

**PENGEMBANGAN MODEL INTEGRASI *CAPACITATED VEHICLE  
ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS (CVRPTW)* DAN *GREEN  
DISTRIBUTION* PADA TEMPAT PENGOLAHAN SAMPAH TERPADU  
(TPST)**

**(Studi Kasus: TPST Sendang Sari Kabupaten Sleman)**

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta  
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S. T.)



Disusun Oleh:

Nama Lengkap : Khoirul Iqbal

NIM : 22106060033

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA**

**2026**

# LEMBAR PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

## PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-950/Un.02/DST/PP.00.9/05/2026

Tugas Akhir dengan judul : Pengembangan Model Integrasi Capacitated Vehicle Routing Problem With Time Windows (CVRPTW) dan Green Distribution pada Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) (Studi Kasus: TPST Sendang Sari Kabupaten Sleman)

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : KHOIRUL IQBAL  
Nomor Induk Mahasiswa : 22106060033  
Telah diujikan pada : Rabu, 06 Mei 2026  
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

### TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Prof. Ir. Dwi Agustina Kurniawati, S.T., M.Eng., Ph.D, IPM,  
ASEAN Eng  
SIGNED

Valid ID: 6a0d5f669df64



Penguji I

Ir. Trio Yonathan Teja Kusuma, S.T., M.T.,  
IPM., ASEAN Eng  
SIGNED

Valid ID: 6a0a833a55260



Penguji II

Ir. Taufiq Aji, S.T. M.T., IPM.  
SIGNED

Valid ID: 6a0b0e5c4c37b



Yogyakarta, 06 Mei 2026

UIN Sunan Kalijaga  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.  
SIGNED

Valid ID: 6a0eaa864654e

## SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI

### SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Surat Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Lamp :-

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga

Di Yogyakarta

*Assalamu'alaikum wr wb*

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi saudara:

Nama : Khoirul Iqbal

NIM : 22106060033

Judul Skripsi : Pengembangan Model Integrasi *Capacitated Vehicle Routing Problem With Time Window (CVRPTW)* dan *Green Distribution* Pada Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST)

(Studi Kasus: TPST Sendangsari, Kabupaten Sleman)

Sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Teknik Industri Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Teknik Industri.

Dengan ini kami mengharapkan agar skripsi/tugas akhir saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

*Wassalamu'alaikum wr wb*

Yogyakarta, 15 April 2026

Pembimbing,



Prof. Ir. Dwi Agustina Kurniawati,

S.T.,M.Eng.,Ph.D. IPM, ASEAN Eng.

NIP 19790806 200604 2 001

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

### SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Khoirul Iqbal  
NIM : 22106060033  
Program Studi : Teknik Industri  
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan dengan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul: Pengembangan Model Integrasi *Capacitated Vehicle Routing Problem With Time Window* (CVRPTW) dan *Green Distribution* Pada Tempat Pengolahan Sampah Tepadu (TPST) (Studi Kasus: TPST Sendangsari, Kabupaten Sleman) adalah hasil karya pribadi dan sepanjang pengetahuan penyusun tidak berisi materi yang dipublikasikan atau ditulis orang lain, kecuali bagian-bagian tertentu yang penyusun ambil sebagai acuan.

Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar, maka sepenuhnya menjadi tanggungjawab penyusun.

Kota Yogyakarta, Tanggal 15 April 2026  
Yang menyatakan,



Khoirul Iqbal  
22106060033

## MOTTO

“Maybe not today, maybe not tomorrow, and maybe not the next month, but only one thing is true. I will be champion one day. I promise.”

**Brandon Moreno**

"Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan"

{Qs. Al-Insyirah: 5-6}



STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Alhamdulillah* *rabbi alamin*, Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, yang telah memberikan kelancaran, kekuatan, dan petunjuk-Nya sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan tepat waktu. Tanpa berkat dan rahmat-Nya, penulis tidak akan mampu menyelesaikan skripsi ini. Dengan penuh rasa syukur, penulis berhasil menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengembangan Model *Integrasi Capacitated Vehicle Routing Problem With Time Window* (CVRPTW) dan *Green Distribution* Pada Tempat Pengolahan Sampah Tepadu (TPST) (Studi Kasus: TPST Sendangsari, Kabupaten Sleman)” sebagai bagian dari persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana teknik.

Tidak lupa, penulis ingin memberikan terima kasih yang sebanyak banyaknya kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan baik fisik maupun moral penulis dalam masa perkuliahan dan proses penulisan skripsi ini. Ucapan terima kasih ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang selalu menanyakan “kapan lulus” dan “kapan wisuda”, dua pertanyaan sederhana yang menjadi sumber kekuatan sekaligus pengingat akan besarnya harapan yang dititipkan kepada penulis. Kepada bapak Gio Rahardjo dan ibu Tina Yuliana, terima kasih telah menjadi alasan terbesar bagi penulis agar tetap dan terus melangkah meski dalam perjalanan ini tidak terasa mudah. Terima kasih atas doa yang tidak pernah terputus dan semangat yang selalu diberikan lewat tatapan lelah ketika video call. Semua perjuangan ini ditempuh agar suatu hari nanti penulis terus bisa membanggakan kalian dengan segala pencapaian dan cita-

citanya. Skripsi ini adalah bukti bahwa setiap air mata, rasa takut gagal, dan malam penuh kecemasan telah terbayar oleh kasih sayang dan pengorbanan kalian. Semoga dengan skripsi ini menjadi langkah awal menuju masa depan yang lebih baik.

2. Ibu Ir. Herninanjati Paramawardhani, M.Sc. selaku kepala program studi teknik industri UIN Sunan Kalijaga. Beserta seluruh jajaran dosen dan staff program studi teknik industri UIN Sunan Kalijaga yang telah memberikan ilmunya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan perkuliahan ini.
3. Ibu Ir. Herninanjati Paramawardhani, M.Sc. selaku dosen pembimbing akademik (DPA) yang telah memberikan bimbingan, nasihat, dan saran-saran yang membangun selama penulis menjalani masa perkuliahan.
4. Ibu Prof. Ir. Dwi Agustina Kurniawati, S.T., M.Eng., Ph.D, IPM, ASEAN Eng. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan arahan dalam penyusunan skripsi ini dari awal hingga akhir.
5. Saudara kandung dan nenek penulis, A'malatif Nur Echa dan Muhammad Hasan yang selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis dalam perjuangan menyelesaikan cita-cita.
6. Teman-teman departemen Kajian strategis dan kaderisasi HMTI UIN Sunan Kalijaga periode 2023: Jaly Sulthon, Abdurrasyid Musyaffa, Naufal Daffa, Bima Sugeng, Mutiara Dian, Novita Ramadhani, yang telah berjuang bersama dalam 1 periode, dan sudah menjadi bagian dari perjalanan selama menjalani perkuliahan.
7. Teman-teman Teknik Industri 2022 "Rajendra" yang selalu menemani, membantu, dan berjuang bersama dari awal hingga akhir.

8. Seluruh penghuni *Basecamp* “Kamaba” yang telah kebersamai penulis layaknya keluarga selama perkuliahan di Yogyakarta.
9. Teman-teman Ikatan Mahasiswa Muhammadiyah PK. Saintek periode 2024 dan 2025, yang memberikan kesempatan untuk berkembang dan dan belajar selama periode berlangsung
10. Seluruh keluarga besar Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga yang telah memberikan bantuan akademis, motivasi, dan saling berbagi ilmu selama masa perkuliahan.
11. Daerah Istimewa Yogyakarta dan seluruh kisah yang hidup di dalamnya, tempat penulis menempuh perkuliahan dan di tanah perantauan. Kota yang bukan sekedar menjadi ruang singgah, melainkan rumah aman dan nyaman bagi penulis.
12. Last but not least, anak laki-laki kedua dan harapan orang tuanya, Khoirul Iqbal. Ya, diri saya sendiri. Apresiasi sebesar-besarnya untuk diri sendiri yang telah berjuang tanpa henti. Terima kasih telah bekerja keras dan bertahan sejauh ini.
13. Serta seluruh pihak lainnya yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga segala kebaikan dari berbagai pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini dapat dibalas oleh Allah SWT, *Aamiin*.

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillahirabbil alamin*, Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, yang telah memberikan kelancaran, kekuatan, dan petunjuk-Nya sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan tepat waktu. Tanpa berkat dan rahmat-Nya, penulis tidak akan mampu menyelesaikan skripsi ini. Dengan penuh rasa syukur, penulis berhasil menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengembangan Model Integrasi *Capacitated Vehicle Routing Problem With Time Window (CVRPTW)* dan *Green Distribution* Pada Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) (Studi Kasus: TPST Sendangsari, Kabupaten Sleman)”.

Tugas akhir ini diharapkan menjadi bermanfaat bagi pembaca maupun penulis untuk melakukan optimasi pemilihan rute berdasarkan batasan waktu dan juga kapasitas muatan armada dan mempertimbangkan dampak lingkungan secara bersamaan pada TPST. Tugas akhir ini juga merupakan syarat dalam meraih gelar sarjana teknik (S.T.) di UIN Sunan Kalijaga.

Penulis sadar, bahwa penelitian tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, maka dari itu penulis memohon kritik dan saran yang membangun dari pembaca.

Yogyakarta, 15 April 2026

Penulis,



**Khoirul Iqbal**  
**NIM: 22106060033**

## DAFTAR ISI

|   |           |
|---|-----------|
| LEMBAR PENGESAHAN .....   | i         |
| SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI.....  | ii        |
| SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....   | iii       |
| MOTTO .....   | iv        |
| HALAMAN PERSEMBAHAN .....   | v         |
| KATA PENGANTAR.....   | viii      |
| DAFTAR ISI .....  | ix        |
| DAFTAR GAMBAR .....   | xi        |
| DAFTAR TABEL .....  | xii       |
| DAFTAR LAMPIRAN .....   | xiii      |
| ABSTRAK .....   | xiv       |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1. Latar Belakang Masalah.....  | 1         |
| 1.2. Pertanyaan Penelitian .....  | 6         |
| 1.3. Tujuan Penelitian.....   | 6         |
| 1.4. Manfaat Penelitian .....   | 6         |
| 1.5. Batasan Penelitian .....   | 7         |
| 1.6. Sistematika Penulisan.....   | 8         |
| <b>BAB II KAJIAN PUSTAKA .....</b>  | <b>10</b> |
| 2.1. Penelitian Terdahulu.....  | 10        |
| 2.2. Landasan Teori .....   | 13        |
| 2.2.1. Logistik .....   | 13        |
| 2.2.2. <i>Mixed Integer Linear Programming</i> (MILP).....                        | 14        |
| 2.2.3. <i>Vehicle Routing Problem</i> (VRP) .....                                 | 15        |
| 2.2.4. <i>Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows</i> (CVRPTW)..... | 16        |
| 2.2.5. ILOG CPLEX.....  | 18        |
| 2.2.6. <i>Google Maps</i> .....   | 19        |
| 2.2.7. <i>Green Distribution</i> .....  | 19        |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>  | <b>22</b> |
| 3.1. Objek Penelitian.....  | 22        |
| 3.2. Metode Pengumpulan Data .....  | 22        |
| 3.2.1. Teknik Pengumpulan Data .....  | 22        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.2.2. Data Yang Dibutuhkan .....  | 23        |
| 3.3. Validitas.....  | 24        |
| 3.4. Variabel Penelitian .....   | 24        |
| 3.5. Model Analisis .....  | 25        |
| 3.6. Diagram Alir Penelitian.....  | 26        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>  | <b>29</b> |
| 4.1. Profil Instansi .....   | 29        |
| 4.2. Alur Distribusi sampah di TPST Sendangsari.....                           | 30        |
| 4.3. Pengumpulan Data .....  | 31        |
| 4.3.1 Data Kendaraan Instansi .....  | 31        |
| 4.3.2 Data Timbulan Sampah.....  | 32        |
| 4.3.3 Data TPST dan Transfer Depo .....  | 33        |
| 4.3.4 Data <i>Exsisting</i> .....  | 35        |
| 4.4. Hasil .....   | 37        |
| 4.4.1. Analisis Tren Timbulan Sampah Juli-Desember 2025.....                   | 37        |
| 4.4.2. Perhitungan <i>Green Distribution Rute Exsisting</i> .....              | 39        |
| 4.4.3. Perhitungan Biaya Operasional.....                                      | 41        |
| 4.4.4. Pengembangan Model Integrasi CVRPTW dan <i>Green Distribution</i> ..... | 42        |
| 4.4.5. Pembuatan Kode pada CPLEX .....   | 47        |
| 4.4.6. Implementasi Model.....   | 48        |
| 4.5. Pembahasan.....   | 52        |
| 4.6. Implikasi Manajerial .....  | 55        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>  | <b>56</b> |
| 5.1. Kesimpulan .....  | 56        |
| 5.2. Saran .....   | 56        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>  | <b>58</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 1. 1 Timbulan Sampah Prov. DIY 2025 .....                                       | 2  |
| Gambar 2. 1 Alur Integrasi <i>Green Distribution</i> Berdasarkan Pendekatan IPCC ..... | 21 |
| Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....   | 27 |
| Gambar 4. 1. Aliran Sampah TPST Sendangsari .....                                      | 30 |
| Gambar 4. 2 Persebaran Transfer Depo dan TPST .....                                    | 34 |
| Gambar 4. 3 Rute Pengiriman Sampah dari 4 Transfer Depo.....                           | 35 |
| Gambar 4. 4 Trend Timbulan Sampah Harian Juli - Desember 2025 .....                    | 38 |
| Gambar 4. 5 kode CPLEX CVRPTW dan Green Distribution.....                              | 48 |
| Gambar 4. 6 Parameter Data .....   | 49 |
| Gambar 4. 7 Matriks Jarak.....   | 49 |
| Gambar 4. 8 Output File .txt CPLEX.....  | 49 |
| Gambar 4. 9 Rute Hasil Optimasi - 1.....   | 51 |
| Gambar 4. 10 Rute Hasil Optimasi – 2.....  | 51 |



## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu.....                                | 10 |
| Tabel 4. 1. Jenis Kendaraan .....                                   | 31 |
| Tabel 4. 2. Timbulan Sampah (Ton).....                              | 32 |
| Tabel 4. 3 Kode Pelanggan, latitude, dan Longitude .....            | 33 |
| Tabel 4. 4 Rute Existing.....                                       | 35 |
| Tabel 4. 5 konsumsi BBM distribusi (Liter) dan kecepatan Truk ..... | 37 |
| Tabel 4. 6 Perhitungan Green distribution .....                     | 40 |
| Tabel 4. 7 Biaya Operasional .....                                  | 42 |
| Tabel 4. 8 Hasil Pengolahan Data .....                              | 52 |
| Tabel 4. 9 Hasil Pengolahan Data .....                              | 53 |
| Tabel 4. 10 Perbandingan Parameter Emisi .....                      | 53 |
| Tabel 4. 11 Perbandingan Biaya.....                                 | 54 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| Lampiran 1 Data Timbulan Sampah ..... | L-1  |
| Lampiran 2 Lembar Wawancara .....     | L-4  |
| Lampiran 3 Kode CPLEX.....            | L-6  |
| Lampiran 4 Dokumentasi.....           | L-10 |



## ABSTRAK

Pertumbuhan volume sampah di wilayah perkotaan menuntut sistem pengangkutan yang efisien dan ramah lingkungan. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh tingginya biaya operasional dan emisi karbon pada sistem pengangkutan sampah eksisting di TPST Sendang Sari, Sleman, yang masih menggunakan rute konvensional dengan jumlah armada yang belum optimal. Penelitian ini mengembangkan model integrasi *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CVRPTW) dan *Green Distribution*. Optimasi dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan, jendela waktu pelayanan, serta biaya emisi karbon menggunakan CPLEX (OPL) untuk meminimalkan total biaya operasional yang meliputi biaya bahan bakar, tenaga kerja, dan pajak karbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model usulan mampu mengurangi jumlah armada sebesar 50%, dari 4 menjadi 2 kendaraan. Selain itu, konsumsi bahan bakar menurun dari 46,50 liter menjadi 27,17 liter per hari, serta emisi karbon berkurang dari 134,38 kg CO<sub>2</sub> menjadi 78,51 kg CO<sub>2</sub>. Dampaknya, total biaya operasional harian turun sebesar 47,2%, dari Rp 984.231 menjadi Rp 519.088. Penurunan ini terutama dipengaruhi oleh efisiensi tenaga kerja dan penggabungan rute yang lebih optimal. Dengan demikian, model yang dikembangkan mampu meningkatkan efisiensi operasional sekaligus menekan dampak lingkungan dalam sistem pengangkutan sampah.

Kata kunci: CVRPTW, *Green Distribution*, Optimasi Rute, Emisi Karbon, Biaya Operasional.

## **ABSTRACT**

*The growth of municipal solid waste in urban areas requires a transportation system that is not only cost-efficient but also environmentally sustainable. This study is motivated by the high operational costs and carbon emissions of the existing waste collection system at TPST Sendang Sari, Sleman, which still relies on conventional routing with a non-optimal number of vehicles. This research develops an integrated model of the Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW) and Green Distribution. The optimization considers vehicle capacity, service time windows at each collection point, and carbon emission costs. The model is solved using CPLEX (OPL) to minimize total operational costs, including fuel cost, labor cost, and carbon tax. The results show that the proposed model reduces the number of vehicles by 50%, from 4 to 2 units. In addition, fuel consumption decreases from 46.50 liters to 27.17 liters per day, while carbon emissions are reduced from 134.38 kg CO<sub>2</sub> to 78.51 kg CO<sub>2</sub>. Consequently, the total daily operational cost decreases by 47.2%, from IDR 984,231 to IDR 519,088. This reduction is primarily driven by labor efficiency and route consolidation. In conclusion, the proposed model improves operational efficiency while simultaneously reducing environmental impact in waste collection systems.*

*Keywords: CVRPTW, Green Distribution, Route Optimization, Carbon Emissions, Operational Cost.*



# BAB I

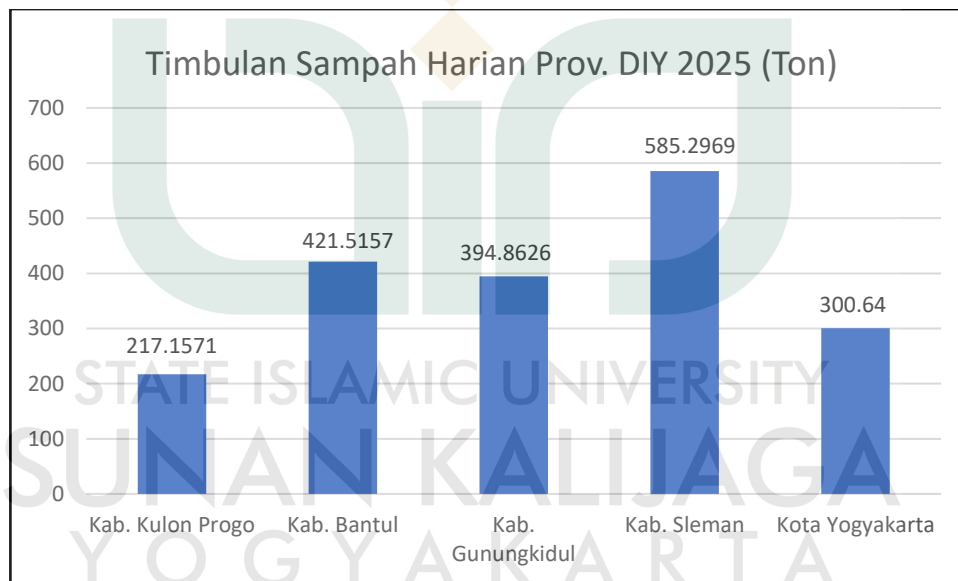
## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Pengelolaan sampah bukan hanya berkaitan dengan proses pengolahan akhir, namun juga masuk kedalam ranah aktivitas pengumpulan serta pengangkutan sampah dari sumber timbulan menuju fasilitas pengolahan. Permasalahan sampah yang hingga kini belum sepenuhnya terselesaikan di Indonesia (Khofifah, 2008), serta meningkatnya jumlah penduduk dan aktivitas ekonomi (Zaky *et al.*, 2022), berdampak pada kebutuhan sistem pengangkutan yang semakin meningkat. Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2025) tercatat total sampah nasional mencapai 24.9 juta ton per tahun dimana terdapat 65% atau setara 16 juta ton pertahun sampah yang tidak dikelola dan dimanfaatkan dengan optimal. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa permasalahan sampah di Indonesia tidak hanya disebabkan oleh timbulan sampah, tetapi memiliki keterkaitan dengan efektivitas sistem distribusinya. Dalam pengelolaan sampah unsur manusia, proses, dan teknologi memiliki fungsi meningkatkan kinerja operasional guna mengoptimalkan pengelolaan sampah (Siregar *et al.*, 2023).

Hal ini sejalan dengan UU Nomor 18 Tahun 2008 pengelolaan sampah didefinisikan sebagai sebuah usaha dan kegiatan yang bersifat sistematis dan berkesinambungan (Usman, 2016). Pengangkutan perlu dilakukan dengan terencana. Dalam konteks logistik, perencanaan tersebut berkaitan dengan penentuan rute kendaraan, sehingga memerlukan pemilihan rute optimal yang berdampak pada jarak, waktu pelayanan, serta pemanfaatan sumber daya, guna meningkatkan efisiensi pada operasional sekaligus mendukung keberlanjutan lingkungan.

Permasalahan serupa juga terjadi di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) ditandai dengan penutupan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Piyungan Bantul pada bulan April 2024, setelah dilakukan rekayasa buka tutup karena faktor *overload* dan juga pencemaran lingkungan yang ditimbulkan, penutupan TPA tersebut menunjukkan bahwa permasalahan sampah di DIY telah berada pada kondisi yang mendesak dan perlu segera ditangani (Sumbodo *et al.*, 2024). Dimana volume sampah semakin meningkat seiring bertambahnya penduduk serta urbanisasi (Sa & Fitriarti, 2025). Berdasarkan data lanjutan dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2025) menyatakan provinsi DIY menyumbang sampah sebesar 700.607 ton per tahun. Dimana kabupaten Sleman menjadi penyumbang sampah terbanyak dengan jumlah 213.633 ton per tahun atau sama dengan 585 ton per hari.



Gambar 1. 1 Timbulan Sampah Prov. DIY 2025

Tingginya angka timbulan di Kabupaten Sleman yang dihasilkan dari rumah tangga, perkantoran, perniagaan, pasar, serta fasilitas umum ini menuntut adanya sistem pengangkutan yang lebih terencana guna mencegah kegagalan aliran sampah dari titik penjemputan menuju fasilitas pengolahan. Tingginya timbulan sampah menuntut adanya sistem pengumpulan dan pengangkutan yang terencana, karena berperan penting dalam kelancaran aliran sampah menuju fasilitas pengolahan. Namun, berdasarkan kondisi di lapangan, sistem yang berjalan saat ini tidak mengalami kendala yang signifikan dan masih mampu mengakomodasi kebutuhan pengangkutan. Meskipun demikian, sistem tersebut masih berada pada kondisi yang relatif stabil atau berada pada zona nyaman, karena masih mengadaptasi pola pengangkutan dari sistem TPA sebelumnya. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan optimasi untuk meningkatkan efisiensi sistem, khususnya dalam perencanaan rute dan pemanfaatan kapasitas kendaraan.

Dalam realisasinya, *Transfer Depo* dan Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) yang memiliki perbedaan secara fungsi dimana *Transfer Depo* sebagai tempat penyimpanan sementara sebelum diangkut menggunakan truk untuk dikirim menuju TPST, sedangkan TPST sendiri adalah tempat pengolahan dari sampah itu sendiri, selain itu berfungsi sebagai pusat pengumpulan sebelum sampah diproses lebih lanjut, sehingga aktivitas pengumpulan dan pengangkutan tersebut merupakan bagian dari sistem logistik perkotaan dengan melibatkan pertimbangan jarak tempuh, waktu pelayanan, kapasitas kendaraan, serta jadwal operasional armada (Addahlawi *et al.*, 2019).

Namun, pengelolaan pada pengangkutan sampah berpotensi menghadapi permasalahan operasional terutama dibagian penentuan rute serta penjadwalan kendaraan yang belum terstruktur dengan baik dikarenakan masih mengadaptasi dari sistem lama di TPA Piyungan. Potensi tersebut juga teridentifikasi pada sistem pengumpulan sampah di TPST Sendang Sari, Kabupaten Sleman. Selain berkaitan dengan rute yang dalam penentuannya menggunakan intuisi dan juga regulasi dari instansi, kondisi operasional menunjukkan sistem pengumpulan sampah yang melayani 4 *Transfer Depo* dengan menggunakan armada pengangkut berkapasitas sekitar 8,25 ton, namun dalam praktiknya tiap kendaraan sering kembali ke TPST dengan muatan sekitar 3 sampai 5 ton per perjalanan, sehingga menunjukkan bahwa kapasitas kendaraan belum dimanfaatkan secara optimal. Selain itu, pola pengangkutan yang digunakan masih bersifat *point to point*, di mana satu kendaraan hanya melayani satu *Transfer Depo* dalam satu perjalanan menuju TPST.

Kondisi operasional juga dibatasi oleh jam pelayanan TPST pada rentang waktu 08.00–16.00 WIB, sehingga aktivitas pengangkutan harus menyesuaikan dengan batasan waktu tersebut. Kondisi ini menunjukkan bahwa permasalahan tidak hanya terletak pada urutan kunjungan lokasi, tetapi juga pada alokasi sumber daya pengangkutan. Oleh karena itu, pada sistem ini diperlukan sebuah pendekatan pemodelan optimasi yang mampu mempertimbangkan kapasitas kendaraan, batasan waktu pelayanan, serta jumlah kendaraan yang digunakan secara simultan sehingga sistem pengumpulan sampah dapat berjalan lebih efisien dan mendukung pengurangan dampak lingkungan.

Berdasarkan potensi permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja sistem pengumpulan dan pengangkutan sampah di TPST Sendang Sari, Kabupaten Sleman, menggunakan pendekatan optimasi rute. Permasalahan pengumpulan sampah yang melibatkan keterbatasan kapasitas kendaraan, waktu pelayanan, serta penentuan jumlah kendaraan dapat dimodelkan sebagai permasalahan *Vehicle Routing Problem* (VRP). Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan pendekatan model *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CVRPTW) guna merepresentasikan kondisi operasional pengangkutan sampah secara lebih realistis guna memperoleh *optimal benchmark* secara teoritis.

Sejalan dengan tujuan efisiensi operasional, penelitian ini juga mengintegrasikan aspek lingkungan dengan adanya konsep *Green Distribution*. Selaras dengan kerangka pemikiran McKinnon *et al.*, (2015) aktivitas logistik harus mempertimbangkan pengurangan dampak lingkungan melalui parameter konsumsi bahan bakar, jarak tempuh kendaraan, serta emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari proses distribusi, dimana dalam penentuan jumlah emisi karbon akan mengacu kepada *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Penerapan konsep *Green Distribution* pada TPST Sendang Sari didasarkan pada tingginya aktivitas pengangkutan sampah yang dilakukan setiap hari, sehingga penggunaan armada secara terus-menerus berpotensi meningkatkan konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang kendaraan, Integrasi model ini diharapkan dapat memberikan dasar manalitis serta bahan pertimbangan perbaikan rute untuk mendukung sistem pengelolaan sampah di Kabupaten Sleman yang tidak hanya efisien secara teknis, namun juga ramah lingkungan serta berkelanjutan.

## 1.2. Pertanyaan Penelitian

Berikut merupakan pertanyaan penelitian yang dapat diambil dari hasil penjabaran latar belakang masalah.

1. Apa bentuk formulasi model matematis CVRPTW untuk pengumpulan sampah di TPST Sendang Sari, Kabupaten Sleman?
2. Sejauh mana kinerja sistem pengangkutan sampah pada kondisi eksisting ketika di evaluasi dengan menggunakan faktor jarak dan biaya operasional?
3. Seberapa besar kinerja *green distribution* hasil model CVRPTW dibandingkan dengan kondisi eksisting yang ditinjau dari faktor konsumsi bahan bakar dan emisi karbon?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan dari penelitian yang dilakukan.

1. Mengetahui formulasi model matematis CVRPTW yang menggambarkan sistem pengumpulan sampah di TPST Sendang Sari, Kabupaten Sleman.
2. Mengevaluasi optimalitas rute pengumpulan sampah eksisting di TPST Sendang Sari, Kabupaten Sleman, berdasarkan pada faktor jarak dan biaya operasional.
3. Membandingkan kinerja dari *green distribution* pada hasil optimasi model CVRPTW dengan kondisi eksisting yang ditinjau berdasarkan aspek konsumsi bahan bakar dan emisi karbon.

## 1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini apabila seluruh tujuan dapat tercapai, adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini diharapkan dapat menambah referensi akademis dalam bidang optimasi dan manajemen logistik, terkhusus pada penyusunan dan penerapan integrasi model CVRPTW dan *Green Distribution* yang diselesaikan dengan metode MILP pada permasalahan rute pengumpulan sampah.
2. Penelitian ini diharapkan menjadi bahan evaluasi bagi pengelola TPST Sendang Sari, Kabupaten Sleman, terkait dengan pemilihan rute pengambilan sampah.
3. Penelitian ini diharapkan dapat memberi gambaran mengenai kinerja dari *Green Distribution* melalui perbandingan rute eksisting dan sesudah penerapan model CVRPTW, khususnya yang berkaitan dengan konsumsi bahan bakar dan emisi karbon.

#### **1.5. Batasan Penelitian**

Berikut adalah batasan penelitian yang dijadikan acuan dalam proses penelitian.

1. Data penelitian diambil pada periode 9 Januari – 17 Januari 2026, yang merupakan data eksisting dari TPST Sendang Sari, Kabupaten Sleman, meliputi lokasi TPST-*Transfer Depo*, jarak dan waktu tempuh, jumlah timbulan sampah, kapasitas kendaraan, jumlah armada, konsumsi BBM, rute perjalanan, jumlah *man power*, gaji *man power*, serta jam operasional pengangkutan.
2. Data penelitian ini difokuskan pada sistem pengumpulan sampah dan pengangkutan sampah dari empat *transfer depo* yakni, Tambakboyo, Klebengan, Nogotirto, dan Ambarketawang menuju TPST Sendang Sari, Kabupaten Sleman.

3. Analisis *green distribution* dalam penelitian ini dibatasi pada indikator, konsumsi bahan bakar dan emisi karbon, yang dihasilkan oleh proses pengangkutan sampah menggunakan standar faktor emisi *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*.
4. Memiliki asumsi model, kondisi jalan yang tidak macet, kecepatan bersifat konstan, kendaraan yang digunakan satu jenis, semua jenis jalan dapat diakses, atau yang biasa disebut sebagai *perfect condition*, faktor konsumsi bahan bakar dilihat berdasarkan jumlah muatan yang diangkut kendaraan.

#### **1.6. Sistematika Penulisan**

Skripsi ini disusun dalam lima bab. Dimana Bab I Pendahuluan memuat latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan. Bab II Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori berisi kajian penelitian terdahulu yang relevan serta landasan teori yang mendukung penelitian, meliputi konsep pengelolaan dan pengangkutan sampah, sistem logistik, *Vehicle Routing Problem (VRP)*, *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW)*, *Mixed Integer Linear Programming (MILP)*, dan konsep *green distribution*.

Bab III Metode Penelitian menjelaskan tahapan penelitian yang meliputi objek dan lokasi penelitian, jenis dan sumber data, teknik pengumpulan data, formulasi model matematis CVRPTW, serta metode penyelesaian menggunakan MILP. Pada bab IV berisi hasil dan pembahasan mengenai model matematis yang dikembangkan. Yang kemudian dilakukan pembuatan kode CPLEX yang kemudian di implementasikan

pada studi kasus TPST Sendangsari. Pada BAB V merupakan kesimpulan dari hasil penelitian dan saran yang dapat diajukan untuk instansi maupaun penelitian selanjutnya



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Model matematis yang digunakan adalah CVRPTW yang diintegrasikan dengan *Green Distribution* dengan fungsi tujuan yaitu meminimalkan total biaya operasional, yang terdiri dari biaya bahan bakar, biaya tenaga kerja, dan biaya pajak emisi. Model ini juga dilengkapi dengan adanya kendala pada kapasitas kendaraan, *time window*, sehingga mampu merepresentasikan kondisi pengumpulan sampah di TPST Sendangsari.
2. Berdasarkan hasil evaluasi, sistem eksisting masih dalam kategori belum efisien, hal tersebut ditunjukkan dengan adanya total jarak tempuh sejauh 140.8 km, dan pengeluaran biaya operasional sebesar Rp 984.231.
3. Pada hasil evaluasi *Green Distribution* memperlihatkan hasil peningkatan kinerja yang cukup signifikan, ditunjukkan dengan adanya pengurangan konsumsi bbm sebesar 19.33 liter atau 41% dan juga penurunan jumlah emisi karbon yang dihasilkan sebesar 55.87 KgCo<sub>2</sub> atau 41%.

#### 5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Instansi disarankan menggunakan metode MILP sebagai penentuan rute pada proses distribusi di masa mendatang.

2. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan data set terbaru, sehingga dapat mengetahui apakah metode MILP masih relevan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada pada proses pengangkutan sampah.
3. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan model yang telah dibuat ke dalam bentuk sistem berbasis *Decision Support System* (DSS), sehingga hasil optimasi rute dapat digunakan secara lebih praktis dan interaktif dalam pengambilan keputusan operasional di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Addahlawi, H. A., Mustaghfiroh, U., & Khoirun, L. (2019). IMPLEMENTASI PRINSIP GOOD ENVIRONMENTAL GOVERNANCE DALAM PENGELOLAAN SAMPAH DI. 8(2). <https://doi.org/10.24970/bhl.v4i2.106>
- Arenas-vasco, A. (2025). A meta-analysis of set partitioning / set covering based matheuristics for vehicle routing problems. *Operations Research Perspectives*, 15(May), 100357. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2025.100357>
- Basriati Sri. (2018). Integer Linear Programming Dengan Pendekatan Metode Cutting Plane Dan Branch And Bound Untuk Optimasi Produksi Tahu. *Jurnal Sains Matematika Dan Statistika*, 4(2), 43–66. <http://dx.doi.org/10.24014/jsms.v4i2.6203>
- Boşcoianu, M., Toth, Z., & Goga, A. S. (2025). Sustainable Strategies to Reduce Logistics Costs Based on Cross-Docking—The Case of Emerging European Markets. *Sustainability (Switzerland)*, 17(14). <https://doi.org/10.3390/su17146471>
- Çapar, İ., Rump, C. M., Sawaya, W., Mohamed, Z., & Alves (Mysyk), J. (2025). Green supply chain evolution: A multimodal logistics strategy for capping carbon emissions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 202(June). <https://doi.org/10.1016/j.tre.2025.104250>
- Cardoso, P. J. S., Schütz, G., Mazayev, A., Ey, E., & Corrêa, T. (2015). A solution for a real-time stochastic capacitated vehicle routing problem with time windows. *Procedia Computer Science*, 51(1), 2227–2236. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.05.501>
- Chen, G., Gao, J., & Chen, D. (2025). Research on Vehicle Routing Problem with Time Windows Based on Improved Genetic Algorithm and Ant Colony Algorithm. *Electronics (Switzerland)*, 14(4), 1–28. <https://doi.org/10.3390/electronics14040647>
- De Kuyffer, E., Joseph, W., Martens, L., & De Pessemer, T. (2025). Intervention schedule optimization with travel time minimization for a Value-Added Reseller by solving the Capacitated Vehicle Routing Problem. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 14(February), 100205. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2025.100205>
- Dwitasari, R., Perdana, Y. R., Gusleni, Y., Meyrawati, Z., Perhubungan, K., Islam, U., Sunan, N., Jakarta, G., Authority, T., & Perhubungan, K. (2020). The Impact of the Trans-Sumatran Highway Development on Logistic Cost Efficiency. 5, 13–15. <http://dx.doi.org/10.12962%2Fj23546026.y2020i5.7924>
- Fauzi, R., Priansyah, A., Puspawati, P. K., Maulvi, S., & Awal, Z. (2025). Optimizing Vehicle Routing with Time Window Constraints: A Case Study on Bread

- Distribution. 27(1), 1–20. <https://doi.org/10.9744/jti.27.1.1-20>
- Hareeshanan, T., Thibbotuwawa, A., Fernando, W. M., & Nielsen, P. (2025). Design and Optimization of a Geofenced Pesticide Spraying System with Energy-Efficient Drone Route Planning Using CVRP. *IFAC-PapersOnLine*, 59(24), 380–385. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2025.11.895>
- IBM. (2015). IBM ILOG CPLEX Optimization Studio CPLEX User’s Manual. Manual for Sequencing of Interval Variables, 594.
- Ikerismawati, S., Sholiha, I., & Hardiyanti, S. (2023). Pendampingan Pemanfaatan *Google* Maps dan Whatsapp Bisnis Sebagai Media Digital Marketing Bagi UMKM di Kelurahan Sebani Kota Pasuruan. 3(3), 1294–1302. <https://doi.org/10.33379/icom.v3i3.3139>
- IPCC. (2006). Chapter 2.3: Mobile Combustion. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 1–78. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- Jafari, M. J., Ferro, G., Magni, A., Mereu, A., Minciardi, R., Paolucci, M., & Robba, M. (2024). Optimizing a Capacitated Vehicle Routing Problem with Scheduled Arrival, Split Deliveries within Time Windows and Emission Consideration. *IFAC-PapersOnLine*, 58(2), 180–185. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.07.111>
- Jerbi, A., Jribi, H., Aljuaid, A. M., Hachicha, W., & Masmoudi, F. (2022). Design of Supply Chain Transportation Pooling Strategy for Reducing CO2 Emissions Using a Simulation-Based Methodology: A Case Study. *Sustainability (Switzerland)*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/su14042331>
- Kallehauge, B., & Solomon, M. M. (2006). Chapter 3 VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS, 70-71.
- Kasengkang, R. A., Nangoy, S., & Sumarauw, J. (2016). Analisis Logistik (Studi Kasus pada Pt. Remenia Satori Tepas-Kota Manado). *Jurnal Berkala Ilmiah Efisiensi*, 16(01), 750–759. <https://doi.org/10.33373/dms.v11i3.4170>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2024). Timbulan Sampah. Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). <https://portal-sipsn.kemenlh.go.id/>
- Khachay, M., & Ogorodnikov, Y. (2019). Towards an efficient approximability for the Euclidean capacitated vehicle routing problem with time windows and multiple depots. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 2644–2649. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.606>
- Kia, R., Shahnazari-Shahrezaei, P., & Zabihi, S. (2016). Solving a multi-objective mathematical model for a Multi-Skilled Project Scheduling Problem by CPLEX solver. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 2016-Decem, 1220–1224.

- <https://doi.org/10.1109/IEEM.2016.7798072>
- Kurniawati, D. A., Vanany, I., Kumarananda, D. D., & Rochman, M. A. (2024). Halal supply chain 4 . 0 : MILP model for halal food distribution. 232(2023), 1446–1458. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.143>
- Ma, R., & Zhu, Q. (2023). Research on VRP Model Optimization of Cold Chain Logistics Under Low-Carbon Constraints. *International Journal of Information Technology and Web Engineering*, 19(1), 1–14. <https://doi.org/10.4018/IJITWE.335036>
- Mahasiswa, S., Geografi, P., Sosial, F. I., Surabaya, U. N., Hariyanto, D. B., & Pd, M. (2008). KAJIAN TENTANG PENGELOLAAN SAMPAH DI INDONESIA. 1–9.
- Martin, C. (2011). ANALISIS PENGARUH PENERAPAN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT DAN TOTAL QUALITY MANAGEMENT TERHADAP EFISIENSI BIAYA PADA INDUSTRI MANUFAKTUR. In MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations. <https://pepsisupplychain.weebly.com/supply-chain.html>, 13.
- McKinnon, A., Browne, M., Piecyk, M., & Whiteing, A. (2015). *Green logistics: Improving the environmental sustainability of logistics* (3rd ed.) (3rd ed.). Kogan Page, 15-17.
- Mehta, H. (2019). *Google Maps*. 178(8), 41–46. <https://doi.org/10.5120/ijca2019918791>
- Oumachtaq, A., Ouzizi, L., & Douimi, M. (2025). Green Capacitated Vehicle Routing Problem under Traffic Congestion. *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications*, 17, 261–276. <https://doi.org/10.70917/ijcisim-2025-0018>
- Sa, Z., & Fitriarti, E. A. (2025). Program Digitalisasi Untuk Optimalisasi Pelayanan di Bank Sampah APEL Sleman Yogyakarta. 3(6), 3165–3172. <https://doi.org/10.59837/jpmba.v3i6.2961>
- Savitri, H., & Kurniawati, D. A. (2018). Sweep Algorithm and Mixed Integer Linear Program for Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 17(4), 505–513. <https://doi.org/10.1142/S0219686718500282>
- Siregar, I. M., Studi, P., & Informasi, S. (2023). SisInfo Digitalisasi Rantai Pasok Sampah d Indonesia SisInfo. 5(2). <https://doi.org/10.37278/sisinfo.v5i2.587>
- Sumbodo, B. T., Ika, S. R., Sardi, S., Kamboja, Y., & Iswatun, M. D. (2024). Pengelolaan sampah organik dengan biopori dan pelatihan pembuatan kompos untuk mendukung pengurangan sampah di Kelurahan Giwangan Kota Yogyakarta. 6717, 317–326. <https://doi.org/10.28989/kacanegara.v7i3.2235>
- Toth, P., & Vigo, D. (2014). *Vehicle Routing Public Transport Problems, Methods, and*

- Applications, 1(3), 6–7.
- Utara, K. (2016). STRATEGI PENGELOLAAN SAMPAH RUMAH TANGGA DI KOTA TARAKAN KALIMANTAN UTARA. 5(November), 349–359. <https://doi.org/10.37278/sisinfo.v5i2.587>
- Wan Ghazali, W. N. M., Mamat, R., Masjuki, H. H., & Najafi, G. (2015). Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 585–602. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.031>
- Winston. (1971). Operation Research Application and Algorithms In Mathematics in Science and Engineering (Vol. 73, Issue C). [https://doi.org/10.1016/S0076-5392\(08\)62705-8](https://doi.org/10.1016/S0076-5392(08)62705-8)
- Zaky, A., Saputra, D., & Fauzi, A. S. (2022). Pengolahan Sampah Kertas Menjadi Bahan Baku Industri Kertas Bisa Mengurangi Sampah di Indonesia. 5(1), 41–52. <https://doi.org/10.29407/jmn.v5i1.175223>