

**PENENTUAN LOKASI LAYAK *LANDFILL* DAN RUTE OPTIMAL
PENGANGKUTAN LIMBAH INDUSTRI NON-B3 BERBASIS SIG DI
KABUPATEN KARAWANG**

(Skripsi)

Oleh

**Nurhidayah
NPM 2115013034**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**PENENTUAN LOKASI LAYAK *LANDFILL* DAN RUTE OPTIMAL
PENGANGKUTAN LIMBAH INDUSTRI NON-B3 BERBASIS SIG DI
KABUPATEN KARAWANG**

Oleh

Nurhidayah

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Program Studi Teknik Geodesi
Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

PENENTUAN LOKASI LAYAK *LANDFILL* DAN RUTE OPTIMAL PENGANGKUTAN LIMBAH INDUSTRI NON-B3 BERBASIS SIG DI KABUPATEN KARAWANG

Oleh

NURHIDAYAH

Pengelolaan limbah industri non-B3 di Kabupaten Karawang masih menghadapi berbagai kendala, terutama keterbatasan fasilitas pengolahan dan penimbunan akhir (*landfill*). Hingga saat ini, belum terdapat informasi resmi mengenai keberadaan fasilitas *landfill* khusus limbah non-B3 di wilayah ini. Serta belum adanya perencanaan rute pengangkutan limbah yang efisien. Tujuan penelitian adalah menghasilkan peta lokasi layak *landfill* untuk limbah industri non-B3 dan rute yang optimal dengan mempertimbangkan berbagai kriteria spasial dan lingkungan untuk mendukung perencanaan tata ruang yang berkelanjutan.

Data yang digunakan meliputi lima kriteria utama yaitu penggunaan lahan, kemiringan lereng, jarak dari permukiman, jarak dari badan air, dan jarak dari jalan. Bobot kriteria diperoleh melalui metode pembobotan AHP berdasarkan evaluasi para ahli atau responden. Metode yang digunakan adalah *Weighted Overlay* dengan pembobotan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan *Network Analysis* dalam Sistem Informasi Geografis (SIG).

Hasil penelitian berdasarkan analisis spasial menggunakan metode *weighted overlay* dengan pembobotan *Analytical Hierarchy Process* (AHP), lokasi layak *landfill* limbah industri non-B3 di Kabupaten Karawang terbagi ke dalam tiga kelas, yaitu Layak seluas 2.618,75 ha, Cukup Layak 99.239,09 ha, dan Tidak Layak 89.681,25 ha. Kelas Layak hanya tersebar pada beberapa kecamatan, yaitu Ciampel (1.390,62 ha), Pangkalan (800,97 ha), Tegalwaru (208,39 ha), Telukjambe Barat (129,02 ha), Klari (53,12 ha), dan Telukjambe Timur (36,63 ha). Selanjutnya, rute optimal pengangkutan limbah industri non-B3 ditentukan menggunakan metode *Network Analysis* dengan pendekatan *shortest path*, dengan rute terpendek berasal dari Kawasan Industri KJIE menuju Kecamatan Telukjambe Barat sejauh 6,2 km (12 menit), sedangkan dari KIIC dan Surya Cipta masing-masing sejauh 13,6 km (27 menit) dan 16,5 km (33 menit).

Kata kunci: *Landfill* non-B3, Sistem Informasi Geografis (SIG), *Weighted Overlay*, *Analytical Hierarchy Process* (AHP), *Network Analysis*.

ABSTRACT

DETERMINATION OF SUITABLE LANDFILL LOCATION AND OPTIMAL TRANSPORTATION ROUTE FOR NON-HAZARDOUS INDUSTRIAL WASTE BASED ON GIS IN KARAWANG REGENCY

By

NURHIDAYAH

The management of non-B3 industrial waste in Karawang Regency still faces various challenges, particularly the limited availability of processing facilities and final disposal sites (landfills). To date, there is no official information regarding the existence of landfills specifically for non-B3 waste in this area. Additionally, there is no efficient waste transportation route planning. The aim of this study is to produce a map of suitable landfill locations for non-B3 industrial waste and the optimal routes, taking into account various spatial and environmental criteria to support sustainable spatial planning. The methods used are Weighted Overlay with Analytical Hierarchy Process (AHP) weighting and Network Analysis within Geographic Information Systems (GIS). The data used include five main criteria: land use, slope, distance from settlements, distance from water bodies, and distance from roads. The criteria weights were obtained through the AHP weighting method based on expert evaluations or respondent input. The results of the study based on spatial analysis using the weighted overlay method with Analytical Hierarchy Process (AHP) weighting indicate that suitable landfill locations for non-hazardous industrial waste (non-B3) in Karawang Regency are classified into three suitability classes, namely Suitable covering 2,618.75 ha, Moderately Suitable 99,239.09 ha, and Unsuitable 89,681.25 ha. Suitable areas are only distributed in several districts, namely Ciampel (1,390.62 ha), Pangkalan (800.97 ha), Tegalwaru (208.39 ha), Telukjambe Barat (129.02 ha), Klari (53.12 ha), and Telukjambe Timur (36.63 ha). Furthermore, the optimal transportation routes for non-B3 industrial waste were determined using Network Analysis with a shortest path approach, where the shortest route originates from the KJIE Industrial Area to Telukjambe Barat District with a distance of 6.2 km (12 minutes), while routes from the KIIC and Surya Cipta Industrial Areas measure 13.6 km (27 minutes) and 16.5 km (33 minutes), respectively.

Keywords: Non-B3 landfill, Geographic Information System (GIS), Weighted Overlay, Analytical Hierarchy Process (AHP), Network Analysis.

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : PENENTUAN LOKASI LAYAK *LANDFILL* DAN
RUTE OPTIMAL PENGANGKUTAN LIMBAH
INDUSTRI NON-B3 BERBASIS SIG DI
KABUPATEN KARAWANG

Nama Mahasiswa : Nurhidayah

Nomor Pokok Mahasiswa : 2115013034

Program Studi : S1 Teknik Geodesi

Jurusan : Teknik Geodesi dan Geomatika

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



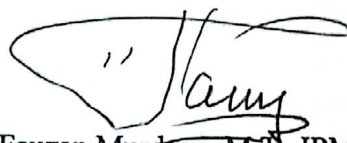
Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D
NIP 196705141993031002



Rahma Anisa, S.T., M.Eng.
NIP 199307162020122032

MENGETAHUI

Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika



Ir. Fauzan Mardapa, M.T., IPM.
NIP 196410121992031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D


(.....)

Sekretaris

: Rahma Anisa, S.T., M.Eng.


(.....)

Penguji Utama Bukan Pembimbing : Tika Christy Novianti, S.T., M.Eng. (.....)



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 15 Januari 2026

PERNYATAAN MAHASISWA

Dengan Ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul “Penentuan Lokasi Layak Landfill Dan Rute Optimal Pengangkutan Limbah Industri Non-B3 Berbasis SIG Di Kabupaten Karawang” merupakan hasil karya original saya. Sepengetahuan saya, karya ini tidak memuat materi yang telah dupublikasikan atau ditulis oleh pihak lain, kecuali apabila dinyatakan secara tertulis sebagai kutipan atau referensi yang tercantum dalam daftar pustaka sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah yang berlaku.

Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran, tanpa adanya tekanan atau paksaan dari pihak manapun, serta saya bersedia bertanggung jawab atas segala konsekuensi apabila di kemudian hari pernyataan ini terbukti tidak benar.

Bandar Lampung, Februari 2026

Penulis



Nurhidayah

2115013034

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan pada tanggal 26 April 2003 di Teluk Betung Kota Bandar Lampung, sebagai anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Agus Firmansah dan Ibu Siti Akke. Jenjang akademis penulis dimulai dengan menyelesaikan pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) Islam Perkemas pada tahun 2009, Sekolah Dasar (SD) Negeri 1 Pesawahan pada tahun 2015, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 6 Bandar Lampung dua tahun lalu lulus di SMPN 5 Satap Pasilambena pada tahun 2018, Madrasah Aliyah Negeri (MAN) Kep. Selayar pada tahun 2021. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan di Perguruan Tinggi Negeri pada tahun 2021 sebagai mahasiswi Prodi S1 Teknik Geodesi, Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Salama menjadi mahasiswi, penulis aktif dalam berbagai Lembaga Kemahasiswaan diantaranya menjadi Anggota Departemen Kesekretariatan Himpunan Mahasiswa Geodesi (HIMAGES) Universitas Lampung Tahun 2023/2024. Pada Januari 2024 penulis mengikuti Kemah Kerja (KK) dalam pembuatan “Peta Batas Dusun” yang berlokasi di Dusun 03, Desa Tulung Agung, Kecamatan Gading Rejo, Kabupaten Pringsewu, Provinsi Lampung. Pada bulan Agustus 2024 penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Tanjung Harapan, Kecamatan Marga Tiga, Kabupaten Lampung Timur. Di tahun yang sama pada bulan September, penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Direktorat Jenderal Kebudayaan, Direktorat Bina Kepercayaan Terhadap Tuhan YME dan Masyarakat Adat yang berlokasi di Desa Duawutun, Kabupaten Lembata, Provinsi Nusa Tenggara Timur dengan tema : “Kerja Praktik Di Direktorat Bina Kepercayaan Terhadap Tuhan YME Dan Masyarakat Adat, Kementerian

Kebudayaan RI Di Kab. Lembata Nusa Tenggara Timur (Pemetaan Sebaran Titik Rumah Tangga, Pangan Lokal, dan Situs Sejarah di Desa Duawutun)”. Kemudian pada bulan Juni 2025 penulis melaksanakan penelitian skripsi dengan judul “Penentuan Lokasi Layak Landfill dan Rute Optimal Pengangkutan Limbah Industri Non-B3 Berbasis SIG Di Kabupaten Karawang”.

PERSEMBAHAN



Tiada lembar skripsi yang paling indah dalam laporan skripsi ini kecuali lembar persembahan.

Dengan rasa syukur, segala kerendahan hati, kupersembahkan karya kecil ini untuk:

Inspirasiku, Ayahku Agus Firmansah. Beliau memang tidak pernah menunjukkan rasa peduli, sedih, senang didepan penulis. Terimakasih telah memberikan inspirasi, doa, dan juga perjuangan dalam memberikan pendidikan tinggi kepenulis.

Semangatku, Ibu Siti Akke. Terimakasih telah berjuang melahirkan seorang anak pertama yang memiliki banyak kekurangan. Terimakasih yang tak henti-hentinya atas kasih sayang yang penuh, dukungan, serta doa yang selalu teriringi dalam setiap langkah penulis.

Adikku Nurul Aini Firmansah yang selalu memberikan semangat dan doa kepada penulis.

MOTTO

“Setiap proses memiliki waktunya sendiri; yang penting adalah terus melangkah meski perlahan.”

“Keberhasilan bukanlah milik orang yang pintar, tetapi milik mereka yang senantiasa berusaha.”

(B.J. Habibie)

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Penentuan Lokasi Layak *Landfill* Dan Rute Optimal Pengangkutan Limbah Industri Non-B3 Berbasis SIG Di Kabupaten Karawang”. Penelitian ini merupakan bagian dari persyaratan dalam menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi bagi mahasiswa program studi S1 Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung.

Dalam proses penulisan dan penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ir. Fauzan Murdapa, S.T., IPM selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung.
3. Bapak Romi Fadly, S.T., M.Eng. selaku Koordinator Skripsi Program Studi di Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung.
4. Bapak Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan bantuan dalam penyusunan skripsi.
5. Ibu Rahma Anisa, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan bantuan dalam penyusunan skripsi.
6. Ibu Tika Christy Novianti, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji skripsi.
7. Kedua orangtua yang selalu memberikan dukungan dan semangat, serta doa demi kelancaran dan kesuksesan kepada penulis.

8. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung Angkatan 2021 yang telah memberikan dukungan dan semangat bagi penulis.
9. Diri ini sendiri Nurhidayah, terimakasih karena telah berjuang dan berusaha untuk terus bertahan hingga dapat melewati semua badai dan cobaan yang menghampiri untuk sampai di titik ini.

Penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulisan mengharapkan kritik dan saran dari pembaca sebagai bahan dalam penulisan skripsi yang lebih baik dikemudian hari. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini memberikan manfaat berupa ilmu bagi para pembaca.

Bandar Lampung, 10 Februari 2026
Penulis

Nurhidayah

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Penelitian Terdahulu.....	7
2.2 Limbah Industri No-B3.....	10
2.3 Sistem Informasi Geografis.....	11
2.4 <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP).....	12
2.5 <i>Weighted Overlay</i>	14
2.5.1. Penggunaan Lahan.....	14
2.5.2. Jarak Dari Badan Air.....	15
2.5.3. Jarak Dari Permukiman.....	15
2.5.4. Jarak Dari Jalan.....	16
2.5.5. Kemiringan Lereng.....	17
2.6 <i>Network Analysis (Shortest Path Analysis)</i>	17
2.7 <i>Equal Interval Classification</i>	18
2.8 Parameter Penentuan Rute.....	19
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Lokasi Penelitian.....	21
3.2 Alat dan Data.....	22
3.2.1. Alat.....	22
3.2.2. Data.....	22
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	23
3.4 Tahap Persiapan.....	24
3.5 Tahap Pengolahan Data.....	26
3.5.1. Parameter Penentuan Lokasi Layak <i>Landfill</i>	26
3.5.2. Perhitungan Pembobotan Metode AHP Setiap Parameter.....	32
3.5.3. Skoring Parameter Penentuan Lokasi Layak <i>Landfill</i>	36

3.5.4. <i>Weighted Overlay</i> Setiap Parameter	37
3.5.5. Penentuan Interval Kelas Penentuan Lokasi Layak <i>Landfill</i>	40
3.5.6. Topologi Data Jaringan Jalan	41
3.5.7. <i>Network Analysis</i> Untuk Rute Optimal	42
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1. Hasil Parameter Lokasi Layak <i>Landfill</i>	45
4.1.1. Parameter Penggunaan Lahan	45
4.1.2. Parameter Jarak Dari Badan Air	51
4.1.3. Parameter Jarak Dari Permukiman	53
4.1.4. Parameter Jarak Dari Jalan.....	55
4.1.5. Parameter Kemiringan Lereng	57
4.2. Analisis Metode <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP)	59
4.3. Penentuan Area Rekomendasi Lokasi Layak <i>Landfill</i> Industri Non-B3...62	
4.3.1. Area Rekomendasi Lokasi Layak <i>Landfill</i>	63
4.4. Penentuan Rute Lokasi Layak <i>Landfill</i> Limbah Non-B3	67
4.4.1. Rute Shortest Path Lokasi Layak <i>Landfill</i>	68
4.4.2. Tabel Perbandingan Rute Optimal Pengangkutan Limbah Industri Non-B3.....	78
5. KESIMPULAN DAN SARAN	80
5.1. Kesimpulan	80
5.2. Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA	82
LAMPIRAN A.....	84
LAMPIRAN B.....	104
LAMPIRAN C	107
LAMPIRAN D	109

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian Terdahulu.....	7
2. Skala fundamental	12
3. Random Indeks.....	13
4. Klasifikasi Penggunaan Lahan	14
5. Klasifikasi Jarak Badan Air.....	15
6. Jarak Permukiman	15
7. Jarak Dari Jalan	16
8. Kemiringan Lereng.....	17
9. Data Penelitian	15
10. Skoring Penentuam Lokasi Layak.....	32
11. Kelas Lokasi Layak	39
12. Klasifikasi dan Luasan Penggunaan Lahan.....	46
13. Hasil Sampel uji validasi penggunaan lahan.....	48
14. Matriks konfusi penggunaan lahan.....	50
15. Klasifikasi dan Luasan jarak dari badan air	52
16. Klasifikasi dan Luasan jarak permukiman	54
17. Klasifikasi dan Luasan jarak dari jalan	56
18. klasifikasi dan luasan parameter kemiringan lereng	58
19. Klasifikasi Lokasi Layak Landfill	63
20. Area rekomendasi Lokasi Layak Landfill Non-B3.....	64
21. Jarak dan waktu tempuh dari industri KJIE	69
22. Jarak dan waktu tempuh dari industri KIIC	72
23. Jarak dan waktu tempuh dari industri Surya Cipta.....	75

DAFTAR GAMBAR

1. Lokasi Penelitian Kabupaten Karawang	20
2. Diagram Alir Penelitian	22
3. Data Penggunaan Lahan	26
4. Proses pembuatan zona jarak.....	27
5. Tahapan penggabungan (Union)	28
6. Proses tahapan <i>Multiple Ring Buffer</i>	29
7. DEMNAS Kab. Karawang	30
8. Tahap Slope Reclass	30
9. Klasifikasi kemiringan lereng.....	31
10. Kuesioner perbandingan berpasangan AHP.....	32
11. Hasil perbandingan berpasangan.....	33
12. Grafik Hasil Pembobotan AHP	33
13. Bobot Hasil Parameter AHP	34
14. Proses mengubah format polygon menjadi raster	37
15. Pemberian skoring masing-masing parameter	37
16. Proses pemberian nilai skala	38
17. Proses Raster To Polygon	39
18. Klasifikasi Zona Kesesuaian Lokasi Layak <i>Landfill</i>	40
19. Topologi Jaringan jalan.....	41
20. Proses Memasukkan Data	42
21. Proses <i>Network Analysis</i>	42
22. Titik Lokasi Awal dan Tujuan Pada Jaringan Jalan.....	43
23. Proses <i>shortest path algorithm</i>	43
24. Peta Penggunaan Lahan	46
25. Peta Jarak Dari Badan Air.....	52

26. Peta Jarak Dari Permukiman.....	54
27. Peta Jarak Dari Jalan	56
28. Peta Kemiringan Lereng	58
29. Hasil Perhitungan AHP	60
30. Peta Rekomendasi Lokasi Layak <i>Landfill</i>	63
31. Peta rute pengangkutan dari industri KJIE	68
32. Peta rute pengangkutan dari industri KIIC	71
33. Peta rute pengangkutan dari industri SuryaCipta.....	74

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan sektor industri menjadi salah satu pendorong utama pembangunan ekonomi nasional di Indonesia. Peningkatan jumlah industri setiap tahunnya memberikan kontribusi besar terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) (Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian). Namun, perkembangan tersebut juga memunculkan berbagai persoalan lingkungan, terutama meningkatnya volume limbah yang dihasilkan dari aktivitas industri (Marsudi, 2022). Salah satu permasalahan penting adalah bertambahnya limbah industri non-B3 (Non Bahan Berbahaya dan Beracun). Meskipun tidak tergolong beracun, limbah non-B3 tetap berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola secara tepat ((Institute for Essential Services Reform (IESR), 2024). Timbunan yang tidak terkontrol ataupun pembuangan yang tidak sesuai prosedur dapat menyebabkan pencemaran tanah, air, maupun udara (Santanamihardja & Handiani, 2024). Menurut data Badan Pusat Statistik, Provinsi Jawa Barat merupakan daerah dengan konsentrasi industri tertinggi di Indonesia, dan Kabupaten Karawang menjadi salah satu pusat pertumbuhan industrinya. Kawasan industri seperti KIIC, Surya Cipta, dan KJIE menampung ratusan perusahaan manufaktur berskala nasional dan internasional. Aktivitas industri yang intensif tersebut menghasilkan limbah non-B3 dalam jumlah besar setiap hari, sehingga menimbulkan tantangan dalam pengelolaan serta penimbunan akhir limbah (Agustina, 2019).

Pengelolaan limbah industri non-B3 di Kabupaten Karawang masih menghadapi berbagai kendala, terutama keterbatasan fasilitas pengolahan dan penimbunan akhir (*landfill*). Hingga saat ini, belum terdapat informasi resmi mengenai keberadaan fasilitas *landfill* khusus limbah non-B3 di wilayah ini.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan limbah non-B3 di Kabupaten Karawang masih belum optimal dan membutuhkan perencanaan spasial yang lebih baik (Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Karawang, 2024). Akibat keterbatasan kapasitas pengelolaan limbah internal, beberapa industri di kawasan KIIC, Surya Cipta, dan KJIE memanfaatkan layanan pihak ketiga berizin, seperti PT Prasadha Pamunah Limbah Industri (PPLI) di Bogor, untuk menangani pengangkutan dan penimbunan limbah non-B3. Layanan pihak ketiga ini memungkinkan industri mematuhi regulasi pengelolaan limbah. Namun, jarak transportasi yang cukup jauh menunjukkan bahwa jarak pengangkutan limbah dapat mencapai dari 40-90 km dan tingginya biaya operasional tetap menjadi tantangan, yang dapat memengaruhi efisiensi pengelolaan limbah serta meningkatkan potensi risiko pencemaran sepanjang jalur pengangkutan (Zahra dkk., 2024). Selain itu, Kabupaten Karawang juga belum memiliki perencanaan spasial yang mengatur rute pengangkutan limbah menuju *landfill*. Akibatnya, jalur pengangkutan sering tidak efisien, menimbulkan peningkatan biaya, risiko kebocoran limbah, hingga potensi konflik sosial dengan masyarakat yang berada di sekitar rute tersebut (Pemerintah Kabupaten Karawang, 2013). Kondisi ini semakin menguatkan pentingnya penetapan lokasi *landfill* baru yang layak demi mendukung pengelolaan limbah non-B3 secara efektif dan berkelanjutan (Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Karawang, 2024).

Pengelolaan limbah non-B3 di Kabupaten Karawang perlu dilakukan secara terpadu dengan mempertimbangkan aspek spasial dalam penentuan lokasi fasilitas dan rute pengangkutannya. Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pemetaan dan analisis penentuan lokasi pengolahan limbah dapat dilakukan dengan memanfaatkan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan metode pengambilan keputusan. Menganalisis penentuan lokasi pengolahan limbah industri di Kabupaten Gresik dengan menggunakan SIG dan *Analytic Hierarchy Process* (AHP), dengan mempertimbangkan parameter jarak terhadap permukiman, jalan, dan badan air (Rahmawati dkk., 2020).

Penelitian lain oleh (Prasetyo dan Handayani 2021) memanfaatkan SIG untuk menentukan rute optimal pengangkutan limbah industri di kawasan industri Cilegon berdasarkan jarak dan waktu tempuh. Sementara itu, studi oleh (Fadillah dkk., 2022) menunjukkan bahwa kombinasi metode AHP dan SIG efektif dalam menentukan lokasi fasilitas pengolahan limbah non-B3 di wilayah industri berdasarkan aspek teknis dan lingkungan.

Penelitian terkait penentuan lokasi penimbunan limbah industri non-B3 beserta rute pengangkutannya secara terpadu di Kabupaten Karawang hingga kini masih sangat terbatas. Sebagian besar studi sebelumnya lebih banyak berfokus pada limbah domestik maupun limbah B3, sehingga kajian mengenai limbah non-B3 dengan pendekatan spasial seperti Sistem Informasi Geografis (SIG) dan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) masih jarang dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk mengidentifikasi lokasi layak *landfill* yang sesuai serta menentukan rute pengangkutan limbah industri non-B3 yang paling optimal di Kabupaten Karawang melalui integrasi metode AHP, *Weighted Overlay*, dan *Network Analyst* berupa *shortest path analysis* berbasis SIG. SIG berperan dalam mengolah serta menggabungkan data spasial dan non-spasial untuk menghasilkan peta tematik yang mendukung proses pengambilan keputusan berbasis lokasi (SUSTANUGRAHA, 2013). Di sisi lain, Metode ini berfungsi untuk menetapkan bobot pada tiap kriteria sesuai tingkat prioritasnya, sehingga keputusan yang dihasilkan menjadi lebih terstruktur dan dapat diukur secara objektif (Saaty, 1987).

Dalam penelitian ini, SIG digunakan secara spesifik untuk dua analisis utama, yaitu menentukan lokasi layak *landfill* limbah industri non-B3 melalui metode *Weighted Overlay* yang berbasis hasil pembobotan AHP, dan menentukan rute optimal pengangkutan limbah menuju lokasi *landfill* terpilih menggunakan fitur *Network Analyst* pada perangkat lunak SIG untuk menghasilkan jalur terpendek berdasarkan topologi jaringan jalan yang tersedia. Penggunaan kombinasi kedua metode ini diharapkan mampu memberikan hasil analisis yang lebih akurat dan mendukung efisiensi pengelolaan limbah industri non-B3 di Kabupaten Karawang.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar perencanaan dan kebijakan pengelolaan limbah industri yang lebih baik di masa depan, dan juga diharapkan dapat menjadi dasar bagi pemerintah daerah dan pihak industri dalam merencanakan pengelolaan limbah non-B3 yang efektif, efisien, dan berkelanjutan.

1.2. Rumusan Masalah

Pengelolaan limbah industri non-B3 di Kabupaten Karawang masih menghadapi berbagai kendala, terutama keterbatasan fasilitas pengolahan dan penimbunan akhir (*landfill*). Hingga saat ini, belum terdapat informasi resmi mengenai keberadaan fasilitas *landfill* khusus limbah non-B3 di wilayah ini. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengelolaan limbah non-B3 di Karawang masih belum optimal dan memerlukan perencanaan spasial yang lebih baik (DLHK Kabupaten Karawang, 2023). Selain itu di Kabupaten Karawang, tidak adanya perencanaan spasial dalam penentuan rute pengangkutan limbah menuju *landfill* menyebabkan rute pengangkutan yang tidak efisien, menambah biaya operasional, risiko kebocoran limbah di jalan, dan menimbulkan konflik sosial dengan masyarakat di sepanjang jalur pengangkutan (Yulianti & Hadi, 2022).

Berdasarkan permasalahan tersebut, menimbulkan pertanyaan sebagai berikut:

1. Parameter apa saja yang paling berpengaruh dalam penentuan lokasi layak *landfill* limbah industri non-B3 di Kabupaten Karawang berdasarkan hasil pembobotan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)?
2. Bagaimana lokasi layak *landfill* untuk pembangunan limbah industri non-B3 di Kabupaten Karawang berdasarkan analisis spasial menggunakan metode *Weighted Overlay* dan pembobotan AHP?
3. Bagaimana penentuan rute optimal pengangkutan limbah industri non-B3 menuju lokasi *landfill* terpilih di Kabupaten Karawang menggunakan metode *Network Analysis*?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Menganalisis tingkat kepentingan masing-masing parameter yang memengaruhi penentuan lokasi layak *landfill* limbah industri non-B3 di Kabupaten Karawang berdasarkan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP).
2. Mengetahui lokasi layak *landfill* untuk limbah industri non-B3 di Kabupaten Karawang berdasarkan analisis spasial menggunakan metode *Weighted Overlay* dan AHP.
3. Menganalisis rute optimal pengangkutan limbah industri non-B3 menuju lokasi layak *landfill* di Kabupaten Karawang menggunakan metode *Network Analysis*.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat bagi berbagai pihak sebagai berikut:

1. Bagi Pemerintah Daerah, memberikan informasi spasial yang dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan terkait perencanaan lokasi *landfill* dan jalur pengangkutan limbah industri non-B3 yang efektif dan sesuai dengan tata ruang wilayah Kabupaten Karawang.
2. Bagi Pelaku Industri, menjadi referensi dalam pengelolaan limbah industri non-B3 yang lebih terstruktur melalui penerapan teknologi SIG, sehingga dapat membantu efisiensi operasional sekaligus meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.
3. Bagi Akademisi dan Peneliti, menambah literatur dan studi kasus penerapan metode analisis spasial (*overlay* berbobot dan analisis rute optimal) dalam bidang pengelolaan limbah industri serta dapat dijadikan dasar untuk penelitian selanjutnya.
4. Bagi Masyarakat Umum, mendukung pengembangan wilayah yang berkelanjutan dengan penempatan *landfill* dan rute pengangkutan limbah yang tidak mengganggu pemukiman atau ekosistem, sehingga menjaga kualitas lingkungan hidup.

1.5. Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki ruang lingkup yang dibatasi untuk menjaga fokus dan yang dibatasi, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Lokasi penelitian dibatasi pada wilayah administratif Kabupaten Karawang, Provinsi Jawa Barat.
2. Data yang digunakan terdiri dari data spasial dan data non-spasial yang relevan dan terkini. Data spasial meliputi batas administrasi, penggunaan lahan, kemiringan lereng, jaringan jalan, jarak dari badan air, permukiman, serta titik koordinat lokasi industri yang dimarking menggunakan *Google Earth Pro*. Adapun data non-spasial meliputi data pendukung seperti parameter pembobotan AHP.
3. Metode yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:
 - a. Penentuan lokasi *landfill* dilakukan dengan metode *Weighted Overlay* dan pembobotan AHP. Proses pembobotan AHP dilakukan melalui penyebaran kuesioner kepada empat responden ahli yang bersal dari instansi terkait, yaitu dari Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Karawang, BPN, PUPR dan Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA). Penilaian dilakukan terhadap lima parameter utama berdasarkan Permen PUPR No. 3 Tahun 2013 dan RTRW Kabupaten Karawang yaitu, penggunaan lahan, kemiringan lereng, jarak terhadap permukiman, jarak terhadap badan air, jarak terhadap jalan.
 - b. Penentuan Rute pengangkutan limbah dilakukan menggunakan *Network Analysis (Shortest Path Analysis)* dengan basis data jaringan jalan.
4. Analisis dilakukan secara spasial menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Penelitian ini mencakup tahapan scoring dan pembobotan parameter yang diolah menggunakan metode *Weighted Overlay* untuk menghasilkan zona kesesuaian lokasi *landfill* di Kabupaten Karawang. Selanjutnya, hasil zona kesesuaian tersebut digunakan sebagai dasar dalam analisis rute optimal pengangkutan limbah industri non-B3 menuju lokasi terpilih menggunakan *Network Analysis* berupa *shortest path analysis* berdasarkan topologi jaringan jalan yang tersedia.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan pendekatan SIG dan analisis jaringan untuk menentukan rute optimal pengangkutan, baik untuk limbah maupun layanan lainnya. Berikut ini adalah beberapa studi yang relevan:

Tabel 1. Penelitian Terkait

No.	Peneliti/ Tahun	Judul Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
1.	Astuti, D. (2018)	Penentuan Rute Pengangkutan Sampah Optimal di Kota Surakarta Menggunakan SIG dan Metode <i>Network Analyst</i> .	SIG dan <i>Network Analyst</i> .	Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan metode <i>Network Analyst</i> mampu menghasilkan rute pengangkutan sampah yang lebih efisien di Kota Surakarta. Hasil analisis menunjukkan adanya penghematan waktu tempuh pengangkutan hingga 15–20% dibandingkan rute manual. Selain itu, rute optimal yang dihasilkan dapat menghindari kemacetan di jalan utama dan daerah permukiman padat, sehingga menurunkan biaya operasional dan meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah kota.
2.	Santanamihardja & Handiani, 2024	Kajian Penentuan lokasi Penimbunan Akhir (<i>Landfill</i>) Limbah B3 Di	AHP	Penelitian ini bertujuan menentukan lokasi potensial untuk penimbunan akhir limbah B3 di Kabupaten Karawang dengan mempertimbangkan berbagai

	Kabupaten Karawang		faktor spasial, seperti jarak terhadap permukiman, sumber air, jalan, dan penggunaan lahan. Dengan pendekatan <i>Analytical Hierarchy Process (AHP)</i> , diperoleh bobot kriteria dominan berupa jarak dari permukiman dan kondisi geologi. Hasil penelitian mengidentifikasi beberapa zona potensial di wilayah bagian selatan Karawang yang layak dijadikan lokasi <i>landfill</i> B3 dengan tingkat kesesuaian tinggi.
3. SUSTANUGRAHA, 2013	aplikasi sistem informasi geografis (sig) untuk penentuan lokasi tempat pembuangan akhir (tpa) sampah di wilayah kota yogyakarta, kabupaten sleman, dan kabupaten bantul (kartamantul	SIG	Berdasarkan penelitian Sustanugraha (2013), total timbunan sampah di wilayah Kartamantul (Yogyakarta, Sleman, dan Bantul) diperkirakan mencapai 7.257,36 m ³ per hari. Dengan menggunakan analisis Sistem Informasi Geografis (SIG) berupa <i>buffer</i> dan <i>overlay</i> , peneliti mengidentifikasi 15 zona lahan yang layak untuk dijadikan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) regional berdasarkan kriteria kesesuaian lahan. Setelah dilakukan overlay dengan peta tata guna lahan, diperoleh 9 lokasi yang layak dijadikan TPA di wilayah Kartamantul, tersebar di desa-desa tertentu di Kabupaten Bantul dan Sleman.
4. Hablum dkk., 2024	Pemilihan Lokasi TPA Regional untuk Kota Medan dan Kabupaten Deli Serdang	AHP dan SIG	Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa beberapa isu karakteristik wilayah yang menjadi perhatian untuk penetapan lokasi untuk Kota Medan dan Kabupaten Deli Serdang agar tepat dan berkelanjutan. Dalam penelitian ditentukan 8

			kriteria yaitu Tata Guna Lahan, Hidrogeologi, Jarak Sungai, Kawasan Rawan Banjir, Jarak Permukiman, Kemiringan Zona, Geologi dan Jarak Lapangan Terbang yang dapat menjawab permasalahan persampahan secara Regional
5. Nurhidayah	Penentuan Lokasi Layak Landfill Dan Rute Optimal Pengangkutan Limbah Industri Non-B3 Berbasis SIG Di Kabupaten Karawang	AHP, Weighted Overlay dan Network Analyst	Hasil analisis menunjukkan bahwa kelas Layak memiliki luasan sebesar 2.618,75 ha, kelas Cukup Layak seluas 99.239,09 ha, dan kelas Tidak Layak seluas 89.681,25 ha. Kelas Layak hanya ditemukan pada beberapa kecamatan, yaitu Ciampel seluas 1.387,40 ha, Pangkalan seluas 799,11 ha, Tegalwaru seluas 207,90 ha, Telukjambe Barat seluas 128,71 ha, Klari seluas 52,99 ha, dan Telukjambe Timur seluas 36,54 ha, yang menunjukkan bahwa lokasi <i>landfill</i> yang benar-benar sesuai sangat terbatas.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang disajikan pada Tabel 1, dapat diketahui bahwa pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan metode pengambilan keputusan multikriteria telah banyak diterapkan dalam permasalahan persampahan dan pengelolaan limbah. Astuti (2018) menggunakan SIG dan *Network Analysis* untuk menentukan rute pengangkutan sampah optimal di Kota Surakarta dan menunjukkan adanya penghematan waktu tempuh serta peningkatan efisiensi operasional. Santanamahardja dan Handiani (2024) menerapkan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dalam penentuan lokasi penimbunan akhir limbah B3 di Kabupaten Karawang dengan mempertimbangkan berbagai faktor spasial pendukung. Penelitian lain oleh Sustanugraha (2013) serta Habibi dkk. (2024) juga menunjukkan bahwa integrasi SIG dan AHP efektif dalam membantu pengambilan keputusan penentuan lokasi TPA dan pengelolaan persampahan di wilayah perkotaan.

Meskipun demikian, dari beberapa penelitian terdahulu tersebut masih terdapat kesenjangan penelitian (*research gap*). Sebagian besar penelitian hanya berfokus pada penentuan lokasi tempat pembuangan akhir atau rute pengangkutan limbah secara terpisah, serta belum mengintegrasikan analisis lokasi *landfill* dengan penentuan rute pengangkutan limbah secara bersamaan dalam satu kerangka analisis. Selain itu, penerapan metode *weighted overlay* berbasis AHP yang dikombinasikan dengan *Network Analysis* untuk limbah industri non-B3 masih relatif terbatas, khususnya di wilayah dengan aktivitas industri tinggi seperti Kabupaten Karawang. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengembangkan pendekatan SIG yang mengintegrasikan AHP, *weighted overlay*, dan *network analysis* dalam penentuan lokasi *landfill* limbah industri non-B3 serta rute pengangkutan yang optimal, guna mendukung pengelolaan limbah yang lebih efektif dan efisien.

2.2. Limbah Industri Non-B3

Limbah industri non-B3 (Non-Bahan Berbahaya dan Beracun) merupakan sisa kegiatan industri yang tidak mengandung bahan berbahaya atau beracun, sehingga tidak termasuk dalam kategori limbah B3. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, limbah non-B3 didefinisikan sebagai limbah yang tidak memiliki karakteristik berbahaya seperti

mudah meledak, mudah terbakar, beracun, korosif, infeksius, atau reaktif. Secara umum, limbah non-B3 dari kegiatan industri dapat berupa sisa bahan baku, serpihan logam, plastik, kertas, debu hasil proses produksi, atau kemasan yang tidak terkontaminasi bahan berbahaya (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2022). Meskipun tidak berbahaya secara langsung, limbah jenis ini tetap perlu dikelola dengan baik karena volume dan frekuensi timbulannya tinggi, serta dapat menimbulkan gangguan lingkungan dan tata ruang apabila tidak ditempatkan atau diangkut secara tepat (Sutrisno dkk., 2021).

2.3. Sistem Informasi Geografis

SIG merupakan sistem komputer yang digunakan untuk memetakan dan menganalisis data spasial. Dalam konteks penelitian ini, SIG digunakan untuk:

1. Menyusun peta jaringan jalan di Kabupaten Karawang.
2. Mengintegrasikan data lokasi industri dan lokasi pengolahan limbah.
3. Melakukan analisis jaringan untuk menentukan rute optimal.

SIG bekerja dengan prinsip *overlay*, analisis jaringan, dan klasifikasi spasial. Dalam *Network Analysis*, data spasial direpresentasikan sebagai graf berarah, di mana setiap simpul (*node*) dan ruas jalan (*edge*) memiliki bobot atau nilai impedansi tertentu seperti waktu tempuh atau jarak. SIG digunakan untuk melakukan analisis jaringan (*network analysis*) yang membutuhkan representasi jaringan jalan dalam bentuk graf. Graf ini berisi simpul (*nodes*) yang mewakili persimpangan atau titik awal/akhir, serta ruas jalan (*edges*) yang mewakili koneksi antar simpul. Setiap ruas memiliki impedansi atau bobot, yang bisa berupa panjang jalan, waktu tempuh, kondisi jalan, atau risiko lingkungan. SIG juga memungkinkan penggunaan model raster dan vektor untuk menganalisis kondisi wilayah, termasuk pengaruh jarak terhadap permukiman, sekolah, rumah sakit, dan lainnya yang dapat menjadi parameter penghindaran dalam pemilihan rute.

SIG adalah sistem berbasis komputer yang digunakan untuk mengumpulkan, menyimpan, menganalisis, dan menampilkan data spasial. Dalam konteks penelitian ini, SIG digunakan untuk menganalisis lokasi *landfill* dan merancang rute pengangkutan limbah. SIG memiliki sejumlah keunggulan yang menjadikannya sangat

relevan dan efektif dalam penentuan rute optimal pengangkutan limbah industri. Salah satu keunggulan utamanya adalah kemampuannya untuk menggabungkan berbagai jenis data dari berbagai sumber dalam satu platform analisis yang terpadu, seperti data jaringan jalan, lokasi industri, zona permukiman, hingga informasi lingkungan. Oleh karena itu, penggunaan SIG dalam penelitian ini akan sangat membantu dalam menghasilkan rute pengangkutan limbah non-B3 yang lebih optimal, efisien, dan ramah lingkungan.

2.4. *Analytical Hierarchy Process (AHP)*

Analytical Hierarchy Process (AHP) adalah metode pengambilan keputusan multikriteria yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty (1980). Metode ini digunakan untuk menentukan prioritas atau bobot dari sejumlah kriteria melalui perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*). AHP memecah masalah ke dalam hierarki, mengukur pengaruh melalui perbandingan berpasangan, dan mengulang perhitungan bobot. Pengambilan keputusan AHP ditentukan melalui skala fundamental, skala 1 menunjukkan tingkat kepentingan yang sama antara kriteria A dan kriteria B, sementara nilai 9 menandakan bahwa kriteria A jauh lebih penting dari pada B. Berikut merupakan skala fundamental AHP:

Tabel 2. Skala fundamental AHP

Intensitas kepentingan pada skala absolut	Definisi
1	Kepentingan yang sama (dua kegiatan memberikan kontribusi yang sama terhadap tujuan)
3	Kepentingan yang moderat dari satu terhadap yang lain (pengalaman dan penilaian sangat mendukung satu aktivitas dibandingkan aktivitas lainnya)

Lanjutan Tabel 2. Skala fundamental AHP

5	Penting (pengalaman dan penilaian sangat mendukung satu aktivitas dibandingkan aktivitas lainnya)
7	Sangat penting (suatu kegiatan sangat disukai dan dominasinya ditunjukkan dalam praktik)
9	Sangat lebih penting (bukti yang mendukung satu aktivitas dibandingkan aktivitas lainnya merupakan hal yang paling kuat)
2,4,6,8	Nilai antara dua penilaian yang berdekatan (saat kompromi dibutuhkan)

Sumber: Saaty, 1987

Tiga prinsip metode AHP, yaitu *decomposition* adalah proses memecah persoalan menjadi unsur-unsur yang saling berhubungan berbentuk struktur hirarki, *comparative judgement* adalah proses memberi nilai kepentingan relatif dua elemen pada satu tingkat tertentu, sehingga setiap elemen mendapatkan urutan prioritasnya, dan *logical consistency* adalah mengelompokkan dan menghubungkan antara objek berdasarkan kriteria tertentu (Saaty, 1995). Selanjutnya, kelayakan bobot parameter dihitung dengan rasio konsistensi (CR), yang bernilai harus kurang dari 0,1 ($CR < 0,1$). Nilai CR dihitung menggunakan indeks konsistensi (CI), rumus CR dan CI ditunjukkan di persamaan dibawah ini:

$$CI = \frac{\lambda_{maksimum} - n}{n - 1} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana CI = indeks konsistensi, $\lambda_{maksimum}$ = nilai eigen terbesar dari matriks berordo n, dan n = jumlah kriteria.

$$CR = \frac{CI}{RI} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana nilai CR = rasio konsistensi dan RI = nilai random indeks.

Berdasarkan perhitungan Saaty, nilai Random indeks (RI) dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Random Indeks

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

(Sumber : Saaty, 1994)

2.5. *Weighted Overlay*

Metode *Weighted Overlay* merupakan salah satu pendekatan dalam analisis multikriteria berbasis raster dalam SIG. Teknik ini digunakan untuk menggabungkan berbagai layer (faktor) spasial dengan pemberian bobot tertentu yang mencerminkan tingkat kepentingan masing-masing terhadap tujuan analisis. Dalam konteks penentuan lokasi *landfill*, metode ini memungkinkan analisis kombinasi beberapa parameter seperti penggunaan lahan, jarak dari badan air, jarak dari permukiman, jarak dari jalan, dan kemiringan lereng. Berikut adalah penjelasan mengenai *skor* yang diberikan untuk setiap parameter dalam kajian lokasi layak *landfill* limbah non-B3.

2.5.1. Penggunaan Lahan

Data penggunaan lahan yang diperoleh dari Badan Pertanahan Nasional (BPN) memiliki tingkat klasifikasi yang cukup rinci. Oleh karena itu, dilakukan proses reklasifikasi penggunaan lahan dengan mengacu pada pedoman klasifikasi penggunaan lahan BPN, sehingga diperoleh kelas penggunaan lahan yang lebih representatif dan sesuai untuk keperluan analisis serta uji akurasi. Dalam kajian kesesuaian lokasi *landfill*, pertimbangan dalam pemberian skor untuk setiap kategori penggunaan lahan dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Klasifikasi Penggunaan Lahan

Kelas penggunaan lahan	Skor	Keterangan singkat
Permukiman	1	Tidak Sesuai
Sawah	1	Tidak Sesuai
Badan Air	1	Tidak Sesuai

Kelas penggunaan lahan	Skor	Keterangan singkat
Kebun/Perkebunan	2	Cukup sesuai
Industri	2	Cukup sesuai
Tegalan/Ladang	3	Sesuai
Lahan Terbuka	4	Sangat Sesuai

Sumber: (Badan Pertanahan Nasional., 2025)

2.5.2. Jarak Dari Badan Air

Jarak antara lokasi landfill dan badan air (sungai, danau, waduk) penting untuk meminimalkan risiko pencemaran air permukaan dan air tanah akibat rembesan. Lokasi yang lebih jauh dari badan air cenderung memiliki risiko pencemaran lebih rendah sebaliknya, lokasi sangat dekat meningkatkan peluang kontaminasi. Oleh karena itu pemberian skor didasarkan pada rentang jarak yang *menreflect* tingkat risiko pencemaran, sebagaimana dijelaskan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Klasifikasi Jarak Badan Air

Jarak dari Badan Air (m)	Keterangan singkat	Skor
> 2000	Sangat sesuai	4
1500 – 2000	Sesuai	3
1000 – 1500	Cukup Sesuai	2
0 – 1000	Tidak Sesuai	1

Sumber: (Kumar et al., 2024)

2.5.3. Jarak Dari Permukiman

Jarak antara *landfill* dan kawasan permukiman berkaitan langsung dengan aspek sosial dan kesehatan (bau, vektor, kebisingan, penurunan estetika). Semakin jauh jarak dari permukiman, semakin kecil potensi dampak sosial; sebaliknya, jarak dekat menimbulkan potensi keluhan dan risiko kesehatan. Pertimbangan skor jarak

permukiman dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Jarak Permukiman

Jarak dari permukiman (m)	Skor	Keterangan singkat
> 2000	4	Sangat sesuai
1500 – 2000	3	Sesuai
1000 – 1500	2	Cukup sesuai
0 – 1000	1	Tidak sesuai

Sumber : (Kumar et al., 2024)

2.5.4. Jarak Dari Jalan

Aksesibilitas merupakan salah satu faktor utama dalam pemilihan lokasi *landfill* karena berhubungan dengan kemudahan transportasi limbah dari sumber menuju lokasi pembuangan. Lokasi yang terlalu jauh dari jaringan jalan dapat meningkatkan biaya operasional dan waktu tempuh, sedangkan lokasi yang terlalu dekat dapat menimbulkan gangguan lalu lintas serta dampak sosial seperti bau atau tumpahan limbah di sekitar jalur transportasi. Beberapa penelitian di Indonesia menekankan pentingnya mempertimbangkan jarak dari jalan dalam menentukan tingkat kesesuaian lokasi *landfill* (Fitriani, 2018). Dalam kajian kesesuaian lokasi *landfill* limbah non-B3 di Kabupaten Karawang, pertimbangan dalam pemberian skor untuk setiap kategori jarak dari jalan dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Jarak Jalan

Jarak dari jalan utama (m)	Skor	Keterangan singkat
0 – 400	4	Sangat sesuai
400 – 800	3	Sesuai
800 – 1200	2	Cukup sesuai
> 1200	1	Tidak Sesuai

Sumber: (Kumar et al., 2024)

2.5.5. Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng menentukan kestabilan dan kelayakan konstruksi landfill; kelas kemiringan yang disarankan (mis. 0–8%, >8–15%, dst.) banyak digunakan pada pedoman nasional konservasi tanah. Untuk parameter kemiringan lereng, penelitian ini mengacu pada Pedoman Penyusunan Pola Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah (1986) yang memuat klasifikasi kemiringan lereng yang jelas; skor dipetakan sesuai kelas tersebut (contoh kelas 0–8% = sangat sesuai). Tabel kelas dan skor ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Kemiringan Lereng

Kemiringan (%)	Skor	Keterangan singkat
0 – 8	5	Sangat sesuai (datar/landai; stabil)
> 8 – 15	4	Sesuai
> 15 – 25	3	Cukup sesuai (perlu mitigasi)
> 25 – 45	2	Kurang sesuai (risiko erosi/longsor)
> 45	1	Tidak sesuai (sangat curam)

Sumber: Pedoman Penyusunan Pola Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah (Direktorat Jenderal Reboisasi & Rehabilitasi Lahan, 1986).

2.6. Network Analysis (Shortest Path Analysis)

Network Analysis adalah teknik analisis yang memanfaatkan graf jaringan jalan. Salah satu algoritma yang umum digunakan adalah algoritma Dijkstra, yang mencari jalur terpendek dari satu titik ke titik lainnya berdasarkan bobot minimum. Rumus umum impedansi (I) dalam *network analysis*:

$$I = f(d, c, r) \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

- d = jarak tempuh
- c = kondisi jalan
- r = risiko lingkungan

Fungsi f akan ditentukan berdasarkan pembobotan pada atribut-atribut jaringan. Proses analisis dilakukan dalam perangkat lunak SIG seperti *ArcGIS* menggunakan *extension Network Analyst*. Hasil analisis berupa polyline rute terbaik dari titik awal ke titik tujuan dengan nilai impedansi total paling rendah.

2.7. *Equal Interval Classification*

Equal Interval Classification adalah teknik klasifikasi data dalam sistem informasi geografis (SIG) atau analisis data kuantitatif. Metode ini digunakan untuk membagi rentang nilai data ke dalam beberapa kelas dengan interval yang sama besar. Setiap kelas memiliki lebar interval yang seragam, sehingga seluruh rentang data terbagi merata berdasarkan nilai minimum dan maksimum dari data tersebut.

Secara matematis, *Equal Interval Classification* dihitung dengan membagi selisih antara nilai maksimum dan nilai minimum dengan jumlah kelas yang diinginkan. Dengan demikian, setiap kelas mencakup rentang nilai yang sama panjangnya pada skala data. Penentuan ini memberikan hasil klasifikasi yang sederhana dan mudah dipahami, sehingga sering digunakan dalam analisis spasial untuk mengidentifikasi kategori tertentu pada data hasil pengolahan SIG.

Dalam konteks pemetaan penentuan lokasi layak *landfill* NoN-B3, *Equal Interval Classification* sering digunakan untuk membagi hasil nilai *Weighted Overlay* menjadi beberapa kategori kesesuaian seperti, layak, cukup layak, dan tidak layak. Klasifikasi ini bertujuan untuk memberikan gambaran visual mengenai perbedaan tingkat kelayakan suatu area berdasarkan nilai hasil analisis spasial.

Adapun rumus dari *Equal Interval Classification* adalah sebagai berikut:

$$\text{Equal Interval} = \frac{\text{Nilai Max} - \text{Nilai Min}}{\text{Jumlah Kelas}} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- Nilai Max = Nilai tertinggi dari hasil analisis atau perhitungan.

- Nilai Min = Nilai terendah dari hasil analisis atau perhitungan.
- Jumlah Kelas = Jumlah kelas yang diinginkan.

2.8. Parameter Penentuan Rute

Dalam menentukan rute pengangkutan limbah industri non-B3, terdapat sejumlah parameter yang harus diperhatikan agar proses pengangkutan berjalan efisien, aman, dan memiliki dampak lingkungan yang minimal. Penentuan parameter ini mengacu pada pedoman teknis Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) serta SNI 03-3241-1994 tentang Tata Cara Teknik Operasional Pengangkutan Sampah Perkotaan. Adapun parameter-parameter yang digunakan dalam penentuan rute pengangkutan limbah antara lain:

1. Jarak Tempuh

Semakin pendek jarak tempuh, semakin rendah biaya operasional, waktu tempuh, serta konsumsi bahan bakar. Oleh karena itu, jarak menjadi parameter utama dalam menentukan efisiensi rute transportasi limbah.

2. Kondisi Jalan

Kondisi jalan meliputi lebar jalan, kualitas permukaan, dan kelandaian. Jalan yang baik memungkinkan kendaraan pengangkut melintas dengan aman dan cepat. Jalan rusak atau sempit dapat meningkatkan risiko kecelakaan dan keterlambatan distribusi limbah.

3. Aspek Lingkungan dan Sosial

Rute yang dipilih sebaiknya menghindari area sensitif seperti kawasan padat penduduk, sekolah, rumah sakit, serta badan air. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan risiko pencemaran maupun gangguan sosial terhadap masyarakat.

4. Aksesibilitas dan Keamanan

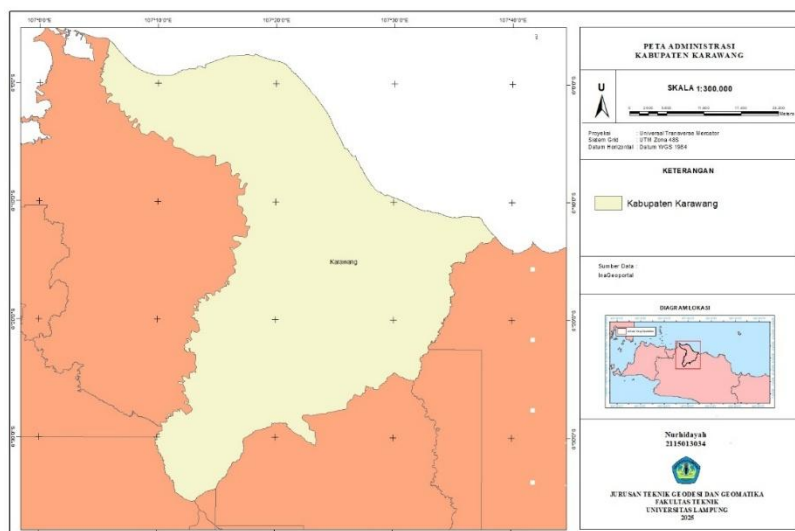
Rute yang baik harus mudah diakses oleh kendaraan pengangkut serta aman untuk dilalui, terutama pada titik tikungan, tanjakan, dan area permukiman. Keamanan pengangkutan menjadi faktor penting agar tidak terjadi kebocoran limbah selama perjalanan.

Dengan demikian, parameter-parameter tersebut membentuk dasar pertimbangan dalam penentuan rute pengangkutan limbah industri non-B3. Penerapan prinsip ini diharapkan dapat menghasilkan rute optimal yang tidak hanya efisien secara teknis dan ekonomis, tetapi juga aman serta berwawasan lingkungan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Kabupaten Karawang, Provinsi Jawa Barat. Secara geografis, Kabupaten Karawang terletak pada koordinat $107^{\circ}02' - 107^{\circ}40'$ Bujur Timur dan $5^{\circ}56' - 6^{\circ}34'$ Lintang Selatan, dengan luas wilayah sekitar 191.539,09 ha. Kabupaten Karawang merupakan salah satu kawasan industri terbesar di Jawa Barat dengan pertumbuhan aktivitas industri yang cukup pesat. Kondisi tersebut berdampak pada meningkatnya volume limbah industri, termasuk limbah industri non-B3, sehingga diperlukan perencanaan yang tepat dalam penentuan lokasi *landfill* serta rute pengangkutan yang optimal. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menentukan lokasi yang layak sebagai *landfill* limbah industri non-B3 serta merancang rute pengangkutan yang optimal berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) di Kabupaten Karawang, guna mendukung pengelolaan limbah industri yang efektif, efisien, dan berkelanjutan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian Kabupaten Karawang

3.2. Alat dan Data

Adapun alat dan data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

3.2.1. Alat

Alat penelitian digunakan untuk menunjang kegiatan penelitian dari awal sampai dengan tahap akhir, maka diperlukan peralatan yang digunakan yaitu:

1. Perangkat Keras
 - a. Laptop (*AMD Ryzen 3 3250U with Radeon Graphics 2.60 GHz*)
2. Perangkat Lunak
 - a. Aplikasi Pengolahan Data Spasial, digunakan untuk pengolahan data spasial hingga pembuatan peta.
 - b. *Microsoft Office Excel*, digunakan untuk pengolahan AHP.
 - c. *Microsoft Office Word*, digunakan untuk pengerjaan laporan akhir.

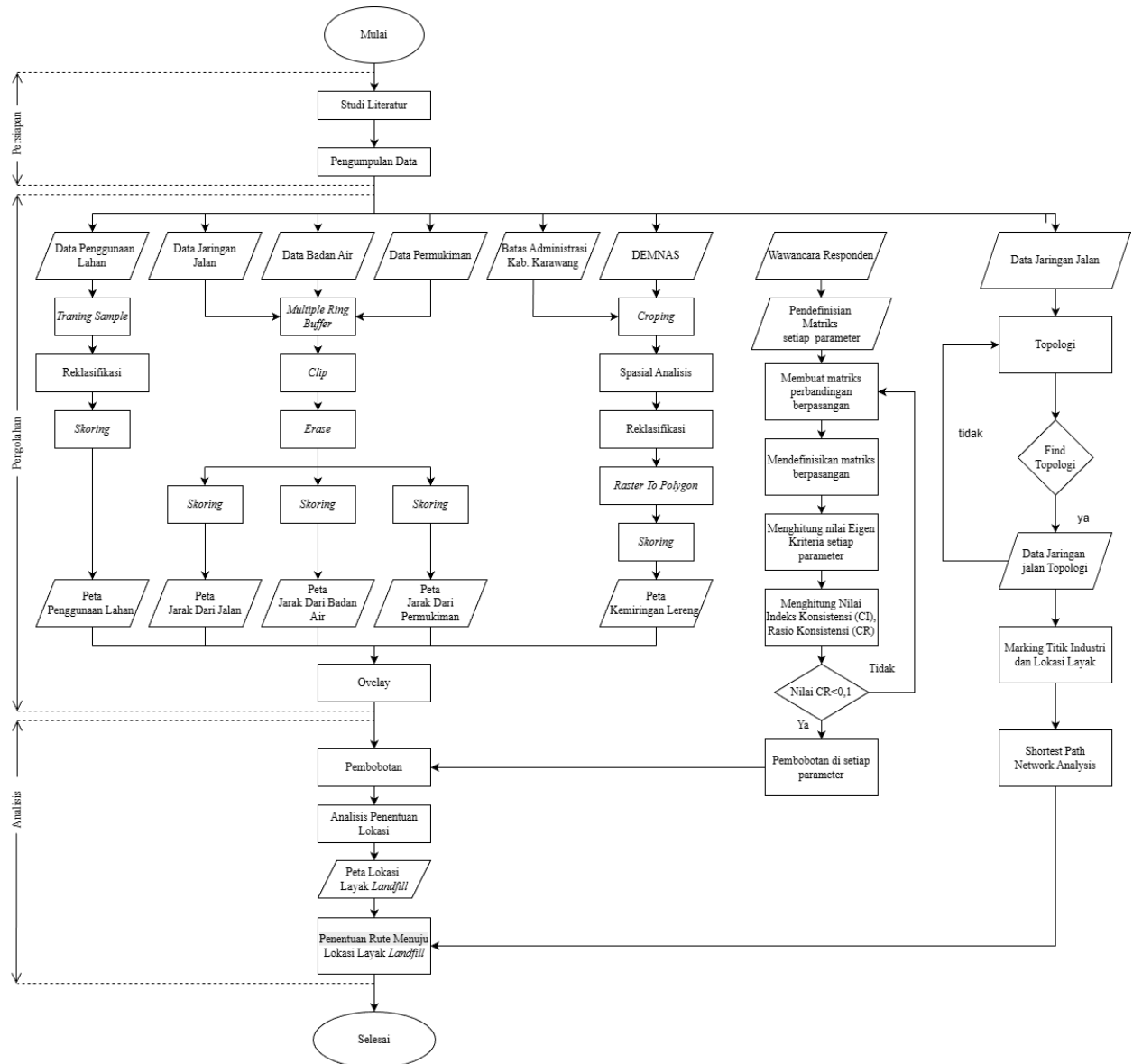
3.2.2. Data

Adapun data yang dipergunakan dalam penelitian ini yaitu:

Tabel 9. Data Penelitian

No.	Data	Format	Sumber
1.	Jaringan Jalan tahun 2023	Vektor	BIG
2.	Peta Administrasi Kabupaten Karawang	Vektor	BIG
3.	Permukiman tahun 2023	Vektor	BIG
4.	Badan Air tahun 2023	Vektor	BIG
5.	Peta Penggunaan Lahan tahun 2023	Vektor	BPN
6.	DEMNAS tahun 2023	Raster	BIG

3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3.4. Tahap Persiapan

Tahap persiapan merupakan langkah awal dari sebuah proses penelitian. Dalam tahap ini terbagi menjadi dua yaitu:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh pemahaman konseptual dan metodologis terkait:

- a. Limbah industri non-B3 dan pengelolaannya
- b. Penerapan metode *Network Analysis* dan *Weighted Overlay* dalam SIG
- c. Studi kasus serupa yang telah dilakukan sebelumnya. Sumber literatur meliputi jurnal ilmiah, buku, laporan pemerintah, dan publikasi dari lembaga lingkungan dan industri.

2. Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini merupakan tahap penting yang dilakukan untuk memperoleh data spasial maupun non-spasial yang diperlukan dalam penentuan lokasi layak *landfill* dan rute optimal pengangkutan limbah industri non-B3 di Kabupaten Karawang. Data-data yang dikumpulkan berasal dari berbagai instansi dan sumber yang relevan, baik yang bersifat primer maupun sekunder. Proses pengumpulan data diawali dengan penyelesaian administrasi, seperti pembuatan surat permohonan data dari Universitas, proposal penelitian, serta dokumen pendukung lainnya yang disesuaikan dengan kebijakan masing-masing instansi. Seluruh data yang diperoleh akan digunakan dalam proses pengolahan dan analisis spasial menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk menghasilkan *output* berupa peta lokasi layak *landfill* dan peta rute optimal pengangkutan limbah. Berikut adalah sumber data yang digunakan dalam penelitian ini:

a) Peta Penggunaan Lahan

Bersumber dari Badan Pertanahan Nasional (BPN) Kabupaten Karawang, yang akan digunakan untuk mengidentifikasi berbagai kelas penggunaan lahan di Kabupaten Karawang.

b) Data Jaringan Jalan

Bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG) yang akan digunakan untuk menganalisis jarak dari jalan di Kabupaten Karawang yang berpengaruh terhadap penentuan lokasi.

c) Data Badan Air

Bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG) yang digunakan untuk menganalisis jarak dari badan air di Kabupaten Karawang yang berpengaruh terhadap penentuan lokasi.

d) Data Permukiman

Bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG) yang digunakan untuk menganalisis jarak dari Permukiman di Kabupaten Karawang yang berpengaruh terhadap penentuan lokasi.

e) Data DEMNAS

Bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG) yang akan digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai kemiringan lereng di wilayah penelitian.

Setiap data yang telah dikumpulkan kemudian diproses dan diolah menggunakan *Software* pengolah data spasial agar dapat digunakan dalam analisis lebih lanjut.

3.5. Tahap Pengolahan Data

Setelah menyelesaikan tahap persiapan dan pengumpulan data, langkah berikutnya adalah tahap pengolahan data yang bertujuan untuk menentukan lokasi fasilitas pengolahan limbah industri non-B3 dan rute optimal pengangkutan limbah di Kabupaten Karawang. Dalam penelitian ini, analisis dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa parameter spasial yang berpengaruh terhadap kelayakan lokasi, seperti kemiringan lereng, penggunaan lahan, jarak terhadap badan air, jarak terhadap permukiman, dan jarak terhadap jaringan jalan. Setiap parameter tersebut diolah dan dianalisis menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) melalui metode pembobotan *Analytic Hierarchy Process* (AHP) dan *overlay* berbobot, sehingga menghasilkan peta zonasi tingkat kesesuaian lokasi fasilitas pengolahan limbah industri non-B3. Dari hasil *overlay* berbobot tersebut, wilayah dengan nilai kesesuaian tertinggi ditetapkan sebagai lokasi yang paling layak.

Tahap selanjutnya adalah penentuan rute ke lokasi layak *landfill* pengangkutan limbah industri non-B3 dari tiga kawasan industri terbesar di Kabupaten Karawang (Kawasan Industri KIIC, Surya Cipta, dan Surya Cipta) menuju lokasi fasilitas pengolahan yang terpilih. Analisis rute dilakukan menggunakan *Network Analyst* pada perangkat lunak SIG, dengan mempertimbangkan efisiensi jarak dan jaringan jalan yang tersedia sesuai ketentuan dalam SNI 03-3241-1994 tentang Tata Cara Perencanaan Sistem Jaringan Jalan Raya. Melalui tahapan pengolahan data ini, penelitian dapat menghasilkan informasi spasial yang komprehensif mengenai lokasi yang layak untuk pembangunan fasilitas pengolahan limbah serta rute pengangkutan yang paling efisien, sehingga dapat digunakan sebagai dasar perencanaan dan pengambilan keputusan dalam pengelolaan limbah industri non-B3 di Kabupaten Karawang.

3.5.1. Parameter Penentuan Lokasi Layak *Landfill*

1. Parameter Penggunaan Lahan

Parameter penggunaan lahan berperan penting dalam menentukan kelayakan lokasi pembangunan *landfill* karena berkaitan langsung dengan aktivitas

pemanfaatan ruang pada suatu wilayah. Lahan dengan penggunaan non-produktif seperti semak belukar, lahan terbuka, atau tanah kosong dianggap lebih sesuai untuk dijadikan lokasi *landfill* dibandingkan dengan area permukiman, pertanian intensif, maupun kawasan industri yang memiliki nilai ekonomi dan sosial tinggi. Data penggunaan lahan yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Badan Pertanahan Nasional (BPN). Data tersebut berisi informasi spasial mengenai jenis-jenis penggunaan lahan di wilayah Kabupaten Karawang, yang kemudian diolah menggunakan perangkat lunak ArcGIS.

No	Wilayah	Gersam20	Keterangan	Luas	Robot
1	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		31.100.181,1	
2	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		128.100.000,1	
3	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		308.004.451,1	
4	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		4.400.000,1	
5	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		8.158.014.000,1	
6	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		8.158.014.000,1	
7	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
8	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
9	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
10	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
11	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
12	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
13	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
14	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
15	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
16	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
17	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
18	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
19	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
20	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
21	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
22	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
23	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
24	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
25	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
26	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
27	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
28	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
29	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
30	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
31	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
32	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
33	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
34	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
35	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
36	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
37	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	
38	Pertanian 20	Sangat Tidak Sesuai		10.100.000,1	

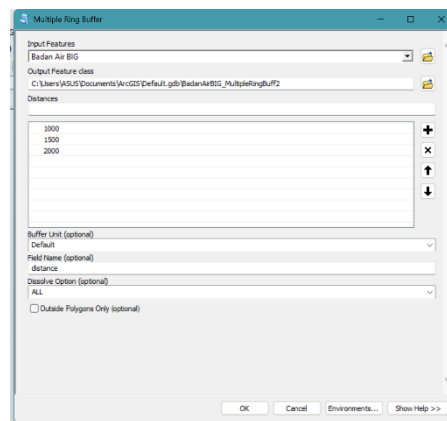
Gambar 3. Data penggunaan Lahan

Tahap pengolahan dilakukan dengan cara mengklasifikasikan jenis penggunaan lahan berdasarkan tingkat kesesuaiannya terhadap lokasi *landfill*. Proses klasifikasi ini mengacu pada kondisi aktual di lapangan, di mana lahan terbuka dan semak belukar dikategorikan sangat sesuai, sedangkan area permukiman, pertanian produktif, serta kawasan industri termasuk kategori tidak sesuai. Hasil klasifikasi tersebut menghasilkan lima kelas penggunaan lahan yang menggambarkan tingkat kelayakan spasial terhadap pembangunan *landfill* non-B3.

2. Parameter Jarak Dari Badan Air

Jarak terhadap badan air menjadi salah satu parameter penting dalam penentuan lokasi layak *landfill* karena berhubungan dengan potensi pencemaran air

permukaan maupun air tanah. Semakin dekat lokasi dengan badan air, maka potensi pencemarannya semakin tinggi, sehingga diperlukan jarak yang aman untuk pembangunan *landfill*. Data badan air diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) yang berfungsi sebagai acuan spasial dalam menentukan jarak antara calon lokasi *landfill* dengan badan air. Data tersebut kemudian diolah menggunakan *ArcGIS* dengan menerapkan analisis spasial berbasis *buffer* untuk menghasilkan zona jarak aman.



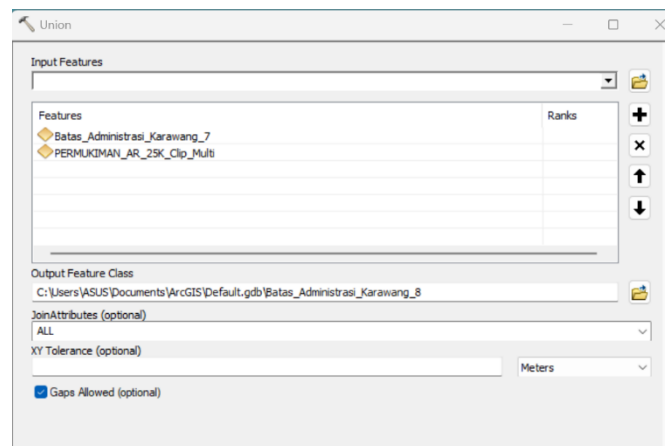
Gambar 4. Proses pembuatan zona jarak

Proses analisis dilakukan dengan membuat zona penyangga (*buffer zone*) pada jarak bertingkat, yaitu 1000 meter, 1500 meter, 2000 meter, dari badan air. Pembagian jarak ini didasarkan pada standar umum yang menyatakan bahwa jarak di bawah 1000 meter termasuk kategori terlalu dekat dan berpotensi tinggi terhadap pencemaran, sedangkan jarak di atas 1500 meter dianggap lebih aman untuk pembangunan *landfill*. Hasil *overlay* menunjukkan area dengan jarak aman terhadap badan air yang menjadi dasar dalam proses penentuan lokasi layak *landfill*. Zona yang berada di dalam batas 1000 meter dari badan air kemudian dikeluarkan dari area analisis melalui proses *clip* sehingga hanya tersisa area yang memenuhi kriteria jarak aman.

3. Parameter Jarak Dari Permukiman

Parameter jarak dari permukiman berkaitan dengan aspek sosial dan kesehatan masyarakat. Lokasi *landfill* sebaiknya berjarak cukup jauh dari kawasan

permukiman untuk menghindari potensi dampak negatif seperti pencemaran udara, bau, dan gangguan estetika. Semakin besar jarak dari permukiman, maka semakin layak lokasi tersebut untuk dijadikan area *landfill*. Data permukiman dalam penelitian ini diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) yang kemudian diolah menggunakan perangkat lunak *ArcGIS* untuk menentukan zona jarak antar permukiman dengan wilayah studi di Kabupaten Karawang.



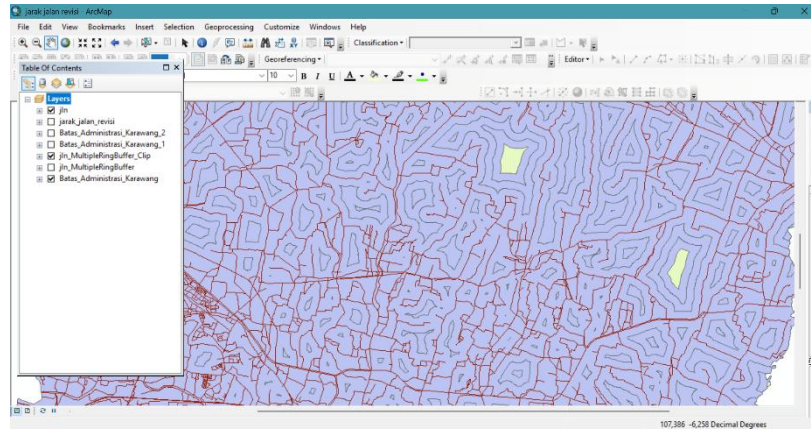
Gambar 5. Tahapan penggabungan (Union)

Tahap analisis dilakukan dengan membentuk zona jarak menggunakan *Multiple Ring Buffer* guna mengetahui tingkat kedekatan antara permukiman dan calon lokasi *landfill*. Selanjutnya hasil analisis dibatasi dengan *clip* dan dilakukan proses *erase* untuk menghapus area permukiman dari wilayah studi. Hasil akhirnya menunjukkan area yang berada cukup jauh dari permukiman sebagai lokasi yang paling sesuai untuk pembangunan *landfill* non-B3.

4. Parameter Jarak Jalan

Aksesibilitas merupakan faktor penting dalam menentukan lokasi *landfill* karena berhubungan dengan efisiensi transportasi pengangkutan limbah. Lokasi yang terlalu jauh dari jaringan jalan utama dapat meningkatkan biaya operasional, sedangkan lokasi yang terlalu dekat dapat menimbulkan gangguan terhadap aktivitas lalu lintas. Oleh karena itu, jarak terhadap jaringan jalan menjadi salah satu parameter penting dalam analisis kelayakan lokasi *landfill*. Data jaringan

jalan pada penelitian ini diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dan diolah menggunakan perangkat lunak *ArcGIS* untuk menentukan jarak spasial antara jaringan jalan dengan wilayah studi di Kabupaten Karawang.



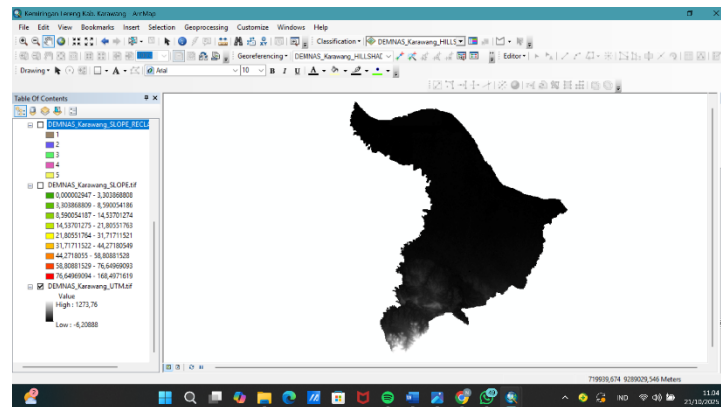
Gambar 6. Proses tahapan *Multiple Ring Buffer*

Analisis spasial dilakukan dengan membentuk zona jarak menggunakan *Multiple Ring Buffer* untuk mengetahui tingkat kedekatan antara jaringan jalan dengan area penelitian. Tahap selanjutnya dilakukan proses *clip* untuk membatasi area hasil *buffer* agar hanya mencakup wilayah studi yang relevan. Setelah itu, dilakukan proses *erase* guna menghapus area yang tumpang tindih sehingga tersisa area yang sesuai untuk analisis. Proses akhir dilakukan dengan *union* untuk menggabungkan seluruh hasil analisis menjadi satu layer yang utuh, menggambarkan tingkat kelayakan spasial berdasarkan jarak dari jaringan jalan di wilayah Kabupaten Karawang.

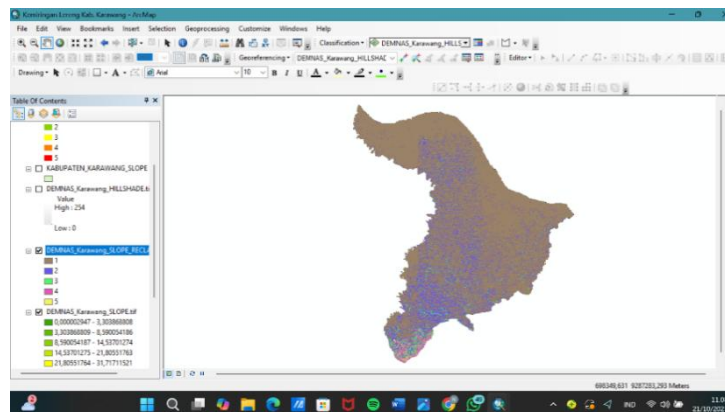
5. Parameter Kemiringan Lereng

Peta kemiringan lereng diperoleh melalui pengolahan data Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) yang bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG) menggunakan perangkat lunak *ArcGIS* sebagai *software* pengolah data spasial. Proses dimulai dengan memasukkan data DEMNAS ke dalam *ArcGIS*, kemudian dilakukan pemotongan (*clipping*) data agar sesuai dengan batas wilayah penelitian menggunakan tool “*Extract by Mask*”, dengan shapefile batas

administrasi Kabupaten Karawang sebagai area mask. Setelah data DEMNAS berhasil dipotong sesuai area penelitian, langkah berikutnya adalah menghasilkan nilai kemiringan lereng dengan menggunakan tool “Slope” yang berada pada menu *Spatial Analyst Tools* → *Surface* → *Slope*. Tool ini menghitung tingkat kemiringan berdasarkan perubahan elevasi antar sel pada data DEMNAS, sehingga menghasilkan peta kemiringan lereng dalam satuan derajat (%).



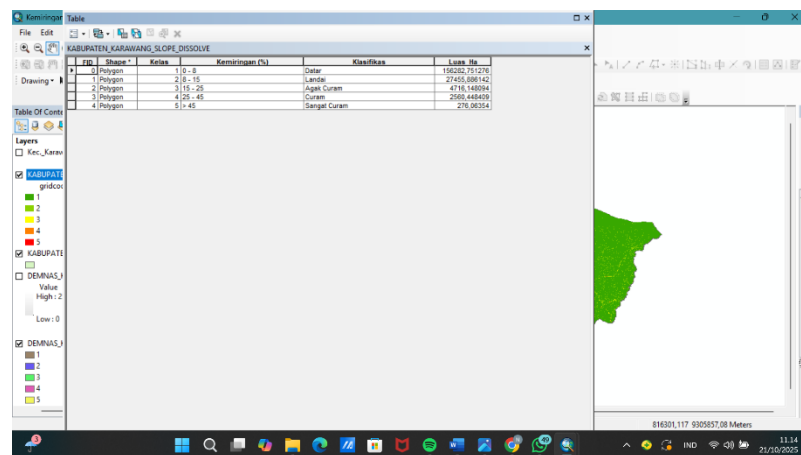
Gambar 7. DEMNAS Kab. Karawang



Gambar 8. Tahap Slope Reclass

Hasil dari pengolahan kemiringan lereng tersebut kemudian diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas sesuai dengan interval yang telah ditentukan menggunakan tool “Reclassify” pada menu *Spatial Analyst Tools* → *Reclass* → *Reclassify*. Klasifikasi ini bertujuan untuk mengelompokkan nilai kemiringan

lereng menjadi beberapa kelas tingkat kesesuaian lokasi *landfill*, di mana semakin kecil kemiringannya maka semakin tinggi tingkat kesesuaiannya. Selanjutnya, hasil *reclassifikasi* yang masih dalam format raster dikonversi ke dalam format vektor (polygon) menggunakan tool “Raster to Polygon” agar dapat digunakan dalam proses analisis *overlay* berbobot. Setelah dikonversi, setiap kelas kemiringan lereng diberikan nilai skor sesuai dengan tingkat kesesuaian yang telah ditetapkan, yaitu dari skor 1 hingga 5, untuk digunakan dalam analisis penentuan lokasi layak *landfill* pada tahap selanjutnya.



Gambar 9. Klasifikasi kemiringan lereng

3.5.2. Perhitungan Pembobotan Metode AHP Setiap Parameter

Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan bobot relatif dari masing-masing parameter yang berpengaruh terhadap penentuan lokasi layak fasilitas pengolahan limbah industri non-B3 (*landfill*) di Kabupaten Karawang. Proses ini melibatkan perbandingan antara setiap parameter dengan memberikan nilai antara 1 hingga 9, dimana semakin tinggi nilainya, semakin penting parameter tersebut. Proses AHP dilaksanakan dengan menggunakan kuesioner yang diberikan kepada beberapa partisipan. kuesioner diberikan kepada empat responden. Setelah kuesioner diisi oleh responden, hasil dari kuesioner tersebut kemudian dilakukan pengolahan. Tahapan perhitungan pembobotan AHP dalam penelitian ini dijelaskan sebagai berikut.

1. Penyusunan Struktur Hierarki dan Parameter

Tahap awal metode AHP adalah penyusunan struktur hierarki keputusan. Pada penelitian ini, struktur hierarki terdiri dari, penentuan lokasi layak *landfill* limbah industri non-B3 dengan parameter kemiringan lereng, penggunaan lahan, jarak terhadap badan air, jarak terhadap permukiman, dan jarak terhadap jalan. Kelima parameter tersebut kemudian dianalisis tingkat kepentingannya menggunakan metode perbandingan berpasangan.

2. Pengisian Kuesioner Perbandingan Berpasangan

Penilaian tingkat kepentingan antarparameter dilakukan melalui kuesioner perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*).

Responden diminta membandingkan dua parameter pada satu waktu menggunakan skala Saaty (1–9), di mana nilai 1 menunjukkan kedua parameter sama penting, nilai 9 menunjukkan satu parameter sangat lebih penting dibandingkan parameter lainnya. Hasil pengisian kuesioner perbandingan berpasangan ditampilkan pada Gambar 10.

ELEMEN (KIRI)	KRITERIA NILAI																	ELEMEN (KANAN)
Kemiringan Lereng	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	X	Penggunaan Lahan
Kemiringan Lereng	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	X	8	9	Jarak Badan Air
Kemiringan Lereng	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	X	8	9	Jarak Permukiman
Kemiringan Lereng	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	X	4	5	6	7	8	9	Jarak Jalan
Penggunaan Lahan	X	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jarak Badan Air
Penggunaan Lahan	X	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jarak Permukiman
Penggunaan Lahan	X	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jarak Jalan
Jarak Badan Air	9	8	7	6	5	4	3	2	X	2	3	4	5	6	7	8	9	Jarak Permukiman
Jarak Badan Air	9	8	7	6	X	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jarak Jalan
Jarak Permukiman	9	8	X	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jarak Jalan

Gambar 10. Kuesioner perbandingan berpasangan AHP

Gambar 10 menunjukkan hasil penilaian responden dalam menentukan parameter mana yang lebih penting dalam penentuan lokasi landfill limbah industri non-B3.

3. Penyusunan Matriks Perbandingan Berpasangan

Nilai hasil kuesioner selanjutnya dimasukkan ke dalam tabel perbandingan berpasangan menggunakan bantuan Microsoft Excel.

Hasil input perbandingan antarparameter ditampilkan pada Gambar 11.

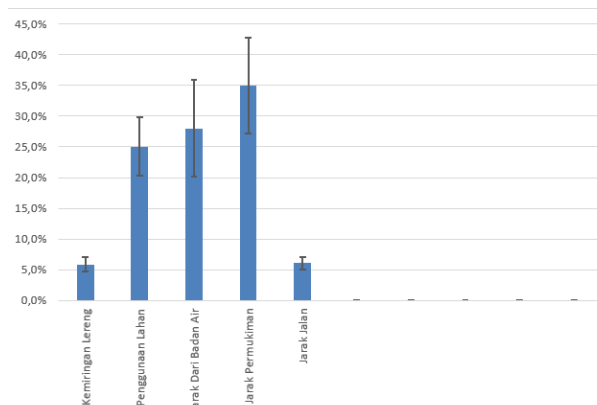
Participant 3		1			α : 0,1	CR: 9%
Name	Weight	Date	Consistency Ratio			
i	j	Criteria	more important ?	Scale		
1	2	Kemiringan Lereng	Penggunaan Lahan	A	3	
1	3		Jarak Dari Badan Air	B	1	
1	4		Jarak Permukiman	B	7	
1	5		Jarak Jalan	A	1	
1	6	Penggunaan Lahan				
1	7					
1	8					
2	3		Jarak Dari Badan Air	B	5	
2	4		Jarak Permukiman	B	7	
2	5		Jarak Jalan	A	1	
2	6	Jarak Dari Badan Air				
2	7					
2	8					
3	4		Jarak Permukiman	B	1	
3	5		Jarak Jalan	A	5	
3	6	Jarak Permukiman				
3	7					
3	8					
4	5		Jarak Jalan	A	7	
4	6					
4	7					
4	8					

Gambar 11. Hasil perbandingan berpasangan

Gambar 11 menunjukkan hasil konversi kuesioner menjadi matriks perbandingan berpasangan sebagai dasar perhitungan bobot AHP.

4. Normalisasi Matriks dan Perhitungan Bobot Parameter

Matriks perbandingan berpasangan selanjutnya dinormalisasi untuk memperoleh nilai *eigen vector* atau bobot prioritas masing-masing parameter. Berdasarkan hasil perhitungan AHP, diperoleh bobot prioritas dari masing-masing parameter seperti ditunjukkan pada Grafik dan tabel berikut:



Gambar 12. Grafik Hasil Pembobotan AHP

Criterion	Comment	Weights	+/-
1 Kemiringan Lereng		5,9%	1,2%
2 Penggunaan Lahan		25,1%	4,7%
3 Jarak Dari Badan		28,0%	7,8%
4 Jarak Permukiman		35,0%	7,8%
5 Jarak Jalan		6,1%	1,0%
6		0,0%	0,0%
7		0,0%	0,0%
8		0,0%	0,0%
9	for 9&10 unprotect the input sheets and expand the	0,0%	0,0%
#	question section ("+" in row 66)	0,0%	0,0%

Gambar 13.

Bobot Hasil

Parameter AHP

Gambar 12 menunjukkan perbandingan tingkat kepentingan masing-masing parameter secara visual, sedangkan Gambar 13 menampilkan nilai bobot numerik yang digunakan dalam analisis selanjutnya.

5. Perhitungan Nilai Eigen *Maksimum* (λ_{maks})

Berdasarkan hasil perhitungan matriks perbandingan berpasangan, diperoleh nilai eigen maksimum (λ_{maks}) sebesar 5,092. Nilai ini digunakan untuk menguji konsistensi penilaian responden dalam metode AHP.

6. Uji Konsistensi (*Consistency Index dan Consistency Ratio*)

Uji konsistensi dilakukan untuk memastikan bahwa penilaian responden bersifat logis dan dapat diterima. Perhitungan konsistensi dilakukan dengan menghitung *Consistency Index* (CI) dan *Consistency Ratio* (CR) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 CI &= \frac{(5.092-5)}{(5-1)} \\
 &= \frac{0.092}{4} \\
 &= 0.023
 \end{aligned}$$

dan

$$CR = \frac{0.023}{1.12}$$

$$= 0.0205$$

$$= 2.05\%$$

Berdasarkan kriteria Saaty (1980), nilai $CR \leq 0,1$ menunjukkan bahwa matriks perbandingan berpasangan bersifat konsisten dan valid. Oleh karena itu, hasil bobot AHP yang telah diperoleh dapat digunakan dalam tahap analisis selanjutnya, yaitu *overlay* berbobot (*weighted overlay*) untuk menentukan lokasi paling layak sebagai tempat fasilitas pengolahan limbah industri non-B3.

3.5.3. Skoring Parameter Penentuan Lokasi Layak *Landfill*

Setiap parameter yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya diberikan nilai skoring berdasarkan tingkat kesesuaiannya terhadap lokasi *landfill*. Setelah seluruh peta parameter yang diperlukan dalam analisis penentuan lokasi diperoleh, langkah selanjutnya adalah memberikan skor pada setiap parameter sesuai dengan tingkat pengaruhnya terhadap lokasi layak *landfill*. Pemberian skor ini dilakukan berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan, di mana setiap parameter akan memiliki nilai yang mencerminkan tingkat kesesuaiannya dalam penentuan lokasi layak *landfill* non-B3, berikut adalah skor yang digunakan untuk masing-masing parameter dalam analisis ini. Berikut adalah skor yang digunakan untuk masing-masing parameter dalam analisis ini:

Tabel 10. *Skoring* Penentuan Lokasi Layak

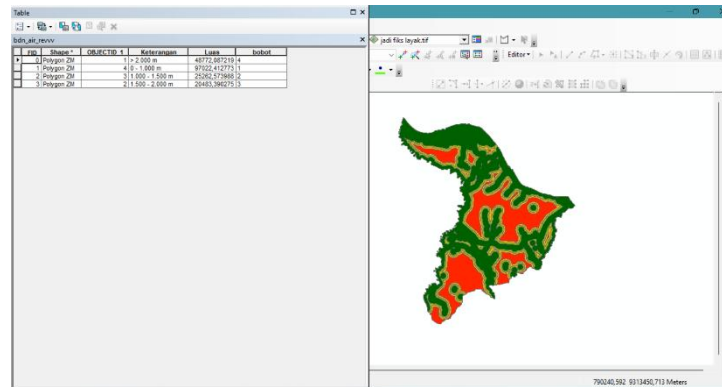
No.	Parameter	Kriteria
1.	Kemiringan Lereng	Kemiringan lereng 0–8% dikategorikan sebagai <i>sangat sesuai</i> dengan skor 5, karena kondisi lahan relatif datar dan mendukung pembangunan <i>landfill</i> . Kemiringan 8–15% termasuk kategori <i>sesuai</i> dengan skor 4, sedangkan kemiringan 15–25% diklasifikasikan sebagai <i>cukup sesuai</i> dengan skor 3. Lereng dengan kemiringan 25–45% dinilai <i>kurang sesuai</i> dan diberi skor 2, sementara kemiringan lebih dari 45% dikategorikan <i>tidak sesuai</i> dengan skor terendah, yaitu 1.
2.	Penggunaan Lahan	Parameter penggunaan lahan diklasifikasikan berdasarkan jenis tutupan lahan yang ada. Badan air dinilai <i>tidak sesuai</i> dengan skor 1 karena berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan. Kawasan industri serta kebun/perkebunan dikategorikan sebagai <i>cukup sesuai</i> dengan skor 2.

Lanjutan Tabel 10. Skoring Penentuan Lokasi Layak

No.	Parameter	Kriteria
		Lahan terbuka dinilai <i>sangat sesuai</i> dan diberikan skor 4 karena minim hambatan pemanfaatan ruang. Sebaliknya, kawasan permukiman dan sawah diklasifikasikan sebagai <i>tidak sesuai</i> dengan skor 1, mengingat tingginya risiko dampak lingkungan dan sosial. Tegalan atau ladang dikategorikan sebagai <i>sesuai</i> dengan skor 3.
3.	Jarak Dari Badan Air	Parameter jarak dari badan air dibagi ke dalam empat kelas. Jarak 0–1000 meter dikategorikan <i>tidak sesuai</i> dengan skor 1 karena berisiko mencemari sumber air. Jarak 1000–1500 meter dinilai <i>cukup sesuai</i> dengan skor 2, sedangkan jarak 1500–2000 meter termasuk kategori <i>sesuai</i> dengan skor 3. Jarak lebih dari 2000 meter dinilai <i>sangat sesuai</i> dan diberikan skor 4.
4.	Jarak Dari Jalan	Jarak 0–400 meter dikategorikan <i>sangat sesuai</i> dengan skor 4 karena memiliki aksesibilitas tinggi. Jarak 400–800 meter dinilai <i>sesuai</i> dengan skor 3, sedangkan jarak 800–1200 meter dikategorikan <i>cukup sesuai</i> dengan skor 2. Jarak lebih dari 1200 meter dinilai <i>tidak sesuai</i> dengan skor 1 karena akses pengangkutan menjadi kurang efisien.
5.	Jarak Dari Permukiman	Parameter jarak dari permukiman diklasifikasikan untuk meminimalkan dampak sosial dan lingkungan. Jarak 0–1000 meter dikategorikan <i>tidak sesuai</i> dengan skor 1. Jarak 1000–1500 meter dinilai <i>cukup sesuai</i> dengan skor 2, sedangkan jarak 1500–2000 meter dikategorikan <i>sesuai</i> dengan skor 3. Jarak lebih dari 2000 meter dinilai <i>sangat sesuai</i> dan diberikan skor 4.

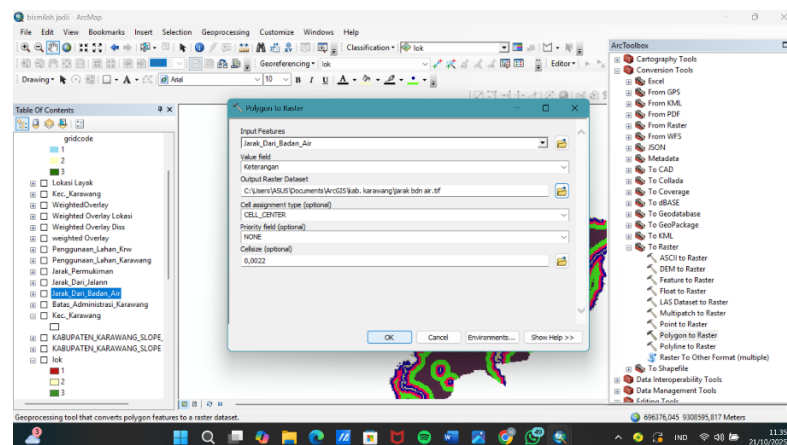
3.5.4. *Weighted Overlay* Setiap Parameter

Tahap *overlay* berbobot dilakukan setelah seluruh parameter penelitian, yaitu kemiringan lereng, jarak terhadap badan air, jarak terhadap permukiman, jarak terhadap jalan, dan penggunaan lahan, selesai diolah serta diberi bobot melalui metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Proses ini bertujuan untuk menggabungkan semua parameter ke dalam satu peta komposit kesesuaian lahan yang merepresentasikan tingkat kelayakan lokasi fasilitas pengolahan limbah industri non-B3 di Kabupaten Karawang.



Gambar 14. Proses mengubah format polygon menjadi raster

Tahap *reklasifikasi* dilakukan untuk menyamakan nilai *skoring* dari seluruh parameter, di mana setiap parameter diberi nilai dengan rentang 1 hingga 4. Nilai 4 menunjukkan tingkat kesesuaian paling tinggi, sedangkan nilai 1 menunjukkan tingkat kesesuaian paling rendah. Hasil dari tahap ini menghasilkan layer raster yang sudah memiliki klasifikasi nilai kesesuaian pada tiap parameter penelitian.



Gambar 15. Pemberian skoring masing-masing parameter

Setelah semua layer direklasifikasi, tahap berikutnya yaitu memasukkan seluruh parameter ke dalam tool *Weighted Overlay*, dengan pembobotan berdasarkan hasil perhitungan AHP. Setiap parameter memiliki bobot yang berbeda sesuai dengan pengaruhnya terhadap kesesuaian lokasi. Misalnya, parameter jarak terhadap permukaan memiliki bobot lebih besar karena memiliki pengaruh signifikan terhadap aspek sosial dan kesehatan masyarakat.

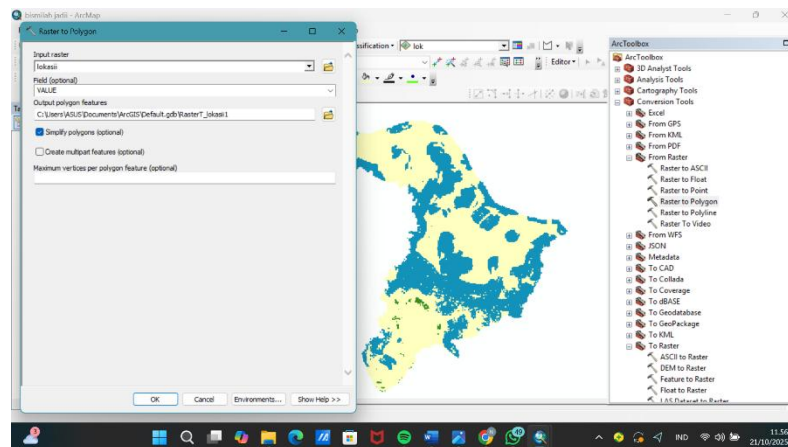
Raster	% Influence	Field	Scale Value
KL REV.tif	6	Value	
		1	1
		2	2
		3	3
		4	4
		5	5
		NODATA	NODATA
BA REV.tif	28	Value	
		1	1
		2	2
		3	3
		4	4
		NODATA	NODATA
JJ REV.tif	6	Value	
		1	1
		2	2
		3	3
		4	4

Sum of influence: 40 Set Equal Influence

Evaluation scale: 1 to 9 by 1 From: To: By:

Gambar 16. Proses pemberian nilai skala

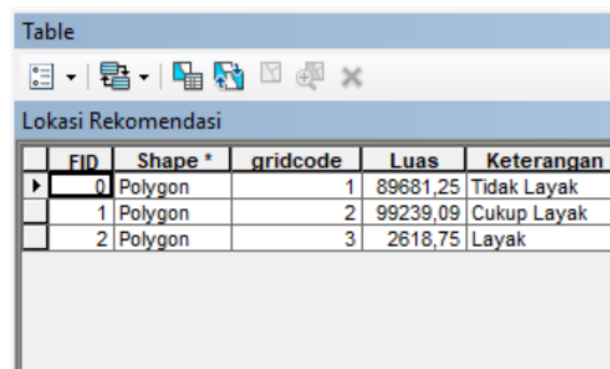
Hasil dari tahap overlay berbobot berupa peta kesesuaian lokasi fasilitas pengolahan limbah industri non-B3, yang menampilkan zonasi tingkat kesesuaian wilayah. Nilai tertinggi pada hasil raster menunjukkan area dengan tingkat kesesuaian paling tinggi (sangat layak), sedangkan nilai terendah menunjukkan area yang tidak layak. Setelah peta kesesuaian terbentuk, hasil raster kemudian dikonversi menjadi data vektor menggunakan *tool Raster to Polygon* untuk memudahkan analisis spasial dan penentuan area yang memenuhi kriteria teknis dan lingkungan.



Gambar 18. Proses Raster To Polygon

Weighted Overlay dibagi ke dalam tiga kelas kesesuaian, yaitu: Tidak Layak, Cukup Layak, dan Layak. Pembagian kelas ini dilakukan untuk menghasilkan zonasi wilayah sesuai tingkat kelayakan lokasi dalam menerima fasilitas pengolahan limbah industri non-B3. Kelas Tidak Layak menunjukkan area dengan nilai kesesuaian

rendah dan memiliki banyak kendala teknis maupun lingkungan sehingga tidak direkomendasikan. Kelas Cukup Layak menunjukkan wilayah dengan nilai kesesuaian menengah yang masih dapat dipertimbangkan apabila memenuhi kondisi tertentu. Sementara itu, kelas Layak merupakan area dengan nilai kesesuaian tertinggi yang paling sesuai dan direkomendasikan untuk penentuan lokasi fasilitas. Ketiga kelas ini menjadi dasar pembentukan zonasi kesesuaian lahan pada peta hasil analisis.



Lokasi Rekomendasi				
FID	Shape *	gridcode	Luas	Keterangan
0	Polygon	1	89681,25	Tidak Layak
1	Polygon	2	99239,09	Cukup Layak
2	Polygon	3	2618,75	Layak

Gambar 19. Klasifikasi Zona Kesesuaian Lokasi Layak *Landfill*

3.5.5. Penentuan Interval Kelas Penentuan Lokasi Layak *Landfill*

Hasil weight overlay diperoleh dari kombinasi lima parameter utama yaitu kemiringan lereng, penggunaan lahan, jarak dari badan air, jarak dari permukiman, jarak dari jalan. Masing-masing parameter diberi skor 1–4 sesuai tingkat kesesuaiannya dan bobot berdasarkan hasil Analytic Hierarchy Process (AHP). Perhitungan weight overlay secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut: $[(\text{Skor kemiringan lereng} * 0,059) + (\text{Skor penggunaan lahan} * 0,251) + (\text{Skor jarak dari badan air} * 0,28) + (\text{Skor jarak dari permukiman} * 0,35) + (\text{Skor jarak dari jalan} * 0,061)]$. Kalkulasi dari analisis weight overlay merupakan jumlah dari perkalian bobot Analytical Hierarchy Process (AHP) dan skor pada ketujuh parameter. Untuk menentukan kategori akhir (layak, cukup layak, tidak layak), digunakan metode klasifikasi interval sama (equal interval). Rentang nilai hasil overlay dihitung dengan perhitungan, sebagai berikut:

$$\text{Kelas Interval} = \frac{5-1}{3} = 1,33$$

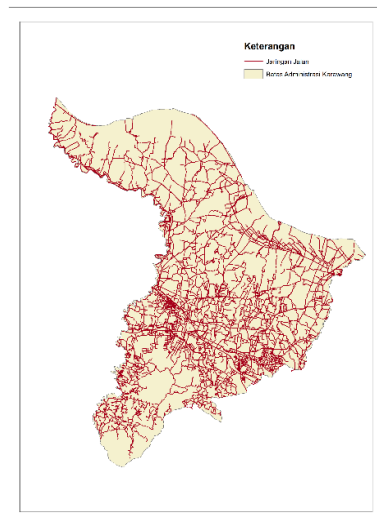
Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka didapatkan panjang kelas interval penentuan lokasi *landfill* adalah 1,33. Berikut adalah tabel penentuan lokasi untuk *landfill* non-B3 di Kabupaten Karawang.

Tabel 11. Lokasi layak landfill

No.	Rentang Nilai	Kategori
1	1.00 – 2.33	Tidak Layak
2	2.34 – 3.67	Cukup Layak
3	3.68 – 5.00	Layak

3.5.6. Topologi Data Jaringan Jalan

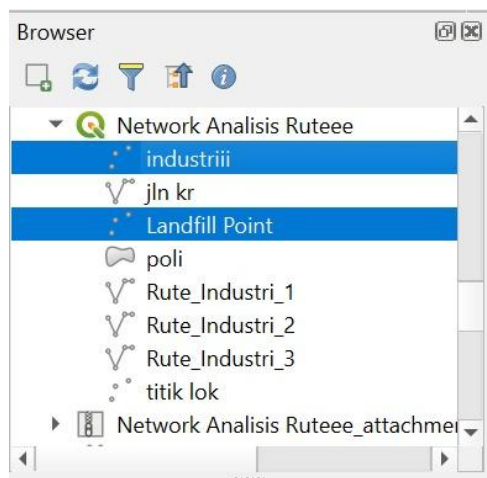
Proses topologi pada data jaringan jalan dilakukan untuk memastikan data jaringan jalan yang digunakan sudah berfungsi dengan baik. Proses ini dapat memastikan bahwa setiap segmen jaringan jalan terhubung secara optimal dan tidak ada kesalahan. Data jaringan jalan yang sudah di topologi sangat diperlukan dalam pengolahan data untuk menghasilkan informasi yang akurat dan valid. Proses topologi jaringan jalan ini dilakukan dengan tahapan yang dimulai dari pembuatan geodatabase, *feature dataset* dan *feature class*. Untuk menjalankan proses topologi diperlukan 4 aturan yaitu *must not overlap*, *must not intersect*, *must not have dangles* dan *must not intersect or touch interior*. Aturan ini dilakukan untuk memastikan jaringan jalan yang akan digunakan dalam pengolahan data selanjutnya sudah akurat dan tidak ada kesalahan. Setelah menerapkan aturan tersebut, selanjutnya melakukan pengecekan *error* yang mungkin terjadi pada data jaringan jalan dengan Error Inspector. Apabila *error* yang terdapat pada data jaringan jalan sudah muncul maka dilakukan pemisahan pada aturan *must not intersect or touch interior* dan *must not intersect*, serta melakukan pengecualian pada aturan *must not have dangles*. Jaringan jalan lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Topologi Jaringan jalan

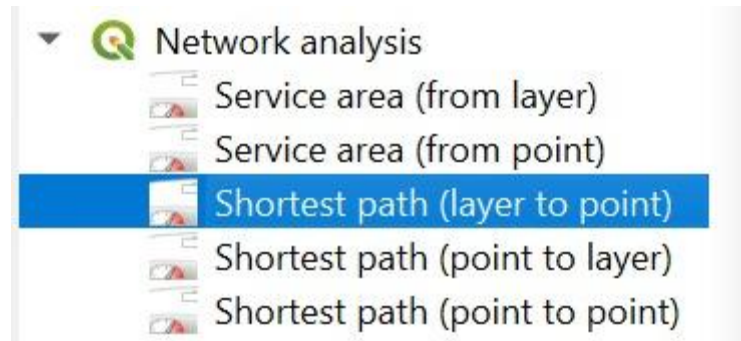
3.5.7. *Network Analysis Untuk Rute Optimal*

Analisis rute optimal dilakukan menggunakan *Network Analysis* pada perangkat lunak QGIS. Tahapan ini bertujuan untuk menentukan jalur transportasi dengan jarak tempuh terpendek dari titik sumber limbah menuju lokasi landfill terpilih. Analisis ini didasarkan pada prinsip jaringan (*network*), di mana setiap segmen jalan direpresentasikan sebagai hubungan antar simpul yang memiliki nilai (*cost*) tertentu.



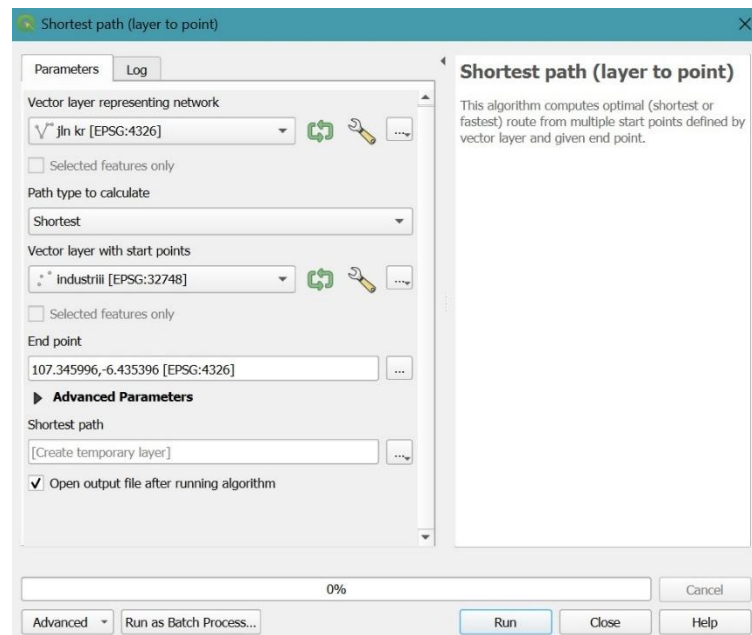
Gambar 21. Proses Memasukkan Data

Tahap awal dilakukan dengan menyiapkan data jaringan jalan (*road network*) yang telah diverifikasi secara topologis agar tidak terdapat celah atau simpul jalan yang tidak terhubung. Data ini menjadi dasar dalam proses analisis jaringan.



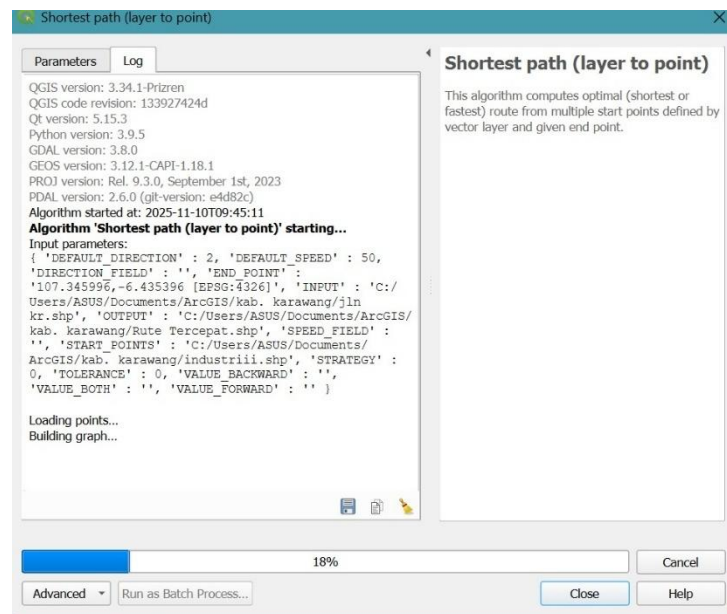
Gambar 22. Proses *Network Analysis*

Selanjutnya dilakukan penentuan titik lokasi awal (*origin*) yang merepresentasikan lokasi sumber limbah, serta titik tujuan (*destination*) yaitu lokasi fasilitas pengolahan atau landfill. Kedua titik ini dimasukkan ke dalam layer analisis sebagai parameter utama dalam proses penentuan rute.



Gambar 23. Titik Lokasi Awal dan Tujuan Pada Jaringan Jalan

Setelah parameter ditetapkan, sistem melakukan perhitungan berdasarkan algoritma pencarian jalur terpendek (*shortest path algorithm*) yang mempertimbangkan panjang ruas jalan sebagai faktor pembobot utama. Hasil analisis menghasilkan rute dengan jarak tempuh paling efisien antara titik asal dan tujuan.



Gambar 24. Proses *shortest path algorithm*

Setelah parameter ditetapkan, sistem melakukan perhitungan berdasarkan algoritma pencarian jalur terpendek (*shortest path algorithm*) yang mempertimbangkan panjang ruas jalan sebagai faktor pembobot utama. Hasil analisis menghasilkan rute dengan jarak tempuh paling efisien antara titik asal dan tujuan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis yang telah dilakukan, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagaimana berikut:

1. Berdasarkan hasil pembobotan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP), parameter jarak dari permukiman merupakan faktor yang paling dominan dan paling berpengaruh dalam penentuan lokasi layak *landfill* limbah industri non-B3 di Kabupaten Karawang, dengan bobot sebesar 35,0%. Dominasi parameter ini menunjukkan bahwa aspek perlindungan kawasan permukiman menjadi pertimbangan utama dalam penentuan lokasi *landfill*. Sedangkan untuk parameter lain, yaitu jarak dari badan air (28,0%) dan penggunaan lahan (25,1%), sedangkan jarak dari jalan (6,1%) dan kemiringan lereng (5,9%) memiliki tingkat pengaruh paling rendah.
2. Berdasarkan analisis spasial menggunakan metode *weighted overlay* dengan pembobotan *Analytical Hierarchy Process* (AHP), lokasi layak *landfill* limbah industri non-B3 di Kabupaten Karawang terbagi ke dalam tiga kelas kesesuaian, yaitu Layak, Cukup Layak, dan Tidak Layak. Hasil analisis menunjukkan bahwa kelas Layak memiliki luasan sebesar 2.618,75 ha, kelas Cukup Layak seluas 99.239,09 ha, dan kelas Tidak Layak seluas 89.681,25 ha. Kelas Layak hanya ditemukan pada beberapa kecamatan, yaitu Kecamatan Ciampel seluas 1.390,62 ha, Pangkalan seluas 800,97 ha, Tegalwaru seluas 208,39 ha, Telukjambe Barat seluas 129,02 ha, Klari seluas 53,12 ha, dan Telukjambe Timur seluas 36,63 ha, yang menunjukkan bahwa ketersediaan lokasi *landfill* yang benar-benar sesuai di Kabupaten Karawang relatif terbatas. Dengan demikian, lokasi layak *landfill* di Kabupaten Karawang telah berhasil diidentifikasi secara spasial berdasarkan kombinasi seluruh parameter yang dianalisis.

3. Rute optimal pengangkutan limbah industri non-B3 menuju lokasi landfill terpilih di Kabupaten Karawang dilakukan menggunakan metode Network Analysis dengan pendekatan shortest path. Hasil analisis menunjukkan bahwa rute optimal ditentukan berdasarkan jarak dan waktu tempuh minimum, sehingga optimal dalam hal efisiensi jarak tempuh dan waktu pengangkutan limbah, dengan rute terpendek berasal dari Kawasan Industri KJIE menuju Kecamatan Telukjambe Barat sejauh 6,2 km dengan waktu tempuh 12 menit, sedangkan rute terpendek dari Kawasan Industri KIIC mencapai 13,6 km dengan waktu tempuh 27 menit, dan dari Kawasan Industri Surya Cipta mencapai 16,5 km dengan waktu tempuh 33 menit. Dengan demikian, rute optimal pengangkutan limbah industri non-B3 di Kabupaten Karawang telah berhasil ditentukan secara efisien dan operasional berdasarkan kriteria jarak dan waktu tempuh minimum.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, penulis memberikan beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan bagi pemerintah daerah maupun penelitian selanjutnya:

1. Mengingat aksesibilitas menjadi salah satu faktor kunci dalam pengangkutan limbah, pemerintah daerah perlu melakukan perbaikan dan pemeliharaan pada ruas-ruas jalan yang dilalui rute menuju Desa Mulyasari, sehingga distribusi limbah dapat berjalan lebih lancar dan efisien.
2. Jika Desa Mulyasari ditetapkan sebagai lokasi *landfill* non-B3, maka diperlukan sistem pengelolaan limbah yang baik, mulai dari pemilahan, pengangkutan, hingga penimbunan, agar tidak menimbulkan dampak negatif di masa mendatang.
3. Penelitian ini masih terbatas pada lima parameter utama. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menambahkan variabel lain seperti kondisi hidrologi, arah angin dominan, dan potensi perkembangan pemukiman, sehingga analisis penentuan lokasi dapat lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- (IESR), I. of E. S. R. (2024). Kebijakan Pengelolaan Limbah B3 dan Non B3 untuk Sektor Industri. *Iesr*. <https://iesr.or.id/wp-content/uploads/2024/08/Kebijakan-Pengelolaan-Limbah-B3-dan-Non-B3-untuk-Sektor-Industri-KLHK.pdf>
- Agustina, N. Iaras. (2019). Direktori Industri Manufaktur Jawa Barat 2023, 1–9.
- Peraturan Daerah Kabupaten Karawang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Karawang, 2013*. 6, 1–5.
- Alfy Nur Auliya Zahra, Ikhwanussafa Sadidan, & Aziz Kemal Fauzie. (2024). Review Pelaksanaan Pengawasan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Karawang Terhadap Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun oleh Kegiatan Industri. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 6(2), 72–80.
- Dewi, N. S., & Widyarsana, I. M. W. (2025). *Analisis Variabel Penentu Keberlanjutan TPA Jalupang Kabupaten Karawang: Perspektif Masyarakat melalui Structural Equation Modeling (SEM)*. 9(September), 188–197. <https://doi.org/10.20885/ajie.vol9.iss3.art4>
- Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Karawang. (2024). Laporan Kinerja Instansi Pemerintah Dinas Lingkungan Hidup Tahun 2024. *Profil Dinas Lingkungan Hidup*, 6, 0–96.
- Fentina, W. (2013). Kajian Pemilihan Lokasi TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) Di Kota Pekanbaru. *Perpustakaan Iniversitas Islam Riau*, 12–26.
- Hablum, M. D., Mulia, A. P., & Hasibuan, G. C. R. (2024). Pemilihan Lokasi TPA Regional untuk Kota Medan dan Kabupaten Deli Serdang. *Jurnal Syntax Admiration*, 5(10), 4459–4472. <https://doi.org/10.46799/jsa.v5i10.1719>

- Handayani R.; Sunardi, D. S. (2005). *Pemanfaatan Analisis Spasial untuk Pengolahan Data Spasial Sistem Informasi Geografi*. https://www.researchgate.net/publication/277175313_Pemanfaatan_Analisis_Spasial_untuk_Pengolahan_Data_Spasial_Sistem_Informasi_Geografi
- Karimi, N., Ng, K. T. W., & Richter, A. (2022). Integrating Geographic Information System network analysis and nighttime light satellite imagery to optimize landfill regionalization on a regional level. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(54), 81492–81504. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21462-w>
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703–726. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>
- Marsudi, R. L. P. (2022). Laporan kinerja KLHK tahun 2022. *Laporan Kinerja Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan*, 53(9), 1689–1699.
- Putri, I. A., Dwi, I., Rini, W. S., Hayati, R. N., Studi, P., Lingkungan, T., & Kalimantan, I. T. (2023). Studi Optimalisasi Rute Pengangkutan Sampah Stationary Container System Berbasis Sistem Informasi Geospasial (SIG) di Kecamatan Balikpapan Timur Optimization of Geospatial Information System-Based Waste Transportation Routes Using Stationary Container Sys. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 5(2), 168–176.
- Rahmat, Z. G., Niri, M. V., Alavi, N., Goudarzi, G., Babaei, A. A., Baboli, Z., & Hosseinzadeh, M. (2017). Landfill site selection using GIS and AHP: a case study: Behbahan, Iran. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(1), 111–118. <https://doi.org/10.1007/s12205-016-0296-9>
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Santanamihardja, G. M., & Handiani, D. N. (2024). Kajian Penentuan Lokasi Penimbunan Akhir (Landfill) Limbah B3 di Kabupaten Karawang. *Jurnal Reka Lingkungan*, 12(2), 104–116. <http://dx.doi.org/10.26760/rekalingkungan.v12i2.104-116>

- Silitonga, Y. F. (2021). *Limbah B3 Tumpah, Jalan Interchange Karawang Sempat Tersendat*. <https://news.detik.com/berita-jawa-barat/d-5755533/limbah-b3-tumpah-jalan-interchange-karawang-sempat-tersendat>
- SUSTANUGRAHA, D. (2013). Aplikasi Sistem Informasi Geografis (Sig) Untuk Penentuan Lokasi Tempat Pembuangan Akhir (Tpa) Sampah Di Wilayah Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman, Dan Kabupaten Bantul (Kartamantul). *Edu Geography*, 4(1).
- Sutrisno, V. L. P., Ayu Setyaningrum, D., Oktaviani, F., Dani Irfanto, F., Anwar Husnandar, K., Fajar Munawaroh, L., Evi Pratama, M., Safitri, N., Putri Nastiti, P., Muna, R., & Dewi Safitri, Y. (2023). Sosialisasi Pembuatan Kerajinan Berbahan Dasar Kantong Kresek Sebagai Upaya Pengurangan Limbah Plastik Rumah Tangga di Desa Ketaon, Boyolali. *DEDIKASI: Community Service Reports*, 5(1), 103–111. <https://doi.org/10.20961/dedikasi.v5i1.68203>
- TechnoGIS. (2023). *Analisis Networking dalam SIG: Memahami Konektivitas Spasial*. TechnoGIS Indonesia. <https://www.technogis.co.id/analisis-networking-dalam-sig-memahami-konektivitas-spasial/>
- Wahyudi, A., Marc Van Meirvenne, L., & Cockx, D. M. (2009). *Mutaqin Geographic Information System and Decision Making for Multi-Criteria Sanitary Landfill Allocation in Bandung Barat Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*. 20(1), 52–65.