelan ulang terhadap rute yang belum optimal, agar sesuai asumsi yang digunakan.

Tabel 3. Perbandingan Akumulasi Rute Bandung Selatan Sebelum dan Setelah Pemodelan Ulang

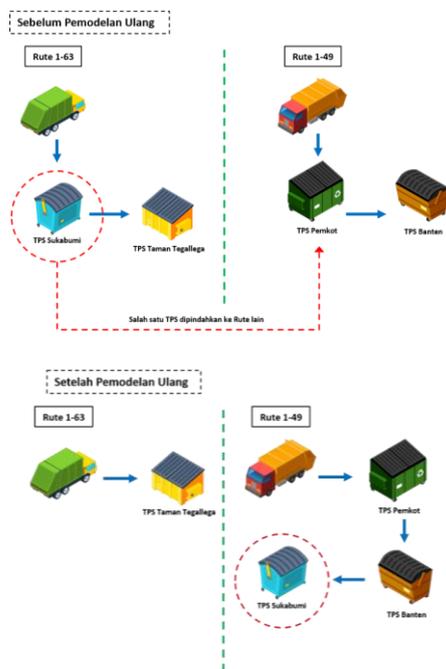
Rute	Sebelum Pemodelan Ulang		Setelah Pemodelan Ulang	
	Jarak (Km)	Waktu (Menit)	Jarak (Km)	Waktu (Menit)
Rute I-46	8,09	14	8,09	14
Rute I-47	10,81	26	10,81	26
Rute I-48	14,26	29	14,26	29
Rute I-49 ^b	13,56	34	14,15	37
Rute I-50	10,88	25	10,88	25
Rute I-51	13,55	15	13,55	15
Rute I-52	14,50	24	14,50	24
Rute I-53	13,89	28	13,89	28
Rute I-54	12,97	19	12,97	19
Rute I-55	11,42	24	11,42	24
Rute I-56	19,08	48	19,08	48
Rute I-57	10,68	18	10,68	18
Rute I-58	10,40	19	10,40	19

Rute	Sebelum Pemodelan Ulang		Setelah Pemodelan Ulang	
	Jarak (Km)	Waktu (Menit)	Jarak (Km)	Waktu (Menit)
Rute I-59	8,66	12	8,66	12
Rute I-60	14,56	28	14,56	28
Rute I-61	16,55	35	16,55	35
Rute I-62	17,18	45	17,18	45
Rute I-63 ^a	20,73	54	11,58	17
Rute I-64	19,90	43	19,90	43
Total	261,66	540	253,10	506
Rata-rata	13,77	28,4	13,32	26,6

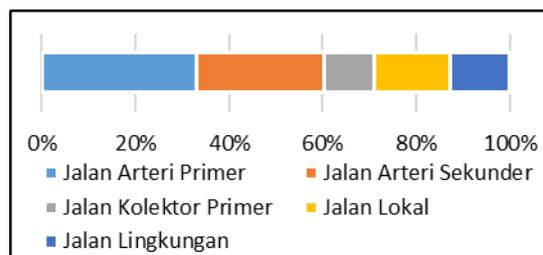
Sumber: Hasil Analisis, 2021

a) rute awal; b) rute tujuan

Pemodelan ulang dilakukan terhadap Rute 1-63 dan Rute 1-49 (Gambar 9). Pemodelan yang dilakukan masing-masing meliputi 2 rute karena terdapat rute awal dan rute tujuan baru, sehingga keduanya saling berkaitan. Hasil pemodelan ulang terhadap 2 rute di Bandung Selatan menunjukkan bahwa terjadi pengurangan jarak tempuh serta rata-rata waktu yang diperlukan untuk proses pengangkutan sampah. Jarak tempuh sebelum pemodelan ulang bagi wilayah Bandung Selatan adalah 261,66 km, dengan rata-rata waktu tempuh sebesar 28,4 menit. Sedangkan setelah pemodelan ulang, jarak tempuh yang digunakan sejauh 253,10 km dengan rata-rata waktu tempuh sebesar 26,6 menit.



Gambar 9. Ilustrasi Pemodelan Ulang Rute 1-63 dan Rute 1-49



Gambar 10. Diagram Proporsi Penggunaan Jalan Menurut Fungsi di Wilayah Operasional Bandung Selatan

Selain itu diketahui bahwa proporsi penggunaan jalan menurut fungsi di wilayah operasional Bandung Selatan yang memiliki nilai paling tinggi adalah penggunaan fungsi jalan arteri primer sebesar 85,44 km atau 33% dari total jalan yang dilalui pada rute di wilayah operasional Bandung Selatan, sedangkan proporsi yang memiliki nilai paling rendah adalah penggunaan fungsi jalan kolektor primer sebesar 27,88 km atau 11% dari total jalan yang dilalui pada rute di wilayah operasional Bandung Selatan (Gambar 10).

d. Wilayah Operasional Bandung Timur

Hasil analisis pada rute pengangkutan sampah di Wilayah Operasional Bandung Timur menunjukkan bahwa dari 18 rute yang dilakukan pemodelan terdapat 3 rute yang masih belum optimal, yaitu Rute 1-65; Rute 1-69; dan Rute 1-74 (Tabel 4). Hal ini terjadi akibat beberapa rute memiliki jarak antar TPS tujuan > 5 km. Selanjutnya dilakukan pemodelan ulang terhadap rute yang belum optimal, agar sesuai dengan asumsi yang digunakan.

Tabel 4. Perbandingan Akumulasi Rute Bandung Timur Sebelum dan Setelah Pemodelan Ulang

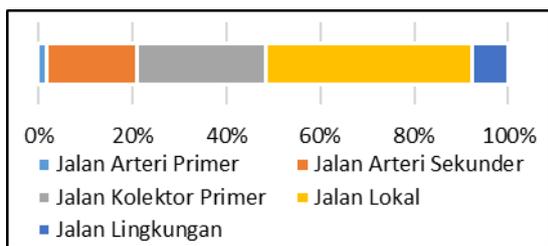
Rute	Sebelum Pemodelan Ulang		Setelah Pemodelan Ulang	
	Jarak (Km)	Waktu (Menit)	Jarak (Km)	Waktu (Menit)
Rute I-65 ^a	21,93	61	14,15	41
Rute I-66	7,81	18	7,81	18
Rute I-67	11,23	29	11,23	29
Rute I-68	9,31	23	9,31	23
Rute I-69 ^a	13,46	34	11,10	31
Rute I-70	14,86	35	14,86	35
Rute I-71	16,57	42	16,57	42
Rute I-72	10,59	29	10,59	29
Rute I-73 ^b	11,28	22	11,74	25
Rute I-74 ^a	9,06	25	7,77	25

Rute	Sebelum Pemodelan Ulang		Setelah Pemodelan Ulang	
	Jarak (Km)	Waktu (Menit)	Jarak (Km)	Waktu (Menit)
Rute I-75 ^b	7,68	16	8,26	22
Rute I-76	9,17	21	9,17	21
Rute I-77	7,58	16	7,58	16
Rute I-78	10,14	27	10,14	27
Rute I-79	11,64	30	11,64	30
Rute I-80	11,62	30	11,62	30
Rute I-81	9,06	20	9,06	20
Rute I-82	11,49	27	11,49	27
Total	204,50	505	194,12	491
Rata-rata	11,36	28,1	10,78	27,3

Sumber: Hasil Analisis, 2021

a) rute awal; b) rute tujuan

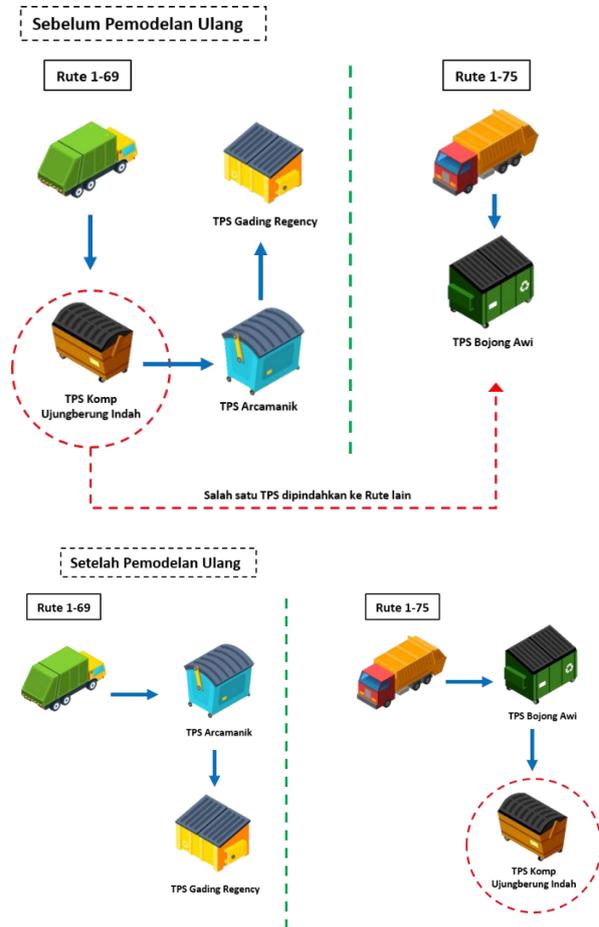
Pemodelan ulang dilakukan terhadap beberapa rute meliputi: a) Rute 1-65, Rute 1-73 dan Rute 1-74; b) Rute 1-69 dan Rute 1-75. Pemodelan yang dilakukan masing-masing meliputi 2 rute karena terdapat rute awal dan rute tujuan baru, sehingga keduanya saling berkaitan. Hasil pemodelan ulang terhadap 5 rute di Bandung Timur menunjukkan bahwa terjadi pengurangan jarak tempuh serta rata-rata waktu yang diperlukan untuk proses pengangkutan sampah. Jarak tempuh sebelum pemodelan ulang bagi wilayah Bandung Timur adalah 204,50 km, dengan rata-rata waktu tempuh sebesar 28,1 menit. Sedangkan setelah pemodelan ulang, jarak tempuh yang digunakan sejauh 194,12 km dengan rata-rata waktu tempuh sebesar 27,3 menit (Gambar 10).



Gambar 10. Diagram Proporsi Penggunaan Jalan Menurut Fungsi di Wilayah Operasional Bandung Timur

Selain itu diketahui bahwa proporsi penggunaan jalan menurut fungsi di wilayah operasional Bandung Timur yang memiliki nilai paling tinggi adalah penggunaan fungsi jalan lokal sebesar 87,99 km atau 44% dari total jalan yang dilalui pada rute di wilayah operasional Bandung Timur, sedangkan proporsi yang memiliki nilai paling rendah adalah penggunaan

fungsi jalan arteri primer sebesar 3,83 km atau 2% dari total jalan yang dilalui pada rute di wilayah operasional Bandung Timur. Ilustrasi Pemodelan Ulang Rute 1-69 dan Rute 1-75 disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Ilustrasi Pemodelan Ulang Rute 1-69 dan Rute 1-75

Pemodelan 2 Rute SPA – TPA Sarimukti

Analisis rute optimal pada model rute 2 dilakukan dengan mengkomparasikan hasil dari setiap pemodelan yang meliputi jarak tempuh, waktu tempuh, dan proporsi penggunaan jalan menurut fungsi yang dilalui pada hasil pemodelan. Hasilnya merupakan informasi yang menunjukkan kelebihan serta kekurangan dari masing-masing rute yang telah dibuat pada model rute 2.

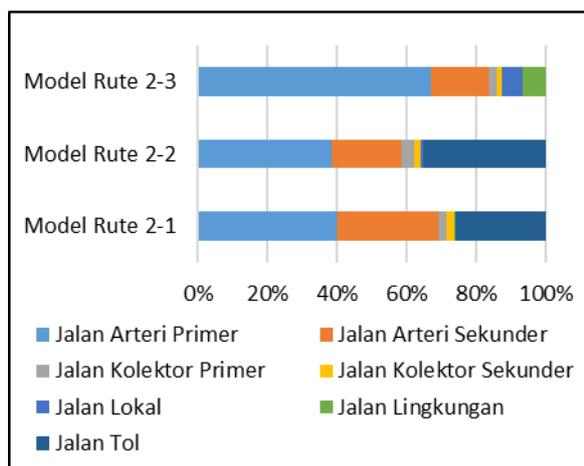
Berdasarkan hasil analisis, diketahui bahwa Model Rute 2-3 adalah rute optimal, dan jarak tempuh yang dilalui lebih pendek dibandingkan dengan model rute 2 lainnya yaitu sejauh 93,32

km dan memiliki waktu tempuh sebesar 143 menit untuk satu kali pengangkutan (Tabel 5). Selain itu diketahui bahwa Model Rute 2-1 dominan menggunakan jalan arteri primer sebesar 40%; arteri sekunder sebesar 29%; dan jalan tol sebesar 26%. Hal yang sama berlaku terhadap Model Rute 2-2 yang dominan menggunakan jalan arteri primer sebesar 38%; arteri sekunder sebesar 20%; dan jalan tol sebesar 35% (Gambar 12).

Tabel 5. Akumulasi Model Rute 2

Pemodelan Rute 2	Jarak Tempuh (km)	Waktu Tempuh (menit)
Model Rute 2-1	98,57	128
Model Rute 2-2	112,29	132
Model Rute 2-3	93,32	143

Sumber: Hasil Analisis, 2021



Gambar 12. Diagram Proporsi Penggunaan Jalan Menurut Fungsi pada Rute Pemodelan 2

Sedangkan untuk Model Rute 2-3 mengutamakan penggunaan jalan arteri primer sebesar 67%; arteri sekunder sebesar 17%; dan jalan lokal sebesar 6%. Rute yang dilalui oleh masing-masing SPA pada model rute 2-3 untuk menuju TPA Sarimukti adalah sebagai berikut:

- **SPA Leuwigajah** → Jl Ibu Inggit Ganarsi → Jl Astana Anyar → Jl Jend Sudirman → Jl Raya Cibeureum → Jl Raya Cimindi → Jl Nasional 3 → Jl Raya Nasional → Jl Nasional 3 → Jl Raja Mandala → Jl Cibogo → Jl Raja Mandala → Jl Ciburahol → Jl Cipendey → TPA Sarimukti
- **SPA Gedebage** → Jl Soekarno-Hatta → Jl Pasar Gedebage → Jl Rumah Sakit → Jl Soekarno-Hatta → Jl Buah Batu → Jl Cikawao → Jl Lengkong Besar → Jl Rana → Jl

Pangarang → Jl Dalem Kaum → Jl Asia Afrika → Jl Jend Sudirman → Jl Gardu Jati → Jl Kebon Tangkil → Jl Kebon Jati → Jl Rajawali Timur → Jl Rajawali Barat → Jl Raya Cibeureum → Jl Raya Cimindi → Jl Nasional 3 → Jl Raya Nasional → Jl Nasional 3 → Jl Raja Mandala → Jl Cibogo → Jl Raja Mandala → Jl Ciburahol → Jl Cipendey → TPA Sarimukti

Pemodelan 3 Rute SPA – TPPAS Legok Nangka

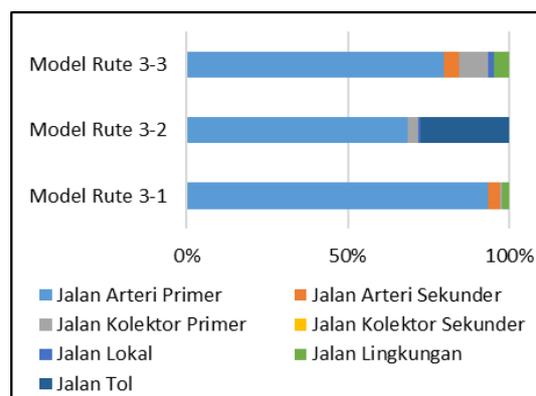
Analisis rute optimal pada rute pemodelan 3 dilakukan dengan mengkomparasikan hasil dari setiap pemodelan yang meliputi jarak tempuh, waktu tempuh, dan proporsi penggunaan jalan menurut fungsi yang dilalui pada hasil pemodelan. Hasilnya merupakan informasi yang menunjukkan kelebihan serta kekurangan dari masing-masing rute yang telah dibuat pada model rute 3 (Tabel 6).

Tabel 6. Akumulasi Model Rute 3

Pemodelan Rute 3	Jarak Tempuh (km)	Waktu Tempuh (menit)
Model Rute 3-1	65,03	72
Model Rute 3-2	67,28	65
Model Rute 3-3	66,33	84

Sumber: Hasil Analisis, 2021

Berdasarkan hasil analisis, diketahui bahwa Model Rute 3-2 adalah rute optimal dan memiliki jarak tempuh lebih jauh dibandingkan model rute 3 lainnya yaitu sejauh 67,28 km, namun dengan waktu tempuh yang lebih singkat yakni sebesar 65 menit untuk satu kali pengangkutan.



Gambar 13. Diagram Proporsi Penggunaan Jalan Menurut Fungsi pada Rute Pemodelan 3

Selain itu diketahui bahwa Model Rute 3-1 dominan menggunakan fungsi Jalan Arteri Primer sebesar 94%; Jalan Arteri Sekunder sebesar 3%; dan Jalan Lingkungan sebesar 2%. Model Rute 3-

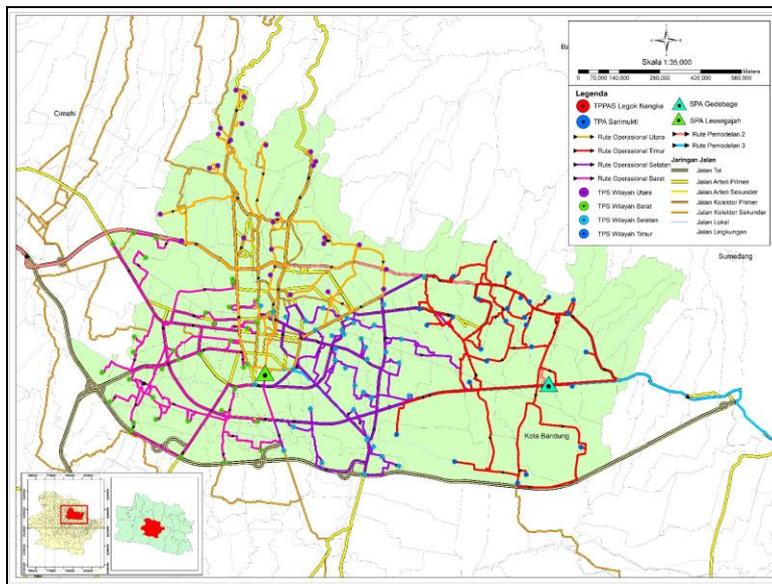
2 dominan menggunakan fungsi Jalan Arteri Primer sebesar 68%; Jalan Tol sebesar 27%; dan Jalan Kolektor Primer sebesar 3%. Sedangkan Model Rute 3-3 dominan menggunakan fungsi Jalan Arteri Primer sebesar 80%; Jalan Kolektor Primer sebesar 9%; serta Jalan Arteri Sekunder dan Jalan Lingkungan masing-masing sebesar 5% (Gambar 13). Rute yang dilalui oleh masing-masing SPA pada model rute 3-2 untuk menuju TPPAS Legok Nangka adalah sebagai berikut:

- **SPA Leuwigajah** → Jl Moh Toha → Jl Keluar Masuk Tol Moh Toha → Jl Tol Padaleunyi → Jl

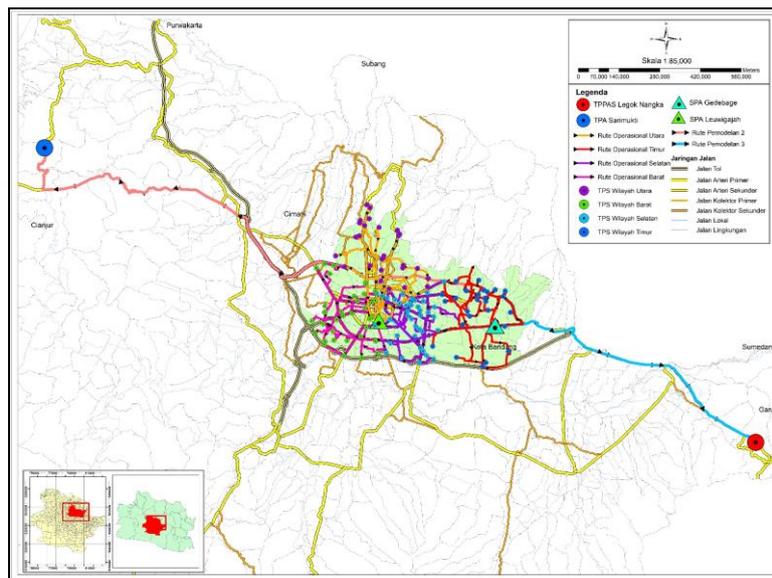
Raya Bandung Garut → Jl Propinsi D.T.I. Jabar → Jl Nasional 3 → TPPAS Legok Nangka.

- **SPA Gedebage** → Jl Sukarno-Hatta → Jl Raya Cibiru → Jl Nasional 3 → Jl Nasional 5 → Jl Tol Purbaleunyi → Jl Sindangsari → Jl Nanggeleng Cirahayu → Jl Propinsi D.T.I. Jabar → Jl Raya Bandung–Garut → Jl Nasional 3 → TPPAS Legok Nangka.

Keseluruhan rute hasil pemodelan dapat dilihat pada Peta Rute Pemodelan 1 (Gambar 14) dan peta rute pemodelan 2 dan pemodelan 3 (Gambar 15).



Gambar 14. Peta Rute Pemodelan 1 (Hasil Analisis, 2021)



Gambar 15. Peta Rute Pemodelan 2 dan Pemodelan 3 (Hasil Analisis, 2021)

Simpulan

Penggunaan SIG melalui *tools* Network Analyst dalam proses perencanaan rute memiliki keuntungan karena dapat menghasilkan berbagai model rute yang memiliki jarak pendek untuk menuju ke suatu lokasi, sebelum rute tersebut diterapkan pada proses perjalanan suatu objek (Bhambulkar, 2011). Pemodelan 1 yang dilakukan terhadap rute pool truk sampah-TPS-SPA menghasilkan 82 model rute, namun terdapat 19 model rute yang tidak optimal dan setelah dilakukan pemodelan ulang sesuai dengan asumsi jarak antar TPS >5 km hasilnya adalah rute yang optimal bagi proses pengangkutan sampah Kota Bandung. Rute optimal setelah pemodelan ulang memiliki jarak dan waktu tempuh yang cenderung lebih singkat jika dibandingkan model rute awal yang semula belum optimal. Jarak yang singkat tersebut menunjukkan bahwa hasil dari penelitian ini selaras dengan penelitian milik Abdelli et al. (2016) yang menunjukkan pengurangan jarak tempuh yang diperlukan untuk proses pengangkutan sampah, ataupun pengurangan terhadap rute yang diperlukan dalam proses mengangkut sampah seperti pada penelitian Erfani et al. (2017) yang menunjukkan bahwa optimalisasi terhadap rute pengangkutan sampah berimplikasi terhadap jumlah pengangkutan yang dilakukan selama sehari.

Selain itu, pada pemodelan 2 (rute SPA-TPA Sarimukti) dan 3 (rute SPA-TPPAS Legok Nangka) masing-masing menghasilkan 3 rute alternatif yang dapat digunakan untuk rute menuju TPA tujuan. Pada Pemodelan 2, diketahui bahwa Model Rute 2-1 merupakan rute yang optimal dikarenakan memiliki waktu tempuh yang relatif lebih singkat dibandingkan dengan model rute lainnya, dengan jarak tempuh yang diperlukan sejauh 98,57 km dan waktu tempuh sebesar 128 menit untuk satu kali pengangkutan. Sedangkan pada Pemodelan 3, diketahui bahwa Model Rute 3-2 merupakan rute yang optimal dikarenakan memiliki waktu tempuh yang relatif lebih singkat dibandingkan dengan model rute lainnya, dengan jarak tempuh yang diperlukan sejauh 67,28 km dan waktu tempuh sebesar 65 menit untuk satu kali pengangkutan.

Ucapan terima kasih

Terima kasih peneliti ucapkan kepada berbagai pihak yang telah membantu proses pengerjaan penelitian ini, khususnya PD. Kebersihan Kota Bandung yang telah memberikan dukungan dalam proses pengerjaan penelitian ini.

Referensi

- Abdelli, I. S., Abdelmalek, F., Djelloul, A., Mesghouni, K., & Addou, A. (2016). GIS-based approach for optimised collection of household waste in Mostaganem city (Western Algeria). *Waste Management and Research*, 34(5). <https://doi.org/10.1177/0734242X16633519>
- Bhambulkar, A. (2011). Municipal Solid Waste Collection Routes Optimized With ARC GIS Network Analyst. *International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies*, 11(1), 202–207.
- Damanhuri, E. P. T. (2010). DIKTAT KULIAH TL-3104 PENGELOLAAN SAMPAH. In *DIKTAT KULIAH TL-3104 PENGELOLAAN SAMPAH*.
- Das, S., & Bhattacharyya, B. K. (2015). Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. *Waste Management*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.033>
- Desai, S. N., Shah, M., & Zaveri, P. (2018). Route optimisation for solid waste management using ArcGIS Network Analyst: a review. *International Journal of Engineering Technology Science and Research (IJETSRS)*, 5(1).
- Dessy Apriyanti. (2017). Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis untuk Analisis Rute Truk Pengangkutan Sampah di Kota Bogor. *Seminar Nasional Geomatika*, 3, 357–366.
- Erfani, S. M. H., Danesh, S., Karrabi, S. M., & Shad, R. (2017). A novel approach to find and optimize bin locations and collection routes using a geographic information system. *Waste Management and Research*, 35(7). <https://doi.org/10.1177/0734242X17706753>

- Geografis, I., Kupang, D. I., & Frans, J. H. (2019). Optimalisasi Rute Pengangkutan Sampah Berbasis Sistem Informasi Geografis Di Kupang. *Optimalisasi Rute Pengangkutan Sampah Berbasis Sistem Informasi Geografis Di Kupang*, 8(1), 1–14.
- Hannan, M. A., Akhtar, M., Begum, R. A., Basri, H., Hussain, A., & Scavino, E. (2018). Capacitated vehicle-routing problem model for scheduled solid waste collection and route optimization using PSO algorithm. *Waste Management*, 71. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.019>
- Hatamleh, R. I., Jamhawi, M. M., Al-Kofahi, S. D., & Hijazi, H. (2020). The Use of a GIS System as a Decision Support Tool for Municipal Solid Waste Management Planning: The Case Study of Al Nuzha District, Irbid, Jordan. *Procedia Manufacturing*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.221>
- Hidayat, R. (2013). Evaluasi Sistem Angkutan Sampah Kota Kandungan Dengan Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 1(2), 201. <https://doi.org/10.14710/jwl.1.2.201-214>
- Jenilasree, G., Shenbagavadivu, N., & Bhuvanewari, M. (2017). *A Study on Automatic Solid Waste Management System for Smart City*. 5(4), 1682–1689.
- Kanthi, N. S., & Purwanto, T. H. (2016). Application of OpenStreetMap (OSM) to Support the Mapping Village in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 47(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/47/1/012003>
- Kardono. (2007). Integrated Solid Waste Management in Indonesia. *Proceedings of International Symposium on Eco Topia Science*.
- Khan, D., & Samadder, S. R. (2014). Municipal solid waste management using Geographical Information System aided methods: A mini review. In *Waste Management and Research* (Vol. 32, Issue 11). <https://doi.org/10.1177/0734242X14554644>
- Lau, B. (2018). *Route Optimization with ArcGIS on Waste Management in Hong Kong*.
- Malakahmad, A., Md Bakri, P., Md Mokhtar, M. R., & Khalil, N. (2014). Solid waste collection routes optimization via GIS techniques in Ipoh city, Malaysia. *Procedia Engineering*, 77. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.07.023>
- Mishra, A., Ghosh, N., & Jena, P. (2019). Internet of Things based Waste Management System for Smart Cities A real time route optimization for waste collection vehicles. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 7(4). <https://doi.org/10.26438/ijcse/v7i4.496503>
- Nagarajappa, H. K. B. M. N. T. . (2015). Route Optimization of Municipal Solid Waste for Davangere City Using GIS. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. <https://doi.org/10.15680/ijirset.2015.0406005>
- Ogwueleke, T. (2010). Route optimization for solid waste collection: Onitsha (Nigeria) case study. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 13(2). <https://doi.org/10.4314/jasem.v13i2.55299>
- Putra, A. H., Amalia, A., Putro, R. K. H., & Darmayani, L. F. (2020). Waste Transportation Route Optimization in Malang using Network Analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 506(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/506/1/012033>
- Ridha, M. R., Abdi, C., & Mahyudin, R. P. (2016). Studi Optimasi Rute Pengangkutan Sampah Kota Marabahan Dengan Sistem Informasi Geografis. *Jukung*, 2(2), 38–51. <https://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/jukung/article/view/2310>
- Sahoo, S., Kim, S., Kim, B. I., Kraas, B., & Popov, A. (2005). Routing optimization for Waste Management. *Interfaces*, 35(1). <https://doi.org/10.1287/inte.1040.0109>
- Sanjeevi, V., & Shahabudeen, P. (2016). Optimal routing for efficient municipal solid waste transportation by using ArcGIS application in Chennai. *Waste Management and Research*, 34(1), 11–21.

- <https://doi.org/10.1177/0734242X15607430>
- Sukarmawati, Y. (2017). Perencanaan Rute Pengumpulan Sampah Menggunakan Model Analisis Jaringan Berbasis Sistem Informasi Geografis Design of Waste Collection Route using GIS based on Network Analyst Model. *Konferensi Nasional Teknik Sipil Dan Infrastruktur - I*, 1(30 Oktober 2017), 21–30.
- Sulemana, A., Donkor, E. A., Forkuo, E. K., Asantewaa, J., Ankrah, I. N. A., & Musah, A. M. O. (2020). Optimized routing of trucks for institutional solid waste collection in Kumasi, Ghana. *Detritus*, 9 (March). <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2020.13896>
- Vu, H. L., Bolingbroke, D., Ng, K. T. W., & Fallah, B. (2019). Assessment of waste characteristics and their impact on GIS vehicle collection route optimization using ANN waste forecasts. *Waste Management*, 88. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.037>
- Wang, Z., & Zipf, A. (2017). USING OPENSTREETMAP DATA to GENERATE BUILDING MODELS with THEIR INNER STRUCTURES for 3D MAPS. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4(2W4). <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W4-411-2017>
- Wijanarko, A. (2017). Aplikasi Sistem Informasi Geografis Untuk Arahan Rute Optimal Truk Pengangkut Sampah Menuju Tpa Piyungan Dari Tps Di Kabupaten Sleman Bagian Selatan. *Aplikasi Sistem Informasi*, 2(3), 321–333. https://www.m-culture.go.th/mculture_th/download/king9/Glossary_about_HM_King_Bhumibol_Adulyadej's_Funeral.pdf
- Zainun, N. Y., Samsu, K. N. S. K., & Rohani, M. M. (2016). Proposing An Effective Route for Transporting Solid Waste Using Gis Approach. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 160(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/160/1/012050>