

TA/TL/2020/1244

TUGAS AKHIR

**EMISI GAS RUMAH KACA DARI PENGANGKUTAN
SAMPAH DI KOTA YOGYAKARTA DENGAN
TINGKAT KEPADATAN PENDUDUK RENDAH**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2020**


TUGAS AKHIR

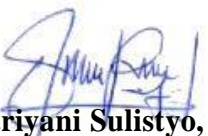
EMISI GAS RUMAH KACA DARI PENGANGKUTAN SAMPAH DI KOTA YOGYAKARTA DENGAN TINGKAT KEPADATAN PENDUDUK RENDAH

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik
Lingkungan



Disetujui,
Dosen Pembimbing:


Fina Binazir Maziya, S.T., M.T.
NIK : 165131305
Tanggal: 26 Nopember 2020


Elita Nurfitriyani Sulisty, S.T., M.Sc
NIK : 185130402
Tanggal: 26 Nopember 2020

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan FTSP UII



Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.
NIK: 025100406
Tanggal: 27 November 2020

HALAMAN PENGESAHAN

**EMISI GAS RUMAH KACA DARI PENGANGKUTAN
SAMPAH DI KOTA YOGYAKARTA DENGAN
TINGKAT KEPADATAN PENDUDUK RENDAH**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Kamis
Tanggal : 26 Nopember 2020



Disusun Oleh:

SARAH INDRIANI
16513086

Tim Penguji:

Fina Binazir Maziya, S.T.,M.T. (

)

Elita Nurfitriyani Sulisty, S.T., M.Sc. (

)

Dr. Nur Aini Iswati Hasanah, S.T., M.Si. (12/11/20

)

 1

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dari dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini, tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab kampus Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, Oktober 2020

Saya membuat pernyataan,



[Signature]
Lah Indriani
NIM: 16513086



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak Januari 2020 ini ialah “**Emisi Gas Rumah Kaca dari Pengangkutan Sampah di Kota Yogyakarta dengan Tingkat Kepadatan Penduduk Rendah**”. Penulisan tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan rasa terima kasih atas bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Allah SWT. yang berkat dan anugerah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini hingga selesai.
2. Keluarga dan orang tua saya terutama karena selalu mendukung secara moril dan materil sehingga penulis dapat melaksanakan dengan baik hingga awal penelitian hingga akhir.
3. Ibu Fina Binazir Maziya, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I dan Ibu Elita Nurfitriyani Sulistyono selaku dosen pembimbing II yang selalu membantu saya atas arahan bimbingan dan dukungan kepada saya mulai dari awal penentuan judul penelitian hingga akhir penelitian ini.
4. Pihak Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta yang telah membantu atas memberikan data-data untuk menunjang keberlangsungannya penulisan laporan ini.
5. Muhaimin Agsha sebagai *partner* saya yang selalu sabar menghadapi saya dan memberikan dukungan supaya saya semangat selalu mengerjakan tugas akhir ini.
6. Rona Adilah Ulfa, Shifa Rayni Efendi, Yunira Alifah Dzakiyah, dan Asy Syifa Dwinanda sebagai teman-teman saya yang selalu sabar mendengarkan keluh kesah dan memberikan *support* ketika saya dalam keadaan *down*.

Semoga tugas akhir ini bermanfaat.

Yogyakarta, 15 Juli 2020

Sarah Indriani

"Halaman ini sengaja dikosongkan"



ABSTRAK

SARAH INDRIANI. Emisi Gas Rumah Kaca dari Pengangkutan Sampah di Kota Yogyakarta dengan Tingkat Kepadatan Penduduk Rendah. Dibimbing oleh FINA BINAZIR MAZIYA, S.T., M.T. dan ELITA NURFITRIYANI SULISTYO, S.T., M.Sc.

Kota Yogyakarta mengalami peningkatan jumlah sampah setiap tahunnya. Pengelolaan sampah di kepadatan penduduk rendah dari kegiatan pengumpulan, pengangkutan, dan penjadwalan seringkali tidak dikelola secara optimal dan berakibat terjadi penumpukan sampah. Hal tersebut juga akan berdampak pada penjadwalan pengangkutan yang dapat memperburuk kondisi sampah yang ada. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola kegiatan pengangkutan dari sumber menuju TPA dan menghitung potensi emisi gas rumah kaca dari hasil pengangkutan sampah dengan parameter gas rumah kaca gas Karbondioksida (CO₂). Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Dari metode tersebut didapatkan hasil bahwa emisi gas rumah kaca dari sektor transportasi di kepadatan penduduk rendah di Kota Yogyakarta adalah 400,17 ton/tahun pada kondisi normal, sedangkan pada kondisi padat kendaraan adalah 587,81 ton/tahun. Timbulan sampah yang dihasilkan, jumlah ritasi pengangkutan, konsumsi bahan bakar, jenis alat pengangkut yang digunakan, dan situasi atau waktu pengangkutan menjadi faktor terjadinya perbedaan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan. Situasi normal lebih sedikit menghasilkan emisi dibandingkan dengan situasi padat kendaraan karena tidak membutuhkan waktu tunggu (*idle time*) yang lebih lama.

Kata Kunci: Gas Rumah Kaca, Metode IPCC, Pengangkutan Sampah

ABSTRACT

SARAH INDRIANI. *Greenhouse Gas Emissions from Waste Transportation in the City of Yogyakarta with Low Population. Supervised by FINA BINAZIR MAZIYA, S.T., M.T. and ELITA NURFITRIYANI SULISTYO, S.T., M.Sc.*

Yogyakarta City experiencing an increase the amount of waste in every single year. Waste management at low population density from collection, transportation, and also scheduling activities is often not optimally manage and results in waste accumulation. It will also have an impact on the schedulling of transportation which can worsen the condisiton of existing waste. This study aims to analyze the pattern of transportation activities from the source to the landfill and calculate the potential greenhouse gas emissions from the transportation of waste with the parameter carbon dioxide (CO₂) gas using Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) method. From this method, the results show that the greenhouse gas emission from the transportation sector in low population density in Yogyakarta City is 400,17 tonnes/year in normal conditions, while in a densely jammed traffic is 587,81 tons/year. The waste generation, the amount of transportation routing, fuel consumption, the type of tranport, and the situation or time of transportation are all factors in the difference in greenhouse gas emissions produced. The normal situation produces less emissions than the crowded vehicle situation because it does not need a longer waiting time.

Keyword: *Greenhouse Gases, IPCC Method, Waste Transportation*

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Timbulan Sampah	5
2.2 Pengangkutan Sampah	6
2.3 Gas Rumah Kaca.....	8
2.4 IPCC (<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>).....	8
2.5 Penelitian Terdahulu	9
BAB III METODE PENELITIAN	11
3.1 Metode Penelitian	11
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	11
3.3 Pengambilan Data	12
3.4 Analisis dan Pengolahan Data	12
3.4.1 Perhitungan Emisi dari Sektor Transportasi.....	13
3.4.2 Perhitungan Faktor Emisi CO ₂ dari Transportasi.....	14
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Gambaran Umum Wilayah Penelitian.....	15
4.2 Timbulan Sampah di Kecamatan Kota Yogyakarta.....	16
4.3 Emisi Gas Rumah kaca di Kota Yogyakarta dengan Kepadatan Penduduk Rendah.....	18
4.4 Emisi CO ₂ menggunakan Metode IPCC.....	18

4.5	Analisis Perhitungan Emisi CO ₂	21
4.6	Dampak yang Terjadi akibat Emisi Gas Rumah Kaca.....	22
4.7	Strategi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca pada Sektor Transportasi .	22
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		24
5.1	Kesimpulan.....	24
5.2	Saran.....	24
DAFTAR PUSTAKA		25
LAMPIRAN		29



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Timbulan Sampah Berdasarkan Sumber Sampah	5
Tabel 2.2 Besaran Timbulan Sampah Berdasarkan Klasifikasi Kota	5
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu	9
Table 3.1 Data Jumlah Penduduk dan Timbulan Sampah.....	12
Tabel 3.2 Faktor Emisi CO ₂ Default Transportasi Jalan Raya.....	13
Tabel 4.1 Sarana Persampahan Kecamatan Kepadatan Penduduk Rendah Tahun 2019	15
Tabel 4.2 Timbulan Sampah dari Sumber Komponen di Kecamatan Kota Yogyakarta.....	17
Tabel 4.3 Proyeksi Timbulan Sampah (m ³ /Hari) Tahun 2019-2024.....	17
Table 4.4 Perbandingan emisi CO ₂ dengan penelitian terdahulu.....	22
Tabel 4.5 Strategi dalam Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca.....	23



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Kerangka Penelitian.....	11
Gambar 4.1 Proyeksi Timbulan Sampah Tahun 2019-2024	17
Gambar 4.2 Emisi CO ₂ Tahun 2022 dan 2024 pada Kondisi Normal.....	20
Gambar 4.3 Emisi CO ₂ Tahun 2022 dan 2024 pada Kondisi Padat Kendaraan	20



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Ritasi Pengangkutan Sampah di Kecamatan Gondokusuman	29
Lampiran 2 Emisi CO ₂ Kecamatan Gondokusuman pada Situasi Normal	29
Lampiran 3 Emisi CO ₂ Kecamatan Gondokusuman pada Situasi Padat Kendaraan	30
Lampiran 4 Emisi CO ₂ Kecamatan Umbulharjo, Kecamatan Ngampilan, Kecamatan Gedongtengen, dan Kecamatan Pakualaman pada Situasi Normal	31
Lampiran 5 Emisi CO ₂ Kecamatan Umbulharjo, Kecamatan Ngampilan, Kecamatan Gedongtengen, dan Kecamatan Pakualaman pada Situasi Padat Kendaraan.....	32
Lampiran 6 Dokumentasi Validasi TPS, Depo, dan Landasan Kontainer	34



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Yogyakarta merupakan kota dengan luas daerah 32,5 km² atau 1,02% dari Provinsi D.I. Yogyakarta. Kota Yogyakarta juga memiliki 14 Kecamatan. Menurut sensus penduduk tahun 2019, jumlah penduduk sebanyak 414.055 jiwa dengan jumlah penduduk 10.646 per km² (Badan Pusat Statistik Kota Yogyakarta, 2020).

Peningkatan jumlah penduduk dan pola konsumtif masyarakat menyebabkan jumlah sampah semakin meningkat dan berpotensi darurat sampah apabila tidak dilakukan dengan pengelolaan sampah yang tepat. Peningkatan dalam jumlah sampah di Kota Yogyakarta merupakan salah satu permasalahan yang ditimbulkan akibat dari pertumbuhan penduduk. Data menunjukkan bahwa jumlah sampah Kota Yogyakarta yang diangkut ke Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Piyungan pada bulan September 2017 adalah sejumlah 261,278 ton/hari (Astuti, Asrifah, Widiarti, Utami, & Santoso, 2018).

Sampah dapat menimbulkan beberapa dampak, seperti mengeluarkan cairan lindi, bau atau tidak sedap, dan gas rumah kaca. Sektor limbah padat perkotaan merupakan pemasok terbesar keempat untuk emisi global Gas Rumah Kaca (GRK) non-CO₂ yang berkontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim (IPCC, 2008). Gas emisi yang dilepaskan ketika terjadi pengomposan, menghasilkan bau dan dapat menyebabkan gangguan kesehatan dan juga pada lingkungan (Rincón, et al., 2019). Penyumbang gas rumah kaca dalam bentuk gas CH₄ dan CO₂ adalah sampah (Prabowo, Pranoto, & Budiastuti, 2019).

Menurut Perda Kota Yogyakarta Nomor 10 Tahun 2012 Pasal 13, pengelolaan sampah dilakukan dengan cara pembatasan timbulan, pendauran ulang dan/atau pemanfaatan kembali. Sampah yang tidak bisa didaur kembali akan diangkut ke TPST dengan alat angkut atau transportasi. Transportasi merupakan salah satu sektor penyumbang emisi GRK. Ada enam gas yang termasuk GRK, diantaranya gas CO₂, gas CH₄, gas N₂O, Hydrofluorocarbons (HFCs), Perfluorocarbons (PFCs), dan Sulfur hexafluorida (SF₆). Berdasarkan fakta adanya kecenderungan perubahan iklim akibat peningkatan emisi GRK, dan terbesar adalah CO₂, transportasi ternyata merupakan salah satu penyebab utama bersama penyediaan energi dan industri (Dharmowijoyo & Tamin, 2010).

Menurut data Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta 2017, emisi GRK di Kota Yogyakarta pada tahun 2017 untuk kategori penggunaan energi variabel CO₂ sebesar 1.037.784,78 ton/tahun, variabel CH₄ sebesar 119,26 ton/tahun dan variabel N₂O sebesar 21,03 ton/tahun. Nilai emisi tertinggi CO₂ adalah konsumsi listrik, CH₄ adalah transportasi jalan raya dan N₂O komersial dan perkantoran. Ada beberapa faktor yang memengaruhi emisi gas rumah kaca pada pengangkutan, yaitu (i) kepadatan penduduk dari daerah yang padat menjadi yang paling efisien dan daerah kepadatan dengan penduduk rendah

sebaliknya (Larsen, Vrgoc, & Christenen, 2009), (ii) jenis transportasi yang digunakan (Eisted, Larsen, & Christensen, Collection, Transfer, and Transport of Waste: Accounting of Greenhouse Gases and Blobal Warming Contribution, 2009), dan (iii) jenis dan karakteristik sampah yang diangkut (Salfoher, Schneider, & Obersteiner, 2007).

Kepadatan penduduk berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah sampah yang dihasilkan oleh penduduk (Tampuyak, Anwar, & Sangadji, 2019). Akan tetapi, seringkali area dengan kepadatan penduduk rendah di negara berkembang, tidak memiliki penjadwalan yang baik dalam hal pengangkutan, sehingga dapat menimbulkan tumpukan sampah. Kurang optimalnya rute pengangkutan, jumlah pengangkut, dan juga penjadwalan dapat memperburuk kondisi sampah yang ada (Abdel-Shafy & Mansour, 2018). Oleh karena itu, penelitian pengangkutan sampah dengan tingkat kepadatan penduduk rendah perlu dilakukan untuk mengukur emisi yang dihasilkan.

Dalam penelitian ini akan menghitung terkait pengangkutan sampah dan emisi gas rumah kaca, yaitu CO₂ dengan menggunakan metode IPCC. Metode IPCC merupakan metode yang digunakan untuk membuat perkiraan emisi antropogenik dan pembuangan gas rumah kaca.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini akan dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pola kegiatan pengangkutan sampah dari sumber menuju TPA?
2. Berapa potensi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari kegiatan pengangkutan sampah di Kota Yogyakarta?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Menganalisis pola kegiatan pengangkutan sampah dari sumber menuju TPA.
2. Mampu menghitung dan menganalisis potensi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari hasil pengangkutan sampah di Kota Yogyakarta.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian sebagai berikut:

1. Perguruan Tinggi
Dapat dijadikan referensi pembelajaran dan informasi terkait jumlah emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari pengangkutan sampah di Kota Yogyakarta dengan metode IPCC.
2. Pemerintah
Sebagai masukan serta bahan pertimbangan dalam membuat kebijakan pemerintah mengenai tentang pencemaran gas emisi rumah kaca hasil dari pengangkutan sampah.
3. Masyarakat

Sebagai referensi atau acuan untuk masyarakat mengenai beban emisi yang dihasilkan oleh sektor transportasi di Kota Yogyakarta pada Kecamatan Gondokusuman, Kecamatan Umbulharjo, Kecamatan Ngampilan, Kecamatan Gedongtengen, dan Kecamatan Pakualaman dan juga menambah wawasan, serta sebagai sumber informasi dan referensi bagi penelitian-penelitian selanjutnya.

1.5 Ruang Lingkup

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka perlu adanya ruang lingkup penelitian ini, yaitu :

1. Lokasi penelitian berada pada di Kecamatan Gondokusuman, Kecamatan Umbulharjo, Kecamatan Ngampilan, Kecamatan Gedongtengen, dan Kecamatan Pakualaman.
2. Penentuan titik sampling pada lokasi diambil dengan menentukan kepadatan penduduk rendah dengan persentase range 16,1-21%.
3. Metode perhitungan emisi gas rumah kaca menggunakan acuan pada metode IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*).
4. Emisi gas rumah kaca dari kegiatan pengangkutan sampah dengan data yang dibutuhkan, seperti bahan bakar yang akan digunakan, jenis kendaraan yang digunakan, volume alat angkut, waktu yang dibutuhkan menuju lokasi yang akan diangkut kontainernya, waktu yang digunakan untuk menunggu di TPS dan TPA
5. Gas rumah kaca yang akan diteliti adalah gas Karbon dioksida (CO₂)
6. Sumber komponen sampah berasal dari perumahan, pasar, dan sekolah.
7. Pengambilan dan pengukuran data dilakukan dengan menggunakan Google Maps dan Google Earth.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Timbulan Sampah

Timbulan sampah merupakan volume atau berat sampah yang dihasilkan dari sumber wiayah dalam kurun waktu tertentu. Timbulan dapat dinyatakan sebagai berikut:

- a. Satuan berat : kg/orang/hari, kg/m²/hari, kg/bed/hari, dan sebagainya,
- b. Satuan volume : L/orang/hari, L/m²/hari, L/bed/hari, dan sebagainya.

Data sekunder seperti timbulan, komposisi, dan karakteristik sampah dapat diukur secara langsung dengan survei lapangan maupun data statistik (Damanhuri & Padmi, 2010).

Adapun klasifikasi sumber timbulan sampah yang digunakan berdasarkan SNI 19-3964-1994 tentang Spesifikasi Timbulan Sampah untuk Kota Kecil dan Sedang di Indonesia terbagi menjadi:

1. Perumahan
Sumber perumahan terdiri dari rumah permanen, rumah semi permanen, dan rumah non permanen
2. Non Perumahan
Sumber non perumahan terdiri dari kantor, pasar, toko/ruko, sekolah, dan jalan.

Besaran timbulan sampah berdasarkan komponen-komponen sumber sampah dapat dilihat pada tabel 1, sementara besaran timbulan sampah berdasarkan klasifikasi kota dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2.1 Timbulan Sampah Berdasarkan Sumber Sampah

No	Komponen Sumber Sampah	Satuan	Volume (liter)	Berat (kg)
1	Rumah permanen		2,25-2,5	0,35-0,4
2	Rumah semi non permanen		2-2,25	0,3-0,35
3	Rumah non permanen		1,75-2	0,25-0,3
4	Kantor		0,5-0,75	0,025-0,1
5	Toko/Ruko	Per orang/hari	2,5-3	0,15-0,35
6	Sekolah		0,1-0,15	0,01-0,02
7	Jalan arteri sekunder		0,1-0,15	0,02-0,1
8	Jalan kolektor sekunder		0,01-0,15	0,01-0,05
9	Jalan lokal		0,05-0,1	0,005-0,025
10	Pasar		0,2-0,6	0,1-0,3

Sumber: Damanhuri dan Padmi, 2010

Tabel 2.2 Besaran Timbulan Sampah Berdasarkan Klasifikasi Kota

No	Klasifikasi Kota	Volume (L/orang.hari)	Berat (kg/orang.hari)
1	Kota sedang (100.000-500.000 jiwa)	2,75-3,25	0,7-0,8
2	Kota kecil (20.000-100.000 jiwa)	2,5-2,75	0,625-0,7

Sumber: SNI 10-3983-1995

Timbulan sampah terjadi sepanjang adanya rantai suplai yang dimana terdiri dari berbagai tahapan, mulai dari ekstrasi bahan mentah, produksi barang, distribusi makanan, dan konsumsi barang. Dalam rantai suplai (pasokan) yang efisien, jumlah dari timbulan sampah yang dihasilkan dari setiap tahapan terkait dengan sistem ekonomi yang lebih luas dan permintaan masyarakat bahwa rantai pasokan berada didalamnya. Produksi berkelanjutan yang tertanam di seluruh rantai pasokan bertujuan untuk menurunkan timbulan sampah, meningkatkan efisiensi produksi, dan sebaliknya (He, Reynolds, Zhou, Wang, & Boland, 2019).

Timbulan sampah dapat dipengaruhi oleh peningkatan ekonomi dan standar hidup di suatu negara. Semakin tinggi pertumbuhan ekonomi dan semakin konsumtif masyarakatnya, maka semakin meningkat juga timbulan sampah yang dihasilkan. Di sisi lain, kebijakakan terkait pencegahan dan pengurangan sampah dapat mengimbangi potensi timbulan sampah yang terjadi akibat perkembangan ekonomi (Namlis & Komilis, 2019).

Menurut SNI 19-3964-1995, laju timbulan sampah adalah sebagai berikut:

- a. Satuan timbulan limbah padat pada kota besar: 2-2,5 L/orang/hari atau 0,4- 0,5 kg/orang/hari;
- b. Satuan timbulan limbah padat pada kota sedang/kecil: 1,5-2 L/orang/hari atau 0,3-0,4 kg/orang/hari.

2.2 Pengangkutan Sampah

Pengangkutan sampah adalah kegiatan operasi dari titik pengumpulan terakhir dari suatu siklus pengumpulan sampah ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Peralatan yang dipakai tergantung dari pola pengumpulan sampah tersebut. Ada dua jenis pola pengangkutan, yaitu *Hauled Container system* (HCS) dan *Stationery Container System* (SCS). Perbedaan dari pola pengangkutan ini adalah HCS merupakan pola pengangkutan dengan kontainer angkat atau transfer depo, sedangkan SCS adalah pengangkutan dengan kontainer tetap. Dalam pola pengangkutan juga, terdiri dua sistem pola pengangkutan, yaitu sistem manual maupun mekanis. Perbedaan dari dua sistem ini adalah dari cara pengangkutan atau pengumpulannya. Sistem mekanis mengangkut menggunakan truck *compactor* dan kontainer yang kompatibel, sedangkan sistem manual menggunakan tenaga kerja dan bentuk kontainernya dalam bentuk bak angkat (Tchobanoglous *et al*, 1993).

Dalam kegiatan pengelolaan sampah, hal yang harus dilakukan berdasarkan SNI 3442:2008 tentang Pengelolaan Sampah di Permukiman sebelum sampah diangkut ke TPA adalah pemilahan, pewadahan, pengumpulan, dan pengangkutan. Pengangkutan memerlukan kendaraan pengangkut dan membutuhkan konsumsi energi untuk bisa menjalankan mesinnya dan dari energi tersebut akan mengeluarkan emisi berupa gas CO₂ (Uson, Ferreira, Vasquez, Bribian, & Sstresa, 2013). Prakiraan emisi GRK yang dihasilkan dari kegiatan pengelolaan sampah adalah sebesar 3-4% (Bogner, et al., 2008). Beberapa faktor yang akan memengaruhi emisi yang dihasilkan dari pengangkutan sampah, yaitu bahan bakar dan jenis kendaraan yang digunakan, ukuran kendaraan, dan beban kendaraan tersebut. (Chen, 2008).

Dalam pengangkutan sampah, sarana utama yang dibutuhkan adalah alat pengangkut sampah. berdasarkan SNI 19-2454-2002 tentang Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan, dijelaskan beberapa syarat alat pengangkut, antara lain:

1. Alat pengangkut sampah harus dilengkapi dengan penutup sampah.
2. Tinggi bak maksimum 1,6 m.
3. Sebaiknya ada alat ungkit.
4. Kapasitas disesuaikan dengan kelas jalan yang akan dilalui.
5. Bak truk/dasar kontainer sebaiknya dilengkapi dengan pengaman air sampah.

Sedangkan jenis alat angkut yang digunakan, yaitu *dump truck*, *arm roll truck*, truk pemadat, truk dengan *crane*, mobil penyapu jalan, dan truk gandeng.

Indikator dalam penanganan sampah yang baik adalah sistem pengangkutan sampah yang optimal dengan beberapa seperti, pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, dan pemrosesan akhir sampah. Apabila penanganan sampah tersebut dilakukan dengan baik, maka dapat dipastikan bahwa kesehatan masyarakat dan kualitas lingkungan di sekitar juga terjaga dengan baik (Zalukhu, 2018). Salah satu penanganan sampah adalah pengangkutan sampah dimana kegiatan pemindahan sampah dari Tempat Pembuangan Sementara (TPS)/TPST/Tempat Pembuangan Sampah *Reuse, Reduce, Recycle* (TPS3R) menuju ke TPA (Pemerintah Republik Indonesia, 2008).

Laju pertumbuhan baik dari industri, pertanian, maupun perdagangan akan memengaruhi pada pengangkutan sampah. (Ismail, Usman, Hidayah, & Chairani, 2012). Pertumbuhan tersebut akan memengaruhi pada kebutuhan armada dan berakibat pada peningkatan pengangkutan sampah. pemilihan rute dan penjadwalan pengangkutan harus diatur secara optimal karena akan memengaruhi jarak total perjalanan.. Ritasi pengangkutan dapat dikategorikan optimal apabila mampu mengangkut sampah dalam waktu sesingkat dan berpotensi memiliki hambatan paling kecil dari titik TPS menuju TPA (Ridha, Abdi, & Mahyudin, 2016).

Konsumsi bahan bakar diasumsikan untuk kendaraan *armroll* truk pada kondisi normal, yaitu 0,53 liter/km (Yunita & Ali, 2015) sedangkan untuk kondisi macet menggunakan asumsi 0,6 liter/km. Pada kendaraan *dump* truk dan *compactor* truk menggunakan asumsi 0,33 liter/km pada kondisi normal (Susanti, 2018), sedangkan kondisi padat kendaraan menggunakan 0,6 liter/km (Kustiawan, 2009).

Sistem pengumpulan sampah memiliki peran penting dalam pemulihan sampah terlepas dari beberapa faktor, seperti pengelolaan atau penggunaan kembali, daur ulang sampah dari rumah tangga atau sektor lain, dan lain-lain. Sistem pengumpulan sampah untuk rumah tangga dibagi menjadi titik-titik drop-off dan sistem pengumpulan dekat-properti. Sistem pengumpulan dekat-properti dapat dikategorikan ke dalam sistem pengumpulan sisi jalan dan sistem pengumpulan pintu ke pintu. Dalam pengumpulan sisi jalan, setiap rumah tangga khusus diberikan wadah dan diinstruksikan untuk menempatkan sampah dalam bentuk sisi jalan di sisi-sisi jalan saat pengumpulan dari pintu-ke pintu; rumah tangga diberi instruksi untuk menyimpan wadah sampah di tempat mereka tetapi

masing-masing rumah tangga pada awalnya diberikan wadah. Dalam sistem pengumpulan drop-off, penduduk diperlukan untuk mengirimkan barang-barang daur ulang ke pusat drop-off (Mwanza, Mbohwa, & Telukdarie, 2018).

2.3 Gas Rumah Kaca

Gas rumah kaca adalah sejumlah gas yang terdapat di atmosfer karena kegiatan manusia maupun gas alami yang akan menimbulkan efek rumah kaca. Adapun enam gas yang menyebabkan efek rumah kaca, yaitu gas CO₂, gas N₂O, gas CH₄, SF₆, PFC, dan HFC. Sumber emisi gas rumah kaca dikelompokkan menjadi enam kategori sumber oleh IPCC yang diantaranya adalah energi, proses industri, penggunaan zat pelarut dan produk-produk lainnya, pertanian, kehutanan, dan limbah (IPCC, 2008).

Efek rumah kaca disebabkan oleh peningkatan GRK. Efek rumah kaca diartikan sebagai proses masuknya radiasi matahari yang terjebak di atmosfer, sehingga suhu bumi menjadi meningkat. Sekitar 80-90% radiasi yang terjebak memberikan kehangatan bagi makhluk hidup di bumi. Dengan demikian sebenarnya efek rumah kaca tidaklah buruk, karena tanpa efek tersebut rata-rata suhu permukaan di bumi -18°C (Badan Litbang Pertanian, 2011).

Eksploitasi berlebihan dan kegiatan manusia yang terlalu banyak menghasilkan emisi dapat menyebabkan timbulnya pemanasan global. Akibat dari itu, akan terjadi peningkatan temperatur global dari tahun ke tahun karena terjadinya efek rumah kaca disebabkan oleh meningkatnya emisi gas buangan, seperti emisi CO₂, gas N₂O, gas CH₄, dan Klorofluorokarbon (CFC), sehingga energi matahari terperangkap dalam atmosfer bumi (Riebeek, 2010)

Gas rumah kaca adalah konstituen gas yang menyerap serta memancarkan energi radiasi dalam rentang inframerah termal. Fakta yang diketahui bahwa pemanasan global yang merusak keseimbangan ekosistem yang ada di bumi disebabkan oleh gas rumah kaca. Gas-gas ini terdiri dari Argon (Ar), CO₂, Neon (Ne), Helium (He), CH₄, Hidrogen (H), Nitro Oksida (NO), dan Ozon (O₃). Emisi gas rumah kaca yang berlebihan menyebabkan dunia menghadapi masalah, seperti pemanasan global yang pada gilirannya menghasilkan masalah lingkungan, seperti ketidakseimbangan ekologis (Devi & Gupta, 2019).

2.4 IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*)

IPCC menyatakan bahwa ada tiga sektor utama dalam peningkatan emisi gas karbon dioksida, yaitu sektor transportasi, sektor penyediaan energi, dan sektor industri. Gas CO₂ merupakan penyumbang terbesar dalam peningkatan emisi GRK dan gas tersebut dihasilkan dari transportasi. Untuk menghitung emisi, IPCC 2006 memerlukan dua data pokok, yaitu data kegiatan dan data faktor emisi atau serapan. Dalam sektor energi, konsumsi bahan bakar akan menjadi data aktivitas dan massa CO₂ yang dipancarkan perunit bahan bakar akan dikonsumsi akan menjadi faktor emisi (IPCC, 2008).

Ketelitian penghitungan emisi gas rumah kaca dikelompokkan dalam 3 tingkat ketelitian. Dalam kegiatan inventarisasi gas rumah kaca, tingkat ketelitian perhitungan dikenal dengan istilah "Tier". Tingkat ketelitian perhitungan terkait

dengan data dan metode perhitungan yang digunakan sebagaimana dijelaskan berikut ini:

- a. Tier-1
Metode ini menggunakan perhitungan emisi dan serapan dengan persamaan dasar (*basic equation*), seperti bahan bakar yang digunakan (produsen energi, manufaktur, transportasi, dan lain-lain) dan faktor emisi (misalnya, jenis bahan bakar dan penggunaan) *default IPCC*.
- b. Tier-2
Metode ini menggunakan perhitungan emisi dan serapan lebih akurat dan faktor emisi default IPCC atau faktor emisi spesifik suatu negara atau suatu pabrik (misalnya kandungan karbon dalam bahan bakar, faktor oksidasi karbon, kualitas bahan bakar, dan lain-lain).
- c. Tier-3
Metode ini menggunakan perhitungan emisi dan serapan paling rinci yang mana menggunakan pendekatan modeling dan *sampling* dan faktor emisi spesifik suatu negara atau suatu pabrik (*country specific/plant specific*) (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012)

2.5 Penelitian Terdahulu

Adapun beberapa penelitian mengenai emisi GRK dari pengangkutan sampah pernah yang pernah dilakukan sebelumnya seperti pada tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

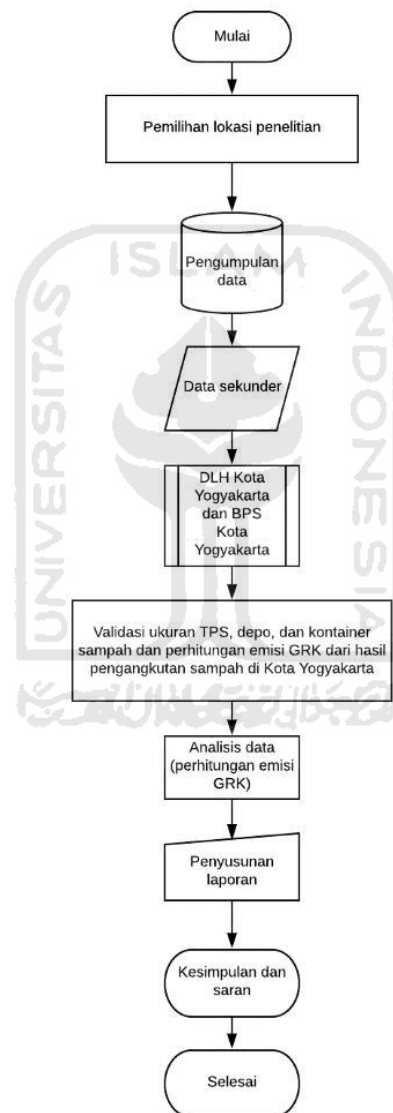
No	Sumber	Topik	Metode	Hasil
1	Kiswandayani (2015)	Komposisi dan Potensi Gas Rumah Kaca pada Pengelolaan Sampah Domestik: Studi Kasus Winongo Kota Madiun	Pengambilan sampel dilakukan dari setiap truk dengan <i>simple random sampling</i> dan dilakukan pemilahan. Sampel berada di zona TPA	Gas CH ₄ paling besar dihasilkan dari penimbunan sampah di TPA berupa sampah organik, sedangkan gas N ₂ O diemisikan dari pengomposan.
2	Ambariski (2016)	Sistem Pengangkutan Sampah Berdasarkan Kapasitas Kendaraan Pengangkut dan Kondisi Kontainer Sampah di Surabaya Barat	Survei lapangan tentang pengangkutan sampah dan berdasarkan kapasitas kontainer dan kondisi pengangkutan sampah. <i>Arm roll</i> digunakan sebagai alat pengangkut sampah sebesar 30%	Jumlah ritasi akan memengaruhi jumlah kendaraan yang digunakan. Selain itu, kontainer tanpa tutup akan memuat sampah lebih banyak daripada kontainer tertutup
3	Kustiasih <i>et al.</i> (2014)	Faktor Penentu Emisi Gas Rumah Kaca Dalam Pengelolaan Sampah Perkotaan	Menentukan faktor emisi gas rumah kaca dari data spesifik di Indonesia dengan mengidentifikasi parameter komposisi dan karakteristik	Komposisi dan karakteristik sampah memengaruhi besarnya emisi gas rumah kaca. Dengan dilakukan program 3R dapat mengubah bentuk dan

			sampah serta produk yang lebih meningkatkan aktifitas bernilai. Membuat pengelolaan sampah kompos dari sampah untuk mendukung juga merupakan salah mitigasi dan adaptasi satu bentuk pengurangan bidang persampahan. sampah.
4	Rahman (2018)	Greenhouse gas emissions from road transportation in Saudi Arabia - a challenging frontier	Menggunakan prakiraan konsumsi energi, estimasi, dan proyeksi emisi gas rumah kaca dengan metode pemulusan eksponensial ganda. Sektor transportasi menyumbang emisi GRK terbesar pertama, yaitu sebesar 89%. Pertambahan penduduk dan transportasi di Saudi Arabia secara konsisten juga menjadi pemicu menyumbang emisi GRK. Namun, transportasi umum di Saudi Arabia sangat terbatas.
5	Güzel (2020)	Modeling Greenhouse Gas Emissions from the Transportation Sector in Istanbul by 2050	Sektor transportasi yang akan diperhitungkan, yaitu transportasi jalan raya, kereta api, penerbangan, dan navigasi perairan. Bahan bakar yang digunakan adalah bensin, solar, LPG, CNG, bahan bakar minyak dan jet, dan listrik. Sektor transportasi yang menyumbang emisi GRK terbesar adalah transportasi jalan raya dengan bahan bakar bensin maupun solar dibandingkan dengan transportasi lainnya karena faktor emisi bensin/solar sangat besar.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Dalam penelitian, ada tahapan atau kerangka penelitian guna untuk memudahkan dalam penyusunan penelitian dengan diagram alir secara sistematis yang ditunjukkan pada gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Kerangka Penelitian

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Pengambilan data dilaksanakan dari bulan April sampai dengan September 2020 dengan data sekunder. Lokasi penentuan titik pengambilan sampling

ditentukan dari kepadatan penduduk daerah tersebut, kemudian mengurutkan dari daerah dengan penduduk terpadat, menengah, dan paling sedikit. Pertimbangan dalam pemilihan kepadatan penduduk tinggi, sedang, rendah adalah karena penelitian ini akan dilakukan oleh 3 peneliti dan pembagian wilayah yang berbeda-beda. Setelah mendapatkan kepadatan penduduk, peneliti menghitung timbulan sampah di setiap kecamatan. Timbulan sampah pada penelitian ini mencakupi rumah, pasar, dan sekolah. Besaran timbulan sampah pada setiap komponen sumber sampah dapat dilihat pada tabel 1.

Jumlah penduduk kecamatan di kota Yogyakarta adalah berdasarkan sumber Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Yogyakarta pada tahun 2019. Untuk mendapatkan kepadatan penduduk, jumlah penduduk dibagi dengan luas wilayah di setiap kecamatan. Data jumlah penduduk dan timbulan sampah terdapat pada tabel 4. Berikut adalah tabel data jumlah penduduk dan timbulan sampah.

Tabel 3.1 Data Jumlah Penduduk dan Timbulan Sampah

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Luas wilayah (km ²)	Kepadatan penduduk (Jiwa/km ²)	Timbulan sampah ₃ (m/orang/hari)
1	Gondokusuman	42818	3,99	10731	247,28
2	Umbulharjo	69887	8,12	8607	431,18
3	Ngampilan	18550	8,2	2262	58,75
4	Gedongtengen	19891	9,6	2072	58,83
5	Pakualaman	10810	6,3	1716	31,57

Sumber: BPS Kota Yogyakarta Dalam Angka 2019

3.3 Pengambilan Data

Sumber atau pencarian data dibutuhkan untuk menganalisa topik pembahasan penelitian tersebut. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder adalah sumber data berupa dokumen pendukung data primer yang diambil dari lembaga yang terkait, buku-buku, jurnal, laporan-laporan penelitian terdahulu, peraturan yang terkait dengan topik penelitian. Untuk penelitian ini, data sekunder yang diperlukan adalah:

1. Data jumlah penduduk di kecamatan Kota Yogyakarta
2. Data fasilitas umum setiap kecamatan di Kota Yogyakarta
3. Data dari Dinas Lingkungan Hidup Tahun 2017 mengenai jumlah data sarana prasarana persampahan di Kota Yogyakarta dan inventaris emisi gas rumah kaca di Kota Yogyakarta.
4. Pedoman Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Kegiatan Pengadaan dan Penggunaan Energi untuk sektor transportasi.

3.4 Analisis dan Pengolahan Data

Jenis penelitian berdasarkan teknik pengumpulan data adalah penelitian kuantitatif. Penelitian ini menggunakan jenis penelitian deskriptif dengan analisa kuantitatif.

Adapun pengolahan data dalam tahap pengerjaan perhitungan emisi gas CO₂ sebagai berikut:

1. Perhitungan estimasi emisi dengan metode IPCC Tier 1 untuk sektor penggunaan dan pengadaan energi untuk pengangkutan sampah
2. Perhitungan menggunakan data dengan konsumsi bahan bakar yang akan digunakan.
3. Perhitungan faktor emisi menggunakan hasil perhitungan estimasi emisi untuk sektor transportasi.
4. Pemetaan estimasi besarnya emisi.

3.4.1 Perhitungan Emisi dari Sektor Transportasi

Perhitungan estimasi besarnya emisi gas rumah kaca hasil pembakaran bahan bakar bergantung pada jenis dan banyaknya kendaraan, bahan bakar yang digunakan, dan ukuran kendaraan. Bahan bakar akan direpresentasikan sebagai data aktivitas dan jenis bahan bakar sebagai faktor emisi. Pada penelitian ini, bahan bakar yang digunakan adalah solar atau gas diesel dan jenis kendaraan yang digunakan adalah *armroll* truk, *compactor* truk, dan *dump* truk. Sedangkan untuk banyaknya kendaraan dihitung dari jumlah rute pengangkutan yang dilakukan. Faktor emisi pada *default* dari IPCC untuk pembakaran bahan bakar sumber bergerak dapat dilihat pada tabel 5. Persamaan yang digunakan untuk estimasi gas rumah kaca pada persamaan 3.1 adalah sebagai berikut:

$$\text{Emisi GRK (—)} = \text{Konsumsi Energi (—)} \times \text{Faktor Emisi (—)} \dots\dots\dots 3.1$$

Data konsumsi energi yang tersedia umumnya dalam satuan fisik, seperti ton batubara, kilo liter minyak diesel, dan lain-lain. Satuan fisik yang digunakan adalah liter solar. Data konsumsi energi harus dikonversi terlebih dahulu ke dalam satuan energi TJ (Terra Joule) dengan persamaan 3.2 sebagai berikut:

$$\text{Konsumsi Energi (TJ)} = \text{Konsumsi Energi} \times \text{Nilai Kalor (—)} \dots\dots\dots 3.2$$

Tabel 3.2 Faktor Emisi CO₂ Default Transportasi Jalan Raya

<i>Fuel Type</i>	<i>Default</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>
	(kg/TJ)		
Solar	74100	72600	74800

Sumber: Pedoman Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca Pengadaan dan Penggunaan Energi

Penelitian ini menggunakan Google Maps sebagai *tool* pengganti *routing* perjalanan kendaraan truk sampah yang seharusnya dilakukan dengan survei secara langsung dengan mengikuti truk sampah dari TPS hingga TPA. *Routing* dilakukan berdasarkan daerah yang terlayani. Jumlah bahan bakar akan dijadikan sebagai konsumsi energi, sedangkan faktor emisi dan nilai kalor sudah diketahui secara *default* dari pedoman metode IPCC tersebut.

3.4.2 Perhitungan Faktor Emisi CO₂ dari Transportasi

Sumber emisi dari transportasi meliputi mobil pribadi, kendaraan niaga, seperti bus, truk, minibus, dan sepeda motor. Berdasarkan Tier-1 emisi CO₂ dapat dihitung dengan rumus persamaan 3.3 sebagai berikut:

$$\text{Emisi CO}_2 = \sum \text{Konsumsi BB}_a \times \text{Faktor Emisi}_a \dots\dots\dots 3.3$$

dimana,

Emisi : Emisi CO₂

Konsumsi BB_a : bahan bakar dikonsumsi

Faktor emisi_a : faktor emisi CO₂ menurut jenis bahan bakar (kg/TJ), *default* IPCC 2006

a : jenis bahan bakar



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Wilayah Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kota Yogyakarta yang memiliki 14 kecamatan dengan kepadatan penduduk yang berbeda-beda. Adapun kawasan kecamatan yang akan menjadi tempat penelitian, yaitu Kecamatan Gondokusuman, Kecamatan Umbulharjo, Kecamatan Gedongtengen, Kecamatan Ngampilan, dan Kecamatan Pakualaman. Kecamatan tersebut memiliki cukup banyak sarana prasarana persampahan sebagai wadah menampung sampah masyarakat sekitar.

Menurut Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta Tahun 2015, terdapat 75 Tempat Pembuangan Sementara (TPS), 11 depo, dan 17 kontainer di Kota Yogyakarta. Sarana prasarana tersebut terbagi atas lima sektor, yaitu Sektor Gunungketur, Sektor Malioboro-Kranggan, Sektor Krasak, Sektor Kotagede, dan Sektor Ngasem-Gading.

Kecamatan Gondokusuman berada di Sektor Krasak dengan jumlah TPS sebanyak 33 buah, 2 depo, dan 2 kontainer. Kecamatan Umbulharjo dan Kecamatan Pakualaman terletak di Sektor Gunungketur dengan jumlah TPS sebanyak 7 buah, 2 depo, dan 4 kontainer, dan terakhir adalah Kecamatan Ngampilan dan Kecamatan Gedongtengen sendiri berada di Sektor Malioboro-Kranggan dengan total jumlah TPS sebanyak 4 buah, 1 depo, dan 1 kontainer. Objek penelitian penulis adalah TPS, depo, dan kontainer. Dalam pelaksanaan berdasarkan survei secara langsung dan mencari menggunakan bantuan Google Earth dan Google Maps, sarana prasarana persampahan didapatkan 42 buah yang mencakupi TPS, landasan kontainer, dan depo. Data sarana prasarana persampahan ditunjukkan pada tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Sarana Persampahan Kecamatan Kepadatan Penduduk Rendah Tahun 2019

No	Kecamatan	Lokasi TPS/Depo	Kode
1		DLH Kota Yogyakarta	Depot
2		TPS Herman Yohanes	T1
3		Perikanan Sagan	T2
4		TPS Wardani	T3
5		Barat Jembatan Layang	T4
6		TPS Atmosukarto	T5
7		Jalan Krasak Barat	T6
8	Gondokusuman	Jalan Kusbini	T7
9		TPS Kusbini I	T8
10		Jalan Ungaran	T9
11		Jalan I Nyoman Oka	T10
12		Jalan Patimura	T11
13		TPS Johar Muhadi	T12
14		TPS Hadi Darsono	T13
15		TPS Urip Sumoharjo	T14

36
37
38
39
40

No	Kecamatan	Lokasi TPS/Depo	Kode
16		TPS Munggur	T15
17		Belakang Duta Foto	T16
18		TPS SD Klitren	T17
19		TPS Kowilhan	T18
20		TPS Tribrata	T19
21		TPS Kusbini II	T20
22		Jl. Balapan	T21
23		TPS SMA 3	T22
24		TPS Telkom	T23
25		Komplek Pamungkas	T24
26		Jl. Merbabu (RRI Jogja)	T25
27		Depo Sagan	D1
28		TPS Pengok (Rel Kereta)	D2
29		TPA Piyungan	TPA
30		TPS Jalan Cantel	U1
31		TPS Jalan Cantel Baru	U2
32		TPS Jalan Sidobali	U3
33		TPS Winosoban	U4
34		TPS Kebon Bibia Nitikan	U5
35	Umbulharjo	TPS Pamukti	U6
		TPS Ust. Sarwi	U7
		TPS Semaki	U8
		LC Pamukti	U9
		LC RSUD Wirosaban	U10
		LC Balai Kota	U11
41	Gedongtengen	Depo Nitikan	G1
42		Depo Pringgokusuman	G2
43	Pakualaman	TPS Jalan Ki	P1
44		Mangunsarkoro	
	Ngampilan	TPS Pasar Senin	N1
45		TPS Ngadiwinatan	N2

Sumber: Jurnal Optimasi Rute Pengangkutan Optimasi Rute Pengangkutan Sampah Kota Yogyakarta Menggunakan Hybrid Genetic Algorithm dan Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta Tahun 2017

4.2 Timbulan Sampah di Kecamatan Kota Yogyakarta

Total emisi CO₂ didapatkan dari timbulan sampah yang dihasilkan setiap hari. Timbulan sampah berasal dari persampahan domestik, seperti perumahan dan persampahan non domestik yang berasal dari fasilitas umum, seperti pasar dan sekolah. Dapat dilihat pada tabel 9 timbulan sampah setiap komponen. Setiap tahun timbulan sampah mengalami kenaikan, namun tidak begitu besar penambahannya. Pada tabel 10 merupakan timbulan sampah yang dihasilkan setiap tahun dan proyeksi untuk lima tahun kedepan pada setiap kecamatan.

Berikut adalah contoh perhitungan timbulan sampah dari komponen rumah di Kecamatan Gondokusuman.

$$\begin{aligned} \text{Timbulan sampah} &= \text{jumlah penduduk (jiwa)} \times \text{volume sampah (liter)} \\ &= 42818 \text{ jiwa} \times 2,5 \text{ liter} \\ &= 107.045 \text{ liter/hari} \\ &= 107,05 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Tabel 4.2 Timbulan Sampah dari Sumber Komponen di Kecamatan Kota Yogyakarta

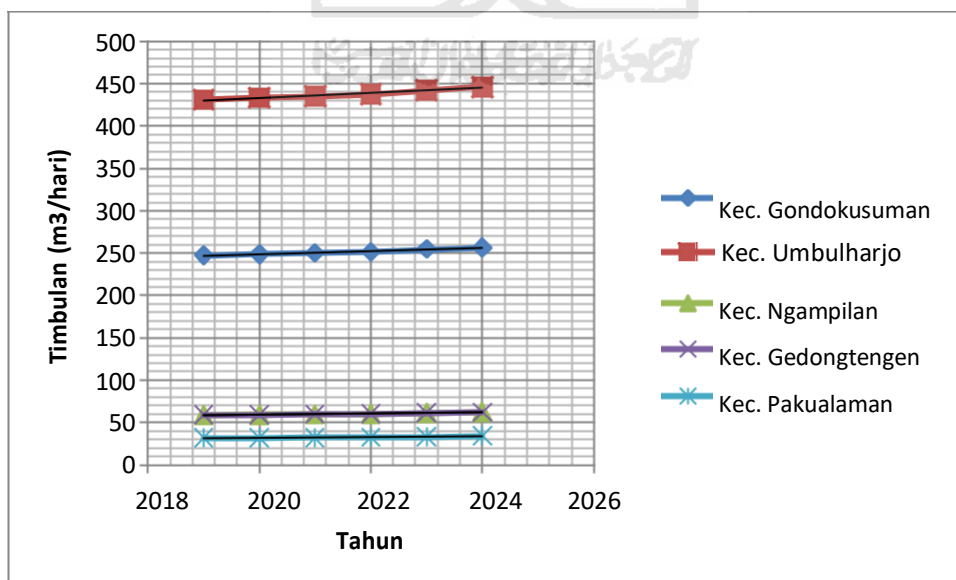
Timbulan Sampah Pertahun (m ³ /Hari)					
No	Kecamatan	Rumah	Sekolah	Pasar	Total
1	Gondokusuman	107,05	132,49	7,7412	247,28
2	Umbulharjo	174,72	240,89	15,5778	431,18
3	Ngampilan	46,38	11,70	0,6678	58,75
4	Gedongtengen	49,73	8,18	0,9216	58,83
5	Pakualaman	27,03	2,26	2,2896	31,57

Sumber: Data Perhitungan

Tabel 4.3 Proyeksi Timbulan Sampah (m³/Hari) Tahun 2019-2024

No	Tahun	Kec. Gondokusuman	Kec. Umbulharjo	Kec. Ngampilan	Kec. Gedongtengen	Kec. Pakualaman
1	2019	247,28	431,18	58,75	58,75	31,57
2	2020	248,49	433,15	59,26	59,05	31,87
3	2021	249,77	435,15	59,79	59,61	32,18
4	2022	251,22	437,49	60,38	60,20	32,49
5	2023	254,42	441,97	61,46	61,12	33,00

Sumber: Data Perhitungan



Gambar 4.1 Proyeksi Timbulan Sampah Tahun 2019-2024

4.3 Emisi Gas Rumah kaca di Kota Yogyakarta dengan Kepadatan Penduduk Rendah

Produksi emisi gas rumah kaca disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya pertumbuhan penduduk. Semakin meningkat jumlah penduduk, semakin meningkat pula emisi gas rumah kaca yang dihasilkan. Hal ini juga akan memicu dalam kegiatan di pemukiman yang padat dan berdampak juga pada penurunan kualitas udara khususnya CO₂ (Gobel, Tondobala, & Sela, 2019). Selain CO₂, peningkatan produksi gas metan akan berbanding lurus dengan pertumbuhan jumlah penduduk. (Suprihatin, Indrasti, & Romli, 2008).

Kepadatan penduduk didapatkan dari jumlah penduduk pada suatu daerah dibagi dengan luas kawasan daerah tersebut. Kepadatan penduduk juga memengaruhi dalam peningkatan emisi gas rumah kaca. Semakin besar kepadatan penduduk tersebut, maka tingkat emisi yang dihasilkan semakin banyak (Prihastuty, 2016).

Faktor pengelolaan sampah juga perlu diperhatikan. Pada beberapa kasus, khususnya di kepadatan penduduk tinggi, penanganan dalam pengelolaan sampah selalu diutamakan sedangkan pada kepadatan rendah, pengelolaan persampahan masih terbilang kurang optimal (Tampuyak, Anwar, & Sangadji, 2019). Permasalaham sampah yang tidak dikelola dengan baik akan berdampak juga pada kerusakan lingkungan, penurunan kualitas sanitasi yang mana akan berpengaruh juga kepada penurunan kualitas masyarakat setempat (Fitriansyah, Pirngadi, & Nurwulandari, 2020).

Penelitian ini dilakukan pada kecamatan di Kota Yogyakarta dengan kepadatan penduduk rendah. Adapun kecamatan yang diteliti adalah Kecamatan Gondokusuman, Kecamatan Umbulharjo, Kecamatan Gedongtengen, Kecamatan Ngampilan, dan Kecamatan Pakualaman. Kecamatan tersebut dikatakan dengan tingkat populasi rendah karena kepadatan penduduknya per luas lebih rendah daripada kecamatan lain di Kota Yogyakarta.

4.4 Emisi CO₂ menggunakan Metode IPCC

Emisi gas CO₂ merupakan salah satu penyumbang emisi GRK yang terbesar pertama yang kemudian disusul dengan emisi CH₄ urutan 25 dan N₂O urutan 298 (Kementrian Lingkungan Hidup, 2012). Pada umumnya, hampir semua kegiatan menghasilkan emisi CO₂, seperti respirasi pada manusia, konsumsi energi LPG, kendaraan bermotor, industri, penumpukan sampah, dan lain-lain. Emisi yang dihasilkan dari kendaraan membutuhkan konsumsi energi dan dari bahan bakar minyak akan berakibat polutan ke atmosfer dalam skala besar. Penggunaan bahan bakar tersebut pada sektor transportasi, khususnya bensin akan mengeluarkan gas salah satunya karbon dioksida (CO₂) (Nurdjanah, 2015).

Pada penelitian ini, sumber kegiatan berasal dari transportasi, yaitu pengangkutan sampah di Kota Yogyakarta. Untuk data dari jurnal, kendaraan sudah diketahui, yaitu menggunakan *compactor truck* dan *dump truck* yang mana masing-masing truk memiliki persamaan kapasitas dengan variasi antara 6 m³ hingga 10 m³. Hal pertama yang dilakukan adalah menghitung konsumsi energi terlebih dahulu dengan rumus konsumsi bahan bakar yang digunakan dikali nilai

kalor bahan bakar yang digunakan. Untuk kendaraan dengan BBM solar, memiliki nilai kalor sebesar 36×10^{-6} TJ/L. Berikut adalah contoh perhitungan untuk emisi CO₂.

- Konsumsi Energi = Konsumsi BBM solar (Sat. fisik) x Nilai kalor

$$\left(\frac{\text{---}}{\text{---}} \right)$$

$$= 2.413,32 \text{ L} \times 36 \times 10^{-6} \text{ TJ/L}$$

$$= 0,087 \text{ TJ/tahun}$$

Setelah mendapatkan konsumsi energi, menghitung emisi gas CO₂ yang dihasilkan selama setahun dengan cara konsumsi energi dikali faktor emisi BBM yang digunakan yang sudah dijelaskan pada bab III metode penelitian tabel 4. Contoh perhitungan sebagai berikut.

- Emisi CO₂ = Konsumsi energi (TJ/Tahun) x Faktor emisi BBM solar (kg/TJ)

$$= 0,087 \text{ TJ/tahun} \times 74.100 \text{ kg/TJ}$$

$$= 6.438,03 \text{ kg/tahun}$$

$$= 6,44 \text{ ton/tahun}$$

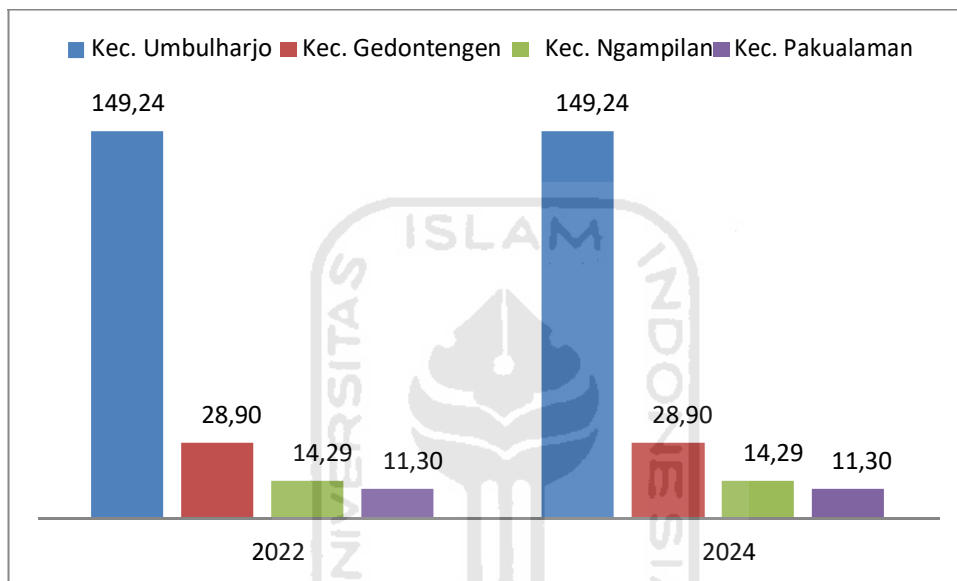
Hasil perhitungan emisi CO₂ berbahan bakar solar berdasarkan kegiatan transportasi pengangkutan sampah disajikan pada lampiran 1 pada kondisi normal dan lampiran 2 pada kondisi padat kendaraan.

Timbulan sampah yang didapatkan akan digunakan untuk menghitung emisi total yang dikeluarkan dengan membuat total trip kendaraan pada setiap kecamatan. Total emisi yang dihasilkan dari pengangkutan sampah di Kecamatan Gondokusuman adalah 196.440 kg/tahun atau 196,44 ton/tahun pada kondisi normal, sedangkan total emisi pada kondisi padat kendaraan adalah 357.170 kg/tahun dan 357,17 ton/tahun. Kecamatan Gondokusuman memiliki jumlah ritasi pengangkutan sebanyak 11 ritasi yang mana melayani 27 sarana prasarana mencakup TPS, landasan kontainer dan depo dengan total trip kendaraan 3-4 hari sekali. Untuk total emisi pada Kecamatan Umbulharjo pada kondisi normal adalah 149.240 kg/tahun atau 149,24 ton/tahun, sedangkan total emisi pada kondisi padat kendaraan adalah 168.950 kg/tahun atau 168,95 ton/tahun dengan jumlah rute pengangkutan sebanyak 11 rute dengan total trip kendaraan 3 per hari.

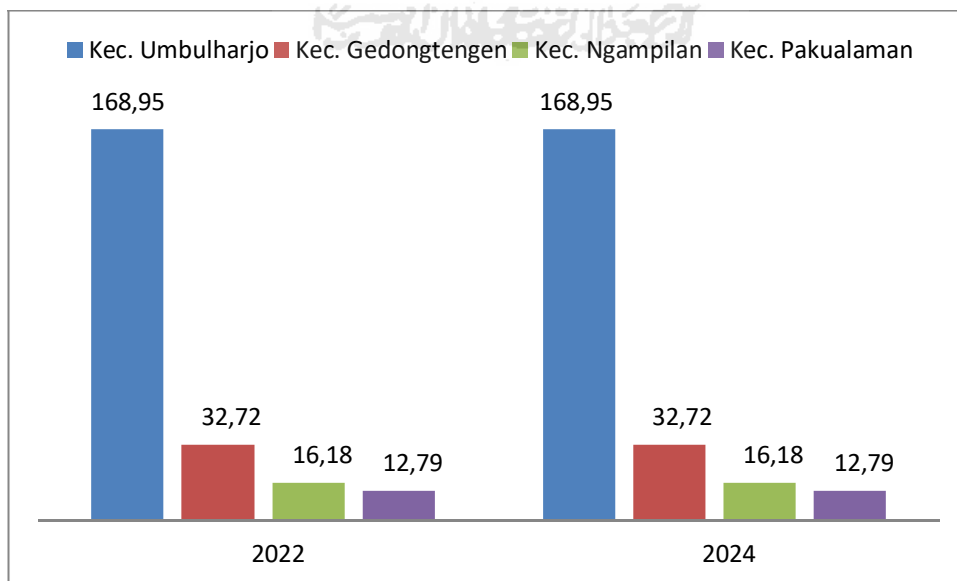
Pada Kecamatan Ngampilan pada kondisi normal adalah 142.900 kg/tahun atau 14,29 ton/tahun, sedangkan total emisi pada kondisi ramai adalah 161.800 kg/tahun atau 16,18 ton/tahun. Total Kecamatan Gedongtengen sebesar pada kondisi normal 289.000 kg/tahun atau 28,9 ton/tahun, sedangkan total emisi pada kondisi ramai adalah 327.200 kg/tahun atau 32,72 ton/tahun. Kecamatan Pakualaman pada kondisi normal adalah 11.300 kg/tahun atau 11,3 ton/tahun, sedangkan total emisi pada kondisi padat kendaraan adalah 127.900 kg/tahun atau 12,79 ton/tahun. Total trip kendaraan sebanyak 2 kali per hari dan hanya 1 ritasi pengangkutan.

Peneliti membuat potensi emisi yang dihasilkan untuk proyeksi tahun 2022 dan 2024. Namun, tidak terjadi penambahan emisi dari sektor pengangkutan, karena jumlah kapasitas muatan truk masih bisa menampung timbulan sampah

yang dihasilkan pada tahun-tahun sebelumnya. Seperti yang dapat dilihat pada gambar 3. Pada penelitian ini, diketahui bahwa truk pengangkut sampah menggunakan solar. Adanya perbedaan yang cukup jauh antara Kecamatan Gondokusuman dengan kecamatan lainnya dikarenakan dari ritasi pengangkutannya, dimana pada Kecamatan Gondokusuman tidak menggunakan sistem SCS. Jumlah TPS dan depo yang dilayani pada Kecamatan Gondokusuman juga lebih banyak jika dibanding kecamatan lain, yaitu sebanyak 27 buah. Sedangkan pada sektor selain di Kecamatan Gondokusuman, hanya didapatkan sebanyak 15 buah dan menggunakan sistem HCS.



Gambar 4.2 Emisi CO₂ Tahun 2022 dan 2024 pada Kondisi Normal



Gambar 4.3 Emisi CO₂ Tahun 2022 dan 2024 pada Kondisi Padat Kendaraan

4.5 Analisis Perhitungan Emisi CO₂

Pada penelitian ini menggunakan metode IPCC yang menghitung emisi gas, yaitu emisi CO₂. Pada jurnal Armandi, *et al* (2019) yang telah didapat, Kecamatan Gondokusuman telah diketahui jenis kendaraan, ritasi pengangkutan, dan jarak tempuh pada lampiran 1. Sedangkan pada Kecamatan Umbulharjo, Kecamatan Pakualaman, Kecamatan Ngampilan, dan Kecamatan Gedongtengen ditunjukkan pada tabel 4 yang mana pengangkutan sampah dilakukan dan dihitung secara manual menggunakan bantuan Google Earth dan Google Maps, dimana rute pengangkutan hanya dihitung pada satu TPS saja dan asumsi kendaraan menggunakan *arm roll* karena sistemnya HCS (*Hauled Container System*). Pelayanan truk pengangkut sampah pada Kecamatan Gondokusuman memiliki sistem SCS, dimana sistem pengangkutan pada kontainer penyimpanan sampah berada tetap di titik penyimpanan sampah. Sistem HCS menggunakan kontainer yang cukup besar, sehingga waktu pengangkutan lebih sedikit. Selain itu juga, kendaraan yang digunakan akan memengaruhi konsumsi bahan bakar yang digunakan, semakin besar kapasitas armada kendaraan, semakin besar juga bahan bakar yang digunakan.

Total emisi CO₂ di Kota Yogyakarta dengan kepadatan penduduk rendah pada situasi normal adalah 400.17 ton/tahun sedangkan pada situasi padat kendaraan sebesar 587,81 ton/tahun. Apabila dibandingkan dengan penelitian (Maziya, 2017) yang dilakukan di Kecamatan Genteng Kabupaten Surabaya menghasilkan gas emisi sebesar 152,8 ton/tahun, emisi pada kecamatan kepadatan penduduk rendah tiga kali lebih besar. Ada beberapa faktor yang memengaruhi hal tersebut, yaitu jumlah penduduk pada Kecamatan Genteng lebih sedikit dibanding dengan total jumlah penduduk di lima kecamatan di Kota Yogyakarta. Jumlah penduduk juga menjadi salah satu faktor dihasilkannya emisi karena akan menghasilkan timbulan sampah (Prihastuty, 2016).

Selain itu, jumlah timbulan sampah pada Kecamatan Genteng lebih sedikit dibanding dengan timbulan sampah pada kecamatan kepadatan penduduk rendah. Peningkatan penduduk juga akan berdampak pada peningkatan jumlah timbulan sampah yang mana dari timbulan sampah tersebut berpengaruh pada produksi emisi gas rumah kaca (Wahyudi, 2019).

Pada penelitian (Chaerul, Febrianto, & Tomo, 2020) yang diteliti di Kota Cilacap, mengeluarkan emisi CO₂ sebesar $6,7 \times 10^{10}$ ton/tahun. Hal tersebut bisa terjadi karena beberapa penyebab yang menyebabkan hasilnya cukup jauh pertama, timbulan sampah yang dihasilkan perharinya sebesar 134.461 kg/hari atau 134,46 ton/hari yang berasal dari lima kecamatan wilayah. Selain itu, jumlah truk yang digunakan lebih banyak apabila dibandingkan dengan penelitian di lima kecamatan Kota Yogyakarta, yaitu total 30 truk. Hal ini akan berpengaruh juga ke konsumsi bahan bakar yang mana membutuhkan 2.730 liter/minggu atau sebesar 23 liter/truk/hari. Pemilihan rute dan jadwal pengangkutan sampah itu sangat penting dalam menentukan jarak tempuh total yang mana akan berpengaruh juga ke emisi gas buang yang dihasilkan (Huang & Lin, 2015). Perbandingan dari emisi CO₂ dengan penelitian terdahulu dapat dilihat pada tabel 9 berikut.

Table 4.4 Perbandingan emisi CO₂ dengan penelitian terdahulu

Kecamatan/Kota	Jumlah Penduduk (jiwa)	Emisi CO ₂ (ton/tahun)
Kecamatan kepadatan penduduk rendah di Kota Yogyakarta	161965	400,17
Kecamatan Genteng	84432	152,8
Kota Cilacap	396437	674000

Penggunaan konsumsi bahan bakar kendaraan pada kegiatan pengangkutan sampah bergantung pada volume sampah yang akan diangkut, kapasitas kontainer, ritasi pengangkutan, dan jumlah energi yang dibutuhkan (Iriarte, Gabarrell, & Rieradevall, 2009). Salah satu indikator dalam penanganan sampah dapat dilihat dari kegiatan pengangkutan sampahnya (Ramadan, Safitri, Cahyo, & Wibowo, 2017).

Menurut Larsen (2009), kepadatan penduduk dengan daerah yang padat menjadi yang paling efisien dan daerah kepadatan dengan penduduk rendah sebaliknya karena akan memengaruhi pada pengangkutan sampahnya. Jarak pemindahan sampah dari satu titik ke titik lain dipengaruhi dari kegiatan pengumpulan dan pengangkutan yang mana akan membutuhkan konsumsi bahan bakar dalam kondisi mesin menyala (Chaerul, Febrianto, & Tomo, 2020).

4.6 Dampak yang Terjadi akibat Emisi Gas Rumah Kaca

Gas rumah kaca yang dihasilkan pada sektor transportasi, berupa emisi CO₂ dapat memicu meningkatnya *global warming*. Di era globalisasi ini, mulai banyak kendaraan, industri, dan kegiatan lainnya yang memicu efek rumah kaca, seperti emisi CO₂ dari industri, kendaraan, pembangkit listrik, dan pembakaran bahan bakar fosil

Menurut Samiaji (2009), penambahan gas rumah kaca di atmosfer secara kontinyu memberikan dampak pada pemanasan global yang mana akan menyebabkan perubahan iklim yang ekstrim dan membuat pola musim akan semakin sulit untuk diprediksi. Longsor, kekeringan panjang, banjir, dan panas ekstrim merupakan akibat dampak dari pemanasan global tersebut. Tidak hanya itu, dampak dari emisi gas buang yang terlalu tinggi terutama dalam sektor transportasi akan menyebabkan kerusakan pada tubuh manusia, seperti gangguan berpikir karena kandungan karbon monoksida yang terlalu tinggi, bisa menyebabkan iritasi mata, bercak kulit, serta perubahan kode genetik (Kementerian Lingkungan Hidup, 2008).

4.7 Strategi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca pada Sektor Transportasi

Strategi ini merupakan langkah dalam penurunan emisi gas rumah kaca yang dibagi atas tiga terapan, *avoid*, *shift*, dan *improve*. *Avoid* atau *reduce* adalah cara dengan menghindari atau mengurangi kebutuhan energi. *Shift* merupakan langkah yang mana mengalihkan ke penggunaan energi ramah lingkungan, dan *improve* adalah strategi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi dengan

menggunakan teknologi yang lebih efisien. Berikut adalah rencana aksi yang akan diimplementasikan.

Tabel 4.5 Strategi dalam Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca

No	Strategi	Deskripsi kegiatan	Pihak pelaksana
1	Peremajaan Armada Alat Pengangkut Sampah	Mengganti kendaraan lama dengan kendaraan baru agar pembakaran yang dihasilkan lebih efisien, serta mengurangi emisi	Dinas Lingkungan Hidup
2	Penerapan konsep 3R (<i>Reduce, Reuse, Recycle</i>)	Mitigasi perubahan iklim dengan konsep 3R, yaitu pengurangan (<i>reduce</i>) sampah di sumber, digunakan kembali (<i>reuse</i>), dan didaur ulang (<i>recycle</i>) sebelum diangkut ke TPA. Kebijakan kedua, yaitu pengelolaan sampah yang dilakukan dengan partisipasi aktif masyarakat dalam program 3R.	Pemerintah dan masyarakat

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang Emisi Gas Rumah Kaca Dari Pengangkutan Sampah di Kota Yogyakarta dengan Tingkat Kepadatan Penduduk Rendah dapat disimpulkan bahwa:

1. Pola kegiatan pengangkutan sampah dari sumber menuju TPA ada 2 pola, yaitu HCS (*Hauled Container System*) dan SCS (*Stationery Container System*). Untuk Kecamatan Gondokusuman adalah pola pengangkutan SCS sedangkan untuk Kecamatan Umbulharjo, Kecamatan Pakualaman, Kecamatan Ngampilan, dan Kecamatan Gedongtengen menggunakan pola pengangkutan HCS.
2. Total emisi yang dihasilkan dari pengangkutan sampah di Kecamatan dengan kepadatan penduduk rendah adalah 400,17 ton/tahun pada kondisi normal, sedangkan pada situasi padat kendaraan sebesar 587,81 ton/tahun.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan adalah:

1. Dibutuhkan data yang lebih lengkap dan aktual sehingga penelitian mengenai emisi gas rumah kaca memiliki data lebih akurat pada tempat penelitian tersebut.
2. Untuk penelitian selanjutnya, akan lebih baik melaksanakan penelitian secara langsung ke lokasi penelitian agar bisa melihat kondisi riilnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. (2018). Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27, 1275-1290.
- Al-ZBoon, K. P., Radaideh, J. P., & Hung, Y. T. (2012). Municipal Waste Treatment. In *Environment and Waste Management* (p. 1178). Singapore: National University of Singapore.
- Armandi, E., Purwani, A., & Linarti, U. (2019). Optimasi Rute Pengangkutan Sampah Kota Yogyakarta Menggunakan Hybrid Genetic Algorithm. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*.
- Astuti, F. A., Asrifah, D., Widiarti, I. W., Utami, A., & Santoso, D. H. (2018). Identifikasi Persepsi Pola Perlakuan Sampah Oleh Masyarakat Dalam Meningkatkan Efektivitas Pengelolaan Sampah Kota Yogyakarta. *Science Tech*, 4(2), 59-66.
- Badan Litbang Pertanian. (2011). Teknologi Mitigasi Gas Rumah Kaca (GRK) Dari Lahan Sawah. *Agroinovasi*, 21(27), 7-12.
- Badan Pusat Statistik Kota Yogyakarta. (2020). *Kota Yogyakarta Dalam Angka*. Yogyakarta: BPS Kota Yogyakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (n.d.). Spesifikasi Timbunan Sampah Untuk Kota Kecil dan Kota Sedang di Indonesia. *Standar Nasional Indonesia*.
- Boedoyo, M. S. (2008). Penerapan Teknologi untuk Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 9-16.
- Bogner, J., Pipatti, R., Hashimoto, S., Diaz, C., Mareckova, K., Diaz, L., et al. (2008). Mitigation of Global Greenhouse Gas Emissions From Waste: Conclusion and Strategies From The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report . *Waste Management & Research*, 26, 11-32.
- Chaerul, M., Febrianto, A., & Tomo, H. S. (2020). Peningkatan Kualitas Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca dari Sektor Pengelolaan Sampah dengan Metode IPCC 2006 (Studi Kasus: Kota Cilacap). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(1), 153-161.
- Chen, T. d. (2008). Greenhouse Gases Emission from Waste Management Practices Using Life Cycle Inventory Model. *Hazardous Material*, 155(1-2), 23-21.
- Damanhuri, P. E., & Padi, D. T. (2010). *Pengelolaan Sampah* (1 ed.). Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Devi, S., & Gupta, N. (2019). Effects of Inclusion of Delay In The Imposition of Environmental Tax On The Emission of Greenhouse Gases. *Chaos, Solitons and Fractals*, 125, 41-53.
- Dharmowijoyo, D. B., & Tamin, O. Z. (2010). Pemilihan Metode Perhitungan Pengurangan Emisi Karbon Dioksida di Sektor Transportasi. *Jurnal Transportasi*, 10(2), 245-252.
- Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2018). *Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Tahun 2018*. Daerah Istimewa Yogyakarta: Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

- Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta. (2017). *Inventarisasi dan Penyusunan Profil Emisi Gas Rumah Kaca Kota Yogyakarta*. Yogyakarta.
- Eisted, R., Larsen, A. W., & Christensen, T. H. (2009). Collection, Transfer, and Transport of Waste: Accounting of Greenhouse Gases and Global Warming Contribution. *Waste Management and Research*, 27, 739-745.
- Fitriansyah, H., Pirngadi, B. H., & Nurwulandari, F. S. (2020). Pengolaan Persampahan pada Permukiman Padat Penduduk di Kelurahan Cicadas Kota Bandung. *Jurnal Plano*, 9(1), 73-86.
- Franz, W. a. (2012). Greenhouse Gas Emissions from the EU Livestock Sector: A Life Cycle Assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 149, 124-134.
- Ghaemi, Z., & Smith, A. D. (2020). A Review on the Quantification of Life Cycle Greenhouse Gas Emissions At Urban Scale. *Journal of Cleaner Production*, 252, 1-16.
- Gobel, I. W., Tondobala, L., & Sela, R. L. (2019). Sebaran Spasial Emisi Gas Karbon Dioksida pada Kawasan Permukiman di Kecamatan Singkil Kota Manado. *Jurnal Spasial*, 6(3).
- He, H., Reynolds, C. J., Zhou, Z., Wang, Y., & Boland, J. (2019). Changes of Waste Generation in Australia; Insight From Structural Decomposition Analysis. *Waste Management*, 83, 142-150.
- Huang, S.-H., & Lin, P.-C. (2015). Vehicle routing-scheduling for municipal waste collection system under the "Keep Trash off the Ground" policy. *Omega*, 55, 24-37.
- IPCC. (2008). *2006 IPCC Guidelines For National Greenhouse Gas Inventories*. Japan: Institute for Global Environmental Strategies.
- Iriarte, A., Gabarrell, X., & Rieradevall, J. (2009). LCA of Selective Waste Collection Systems Intense Urban Areas. *Waste Management*, 29, 903-14.
- Ismail, A., Usman, Y., Hidayah, N., & Chairani, L. (2012). Metropolitan Cities Waste Transportation Model. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 65, 1046-1053.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2012). *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II Volume I Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca Pengadaan dan Penggunaan Energi*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2012). *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II Volume IV Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca Pengelolaan Limbah*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2008). *Pedoman Pelaksanaan Pemeriksaan Emisi dan Perawatan Kendaraan Bermotor*. Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2012). *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional*.
- Kustiasih, T., Setyawati, L. M., Anggraini, F., Darwati, S., & Aryenti. (2014). Faktor Penentu Emisi Gas Rumah Kaca Dalam Pengelolaan Sampah Perkotaan. *Jurnal Permukiman Vol. 9 No. 2 Agustus 2014* : 78-90, 9(2), 78-90.

- Kustiawan, I. (2009). PENENTUAN RUTE TRUK PENGANGKUT SAMPAH KOTA BANDUNG DALAM MENGANTISIPASI KEBERADAAN PLTSa GEDEBAGE.
- Larsen, A. W., Vrgoc, M., & Christenen, T. H. (2009). Diesel Consumption in Waste Collection and Transport and its Environmental Significance. *Waste Management and Research*, 27, 652-659.
- Maziya, F. B. (2017). Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Karbon Dioksida (CO₂) Kegiatan Pengelolaan Sampah Kecamatan Genteng Kota Surabaya. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(2), 1-9.
- Mineral, K. E. (2013). *Kajian Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Energi*. Jakarta.
- Mwanza, B. G., Mbohwa, C., & Telukdarie, A. (2018). The Influence of Waste Collection Systems On Resource Recovery: A Review. *Science Direct*, 21, 846-853.
- Namlis, K.-G., & Komilis, D. (2019). Influence of Four Socioeconomic Indices and The Impact of Economic Crisis on Solid Waste Generation in Europe. *Waste Management*, 89, 190-200.
- Nurdjanah, N. (2015). Emisi CO₂ Akibat Kendaraan Bermotor di Kota Denpasar. Pemerintah Kota Yogyakarta. (2012). *Peraturan Daerah Kota No 10 Tahun 2012 Yogyakarta Tentang Pengelolaan Sampah*. Yogyakarta: Pemerintah Kota Yogyakarta.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2008). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah*. Jakarta.
- Prabowo, S., Pranoto, & Budiastuti, S. (2019). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Yang Dihasilkan Dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Di Jawa Tengah. *Bioeksperimen*, 5(1), 21-33.
- Prihastuty, I. W. (2016). Pengaruh Tingkat Kekompakan Ruang (Urban Compactness) terhadap Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca pada Sektor Energi Bidang Transportasi. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2).
- Purwanta, W. (2009). Penghitungan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Dari Sektor Sampah Perkotaan Di Indonesia. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 10(1), 1-8.
- Ramadan, B. S., Safitri, R. P., Cahyo, M. R., & Wibowo, Y. G. (2017). Optimasi Sistem Pengangkutan Sampah Kecamatan Jati, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 16(1).
- Ridha, M., Abdi, C., & Mahyudin, R. (2016). Studi Optimasi Rute Pengangkutan Sampah Kota Marabahan dengan Sistem Informasi Geografis. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 2(2), 38-51.
- Riebeek, H. (2010). Global Warming.
- Rincón, C. A., Guardia, A. D., Couvert, A., Roux, S. L., Soutrel, I., Daumoin, M., et al. (2019). Chemical and Odor Characterization of Gas Emissions Released During Composting of Solid Wastes and Digestates. *Journal of Environmental Management*, 233, 39-53.
- Salfoher, S., Schneider, F., & Obersteiner, G. (2007). The Ecological Relevance of Transport in Waste Disposal Systems in Western Europe. *Waste Management*, 27(8), S47-S57.

- Samiaji, T. (2009). Upaya Mengurangi CO₂ di Atmosfer. *Berita Dirgantara*, 10(3), 92-95.
- Suprihatin, Indrasti, N. S., & Romli, M. (2008). Potensi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Melalui Pengmposan Sampah. *Jurnal Teknik Industri Pertanian*, 18(1), 53-59.
- Susanti, D. (2018). Analisis Jarak pada Rute Truk Pengangkutan Sampah dengan Metode Vehicle Routing Problem (VRP) Kota Padang. *Teknomatika*, 8(1).
- Tampuyak, S., Anwar, C., & Sangadji, M. N. (2019). Analisis Proyeksi Pertumbuhan Penduduk dan Kebutuhan Fasilitas Persampahan di Kota Palu 2015-2025. *Jurnal Katalogis*, 4, 94-104.
- Thalib, A. (2011). *Perkembangan Teknologi Peternakan Terkait Perubahan Iklim: Teknologi Mitigasi Gas Metan Enterik Pada Ternak Ruminansia*. Badan Penelitian Ternak.
- Uson, A. A., Ferreira, G., Vasquez, D. Z., Bribian, I. Z., & Sstresa, E. L. (2013). Environmental-Benefit Analysis of Two Urban Waste Collection Systems. *Science of the Total Environment*, 463-464, 72-77.
- Wahyudi, J. (2019). Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari Pembakaran Terbuka Sampah Rumah Tangga Menggunakan Model IPCC. *Jurnal Litbang*, 15(1), 65-76.
- Yaman, C. (n.d.). Investigation of Greenhouse Gas Emissions and Energy Recovery Potential From Municipal Solid Waste Management Practices. *Environmental Development*.
- Yunita, T. A., & Ali, M. (2015). Analisis Sistem Transportasi Sampah Kota Tuban Menggunakan Dynamic Programming. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 6(1).
- Zalukhu, S. d. (2018). Analisis Model Dinamik dalam Pengangkutan Sampah di Kota Bangkalan. *Jurnal Envirotek*, 10(1), 28-36.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Ritasi Pengangkutan Sampah di Kecamatan Gondokusuman

No.	Kendaraan	Kendaraan	Rute	Total Trip Kendaraan	Total Jarak Tertempuh	Total Waktu Penyelesaian
					meter	menit
1	AB 8396 UA	Compactor	Depot-T17-T7-TPA-T9-T25-TPA-Depot	3	60.110	277
2	AB 8127 UA	Compactor	Depot-T21-T16-T14-TPA-T10-T11-T25-TPA-Depot	3	58.830	283
3	AB 8336 UA	Dump Truck	Depot-T15-T19-TPA-T6-T24-TPA-Depot	3	58.300	233
4	AB 8163 UA	Dump Truck	Depot-D2-T20-T8-T4-TPA-T10-T22-T23-T5-TPA-Depot	3	58.190	226
5	AB 8247 UA	Dump Truck	Depot-D2-TPA-D1-TPA-T18-TPA-Depot	4	85.450	302
6	AB 8133 UA	Dump Truck	Depot-D2-TPA-D1-TPA-Depot	3	57.950	223
7	AB 8020 IA	Dump Truck	Depot-D2-TPA-D1-TPA-Depot	3	57.950	223
8	AB 8049 UA	Dump Truck	Depot-D2-TPA-D1-TPA-Depot	3	57.950	223
9	AB 8300 UA	Dump Truck	Depot-D2-TPA-D1-TPA-Depot	3	57.950	223
10	AB 8246 UA	Dump Truck	Depot-T1-T2-D1-TPA-T5-T12-T13-T3-TPA-Depot	3	59.230	229

Lampiran 2 Emisi CO₂ Kecamatan Gondokusuman pada Situasi Normal

No.	Rute	Total Trip Kendaraan	Total Jarak Tertempuh	Rata-rata	Konsumsi BBM	Konsumsi Energi	Emisi CO ₂ pertahun	
		hari	km/hari	km/hari	Diesel L/tahun	TJ	kg	ton
1	Depot-T17-T7-TPA-T9-T25-TPA- Depot	3	60,11	20,04	2413,42	0,087	6438,03	6,44
2	Depot-T21-T16-T14-TPA-T10-T11- T25-TPA-Depot	3	58,30	19,43	2340,75	0,084	6244,17	6,24
3	Depot-T15-T19-TPA-T6-T24-TPA- Depot	3	58,30	19,43	2340,75	0,084	6244,17	6,24

No.	Rute	Total Trip Kendaraan hari	Total Jarak Tertempuh km/hari	Rata-rata km/hari	Konsumsi BBM Diesel L/tahun	Konsumsi Energi TJ	Emisi CO2 pertahun	
							kg	ton
4	Depot-D2-T20-T8-T4-TPA-T10-T22-T23-T5-TPA-Depot	3	58,19	19,40	2336,33	0,084	6232,39	6,23
5	Depot-D2-TPA-D1-TPA-T18-TPA-Depot	4	85,45	21,36	2573,11	0,093	6864,04	6,86
6	Depot-D2-TPA-D1-TPA-Depot	3	57,95	19,32	2326,69	0,084	6206,68	6,21
7	Depot-D2-TPA-D1-TPA-Depot	3	57,95	19,32	2326,69	0,084	6206,68	6,21
8	Depot-D2-TPA-D1-TPA-Depot	3	57,95	19,32	2326,69	0,084	6206,68	6,21
9	Depot-D2-TPA-D1-TPA-Depot	3	57,95	19,32	2326,69	0,084	6206,68	6,21
10	Depot-T1-T2-D1-TPA-T5-T12-T13-T3-TPA-Depot	3	59,23	19,74	2378,08	0,086	6343,78	6,34

Lampiran 3 Emisi CO₂ Kecamatan Gondokusuman pada Situasi Padat Kendaraan

No.	Rute	Total Trip Kendaraan hari	Total Jarak Tertempuh km/hari	Rata-rata km/hari	Konsumsi BBM Diesel L/tahun	Konsumsi Energi TJ	Emisi CO2 pertahun	
							kg	ton
1	Depot-T17-T7-TPA-T9-T25-TPA-Depot	3	60,11	20,04	4388,03	0,158	11705,51	11,71
2	Depot-T21-T16-T14-TPA-T10-T11-T25-TPA-Depot	3	58,30	19,43	4255,90	0,153	11353,04	11,35
3	Depot-T15-T19-TPA-T6-T24-TPA-Depot	3	58,30	19,43	4255,90	0,153	11353,04	11,35
4	Depot-D2-T20-T8-T4-TPA-T10-T22-T23-T5-TPA-Depot	3	58,19	19,40	4247,87	0,153	11331,62	11,33
5	Depot-D2-TPA-D1-TPA-T18-TPA-Depot	4	85,45	21,36	4678,39	0,168	12480,07	12,48
6	Depot-D2-TPA-D1-TPA-Depot	3	57,95	19,32	4230,35	0,152	11284,88	11,28

No.	Rute	Total Trip Kendaraan hari	Total Jarak Tertempuh km/hari	Rata-rata km/hari	Konsumsi BBM		Emisi CO2	
					Diesel L/tahun	Konsumsi Energi TJ	kg	ton
7	Depot-D2-TPA-D1-TPA-Depot	3	57,95	19,32	4230,35	0,152	11284,88	11,28
8	Depot-D2-TPA-D1-TPA-Depot	3	57,95	19,32	4230,35	0,152	11284,88	11,28
9	Depot-D2-TPA-D1-TPA-Depot	3	57,95	19,32	4230,35	0,152	11284,88	11,28
10	Depot-T1-T2-D1-TPA-T5-T12-T13- T3-TPA-Depot	3	59,23	19,74	4323,79	0,156	11534,14	11,53

Lampiran 4 Emisi CO₂ Kecamatan Umbulharjo, Kecamatan Ngampilan, Kecamatan Gedongtengen, dan Kecamatan Pakualaman pada Situasi Normal

NO	Kecamatan	Rute	Total Jarak Tertempuh km/hari	Waktu Total (jam)	Total Trip Kendaraan hari	Rata-rata km/hari	Konsumsi		Emisi CO2	
							BBM Diesel L/tahun	Konsumsi Energi TJ	kg	ton
1		Depot-U1-TPA-Depot	30,7	1,53		10,23	1979,638	0,07	5280,88	5,28
2		Depot-U2-TPA-Depot	24,1	1,53		8,03	1554,048	0,06	4145,58	4,15
3		Depot-U3-TPA-Depot	23,4	1,47		7,80	1508,91	0,05	4025,17	4,03
4		Depot-U4-TPA-Depot	37,1	2,07		12,37	2392,332	0,09	6381,78	6,38
5		Depot-U5-TPA-Depot	24,4	1,47		8,13	1573,393	0,06	4197,18	4,20
6	Umbulharjo	Depot-U6-TPA-Depot	23,9	1,40	3	7,97	1541,152	0,06	4111,18	4,11
7		Depot-U7-TPA-Depot	25,3	1,38		8,43	1631,428	0,06	4352,00	4,35
8		Depot-U8-TPA-Depot	24,9	1,55		8,30	1605,635	0,06	4283,19	4,28
9		Depot-U9-TPA-Depot	24,3	1,43		8,10	1566,945	0,06	4179,98	4,18
10		Depot-U10-TPA-Depot	24,6	1,43		8,20	1586,29	0,06	4231,59	4,23
11		Depot-U11-TPA-Depot	26,5	1,52		8,83	1708,808	0,06	4558,42	4,56
12	Gedongtengen	Depot-G1-TPA-Depot	24,2	1,43	2	12,10	2340,745	0,08	6244,17	6,24
13		Depot-G2-TPA-Depo	31,8	1,85		15,90	3075,855	0,11	8205,15	8,21

NO	Kecamatan	Rute	Total Jarak	Waktu	Total Trip	Rata-rata	Konsumsi	Konsumsi	Emisi CO2	
			Tertempuh	Total	Kendaraan		BBM Diesel	Energi	kg	ton
			km/hari	(jam)	hari	km/hari	L/tahun	TJ		
14	Ngampilan	Depot-N1-TPA-Depo	27,7	1,32	4	6,93	1339,641	0,05	3573,63	3,57
15	Pakualaman	Depot-P1-TPA-Depot	21,9	1,05	2	10,95	2118,278	0,08	5650,72	5,65

Lampiran 5 Emisi CO₂ Kecamatan Umbulharjo, Kecamatan Ngampilan, Kecamatan Gedongtengen, dan Kecamatan Pakualaman pada Situasi Padat Kendaraan

NO	Kecamatan	Rute	Total Jarak	Waktu	Total Trip	Rata-rata	Konsumsi	Konsumsi	Emisi CO2	
			Tertempuh	Total	Kendaraan		BBM Diesel	Energi	kg	ton
			km/hari	(jam)	hari	km/hari	L/tahun	TJ		
1		Depot-U1-TPA-Depot	30,7	1,53		10,23	2241,1	0,08	5978,36	5,98
2		Depot-U2-TPA-Depot	24,1	1,53		8,03	1759,3	0,06	4693,11	4,69
3		Depot-U3-TPA-Depot	23,4	1,47		7,80	1708,2	0,06	4556,79	4,56
4		Depot-U4-TPA-Depot	37,1	2,07		12,37	2708,3	0,10	7224,66	7,22
5		Depot-U5-TPA-Depot	24,4	1,47		8,13	1781,2	0,06	4751,53	4,75
6	Umbulharjo	Depot-U6-TPA-Depot	23,9	1,40	3	7,97	1744,7	0,06	4654,16	4,65
7		Depot-U7-TPA-Depot	25,3	1,38		8,43	1846,9	0,07	4926,79	4,93
8		Depot-U8-TPA-Depot	24,9	1,55		8,30	1817,7	0,07	4848,90	4,85
9		Depot-U9-TPA-Depot	24,3	1,43		8,10	1773,9	0,06	4732,06	4,73
10		Depot-U10-TPA-Depot	24,6	1,43		8,20	1795,8	0,06	4790,48	4,79
11		Depot-U11-TPA-Depot	26,5	1,52		8,83	1934,5	0,07	5160,47	5,16
12	Gedongtengen	Depot-G1-TPA-Depot	24,2	1,18	2	12,10	2649,9	0,10	7068,87	7,07
13		Depot-G2-TPA-Depo	31,8	1,60		15,90	3482,1	0,13	9288,85	9,29
14	Ngampilan	Depot-N1-TPA-Depo	27,7	1,07	4	6,93	1516,575	0,05	4045,62	4,05

NO	Kecamatan	Rute	Total Jarak	Waktu	Total Trip	Rata-rata	Konsumsi	Konsumsi	Emisi CO2	
			Tertempuh	Total	Kendaraan		BBM Diesel	Energi	pertahun	
			km/hari	(jam)	hari	km/hari	L/tahun	TJ	kg	ton
15	Pakualaman	Depot-P1-TPA-Depot	21,9	0,80	2	10,95	2398,05	0,09	6397,04	6,40



Lampiran 6 Dokumentasi Validasi TPS, Depo, dan Landasan Kontainer





RIWAYAT PENULIS

Sarah Indriani atau nama sapaan Sarah lahir di Dumai, Riau pada tanggal 25 April 1998. Penulis adalah anak kedua dari pasangan Bapak Ahmad Hadi Pitono dan Ibu Sunarsih. Pendidikan yang telah ditempuh oleh penulis dimulai dari pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SDS 03 YKPP Bukit Datuk, Dumai. Melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 2 Dumai. Penulis juga merupakan alumni SMAN Binaan Khusus (Binsus) Kota Dumai. Dan sekarang, sedang menempuh pendidikan yang lebih tinggi, yaitu kuliah di Universitas Islam Indonesia jurusan Teknik Lingkungan.

Semasa di kuliah, penulis cukup aktif mengikuti rangkaian panitia dan organisasi, seperti pernah menjadi delegatoris Himpunan Koperasi Mahasiswa Yogyakarta (HKMY) dan Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan (IMTLI) Regional 3. Tidak hanya itu, penulis pernah mengikuti kegiatan seperti *organizing comitee* dan *steering comitee* pada makrab Lintas Lingkungan (Lilin). Organisasi lainnya adalah menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) pada periode 2018/2019. Namun, tidak hanya kegiatan non-akademik, penulis pernah menjadi asisten Laboratorium Pengomposan dan Laboratorium Pengantar Teknik Lingkungan I.

