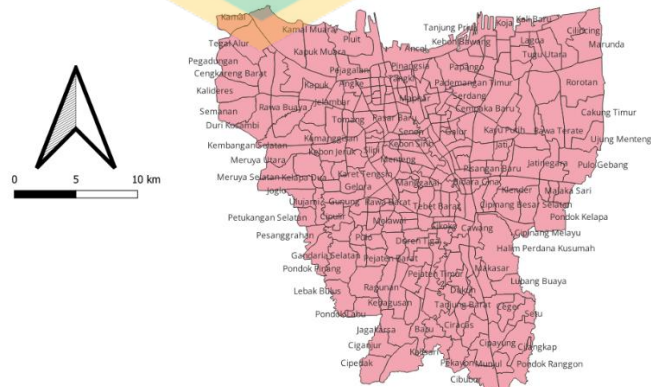


BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelolaan limbah perkotaan merupakan tantangan multidimensi yang dihadapi oleh banyak kota besar di seluruh dunia, terutama di kawasan metropolitan dengan pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi yang tinggi. Urbanisasi yang cepat berkontribusi langsung terhadap peningkatan volume limbah, komposisi limbah yang kompleks, dan tekanan pada sistem pengelolaan limbah. Program Lingkungan PBB (UNEP) dalam Laporan Outlook Pengelolaan Limbah Global 2024 menekankan bahwa peningkatan produksi limbah perkotaan tanpa perencanaan infrastruktur yang memadai berpotensi menimbulkan dampak lingkungan, kesehatan masyarakat, dan ekonomi yang signifikan (UNEP, 2024). Dalam kerangka sistem pengelolaan limbah, keberadaan fasilitas intermediet seperti Tempat Penampungan Limbah Sementara (TPS) memainkan peran strategis. TPS berfungsi sebagai simpul transisi operasional yang memastikan aliran limbah dari sumber ke fasilitas pengolahan atau pemrosesan akhir tetap lancar. Secara konseptual, ketersediaan fasilitas limbah yang proporsional merupakan bagian dari prinsip penyediaan layanan yang adil, di mana distribusi infrastruktur harus mempertimbangkan karakteristik populasi, karakteristik spasial, dan kebutuhan regional (Tchobanoglous & Kreith, 2020).



Gambar 1. 1 Provinsi DKI Jakarta

Provinsi DKI Jakarta, sebagai pusat pemerintahan nasional dan aktivitas ekonomi, memiliki karakteristik perkotaan yang kompleks. Kepadatan penduduk yang tinggi, penggunaan lahan yang beragam, dan heterogenitas spasial antara wilayah administratif menciptakan kebutuhan akan layanan pengelolaan sampah yang tidak seragam. Badan Pusat Statistik (BPS) Jakarta (2024) menunjukkan bahwa distribusi penduduk antara kelurahan bervariasi secara signifikan, yang berdampak pada beban fasilitas umum, termasuk titik pengumpulan sampah (TPS).

Namun, dalam praktiknya, distribusi fasilitas TPS sering dievaluasi berdasarkan jumlah unit fasilitas secara absolut. Pendekatan ini memiliki keterbatasan konseptual karena tidak memperhitungkan tekanan layanan yang timbul akibat perbedaan ukuran populasi. Wilayah dengan jumlah TPS yang sama dapat menghadapi kondisi layanan yang berbeda jika populasi mereka berbeda secara signifikan. Literatur tentang perencanaan fasilitas publik menekankan pentingnya menggunakan indikator berbasis rasio untuk menormalisasi ketersediaan infrastruktur relatif terhadap populasi (Geurs & van Wee, 2021). Kesenjangan antara pendekatan evaluasi absolut dan kebutuhan akan indikator relatif menimbulkan tantangan analitis. Tanpa normalisasi berdasarkan populasi, interpretasi kecukupan fasilitas berpotensi bias dan tidak akurat mencerminkan kondisi layanan sebenarnya. Dalam konteks penelitian ini, indikator yang digunakan adalah rasio TPS per 10.000 penduduk, yang memungkinkan perbandingan proporsional ketersediaan fasilitas antara kelurahan. Selain masalah indikator, penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa masalah distribusi fasilitas perkotaan bersifat spasial dan dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kepadatan penduduk, ukuran wilayah, dan karakteristik geografis (Zhang et al., 2022). Hal ini menegaskan bahwa analisis non-spasial saja tidak cukup untuk memahami secara komprehensif pola distribusi fasilitas.

Dengan perkembangan teknologi analitis, integrasi analisis spasial dan pembelajaran mesin telah menjadi pendekatan yang semakin relevan dalam penelitian Sistem Informasi. Pembelajaran mesin memungkinkan identifikasi

pola kompleks dan hubungan nonlinier antara variabel, sementara analisis spasial memberikan konteks geografis terhadap fenomena yang diteliti (Li, Goodchild, & Xu, 2023). Dalam domain klasifikasi, algoritma berbasis ensambel seperti *Random Forest* dikenal memiliki stabilitas prediksi yang baik dan kemampuan untuk menangani variabel heterogen (Géron, 2022). Namun, penelitian tentang klasifikasi prioritas fasilitas publik sering menghadapi masalah ketidakseimbangan kelas, di mana distribusi kategori target tidak proporsional. Kondisi ini dapat menyebabkan model menjadi bias terhadap kelas mayoritas. Untuk mengatasi hal ini, penelitian ini menggunakan *Balanced Random Forest*, yang dirancang untuk meningkatkan sensitivitas model terhadap kelas minoritas melalui mekanisme resampling internal (López et al., 2021). Penggunaan *Balanced Random Forest* dalam penelitian ini didasarkan pada kebutuhan untuk menghasilkan model klasifikasi yang tangguh, adil antar kelas, dan mampu mewakili variasi kondisi ketersediaan TPS. Pendekatan ini sejalan dengan karakteristik data fasilitas perkotaan, yang umumnya tidak terdistribusi secara merata.

Penelitian ini menggunakan dataset tahun 2024 untuk memastikan relevansi temporal dengan kondisi terkini fasilitas TPS dan distribusi penduduk di Provinsi DKI Jakarta. Unit analisis difokuskan pada tingkat kelurahan, karena tingkat administratif ini mewakili unit layanan publik operasional dalam konteks perencanaan fasilitas. Wilayah Kepulauan Seribu tidak termasuk dalam penelitian ini berdasarkan pertimbangan metodologis, yaitu perbedaan karakteristik geografis, kepadatan penduduk, dan pola layanan sampah yang secara struktural berbeda dengan wilayah daratan. Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan untuk menyediakan pendekatan analitis yang mampu mengukur ketersediaan relatif TPS berdasarkan populasi, mengidentifikasi ketidakmerataan spasial dalam distribusi fasilitas, mengklasifikasikan prioritas tinggi TPS secara objektif berdasarkan data, dan mendukung pengambilan keputusan berdasarkan sistem informasi. Tanpa analisis kuantitatif dan klasifikasi berdasarkan indikator rasio, kebijakan distribusi fasilitas TPS berpotensi kurang terarah, yang dapat berdampak pada penurunan kualitas

layanan pengelolaan sampah, peningkatan risiko lingkungan, dan pengelolaan infrastruktur yang tidak efisien. Berdasarkan konteks ini, penelitian ini bertujuan untuk memetakan dan mengklasifikasikan prioritas tinggi TPS per kelurahan di DKI Jakarta menggunakan analisis spasial dan *Balanced Random Forest*.

1.2 Identifikasi Masalah

Beberapa masalah utama dapat diidentifikasi dalam penelitian ini, yaitu:

1. Perbedaan distribusi TPS antar kelurahan yang belum dievaluasi secara menyeluruh menggunakan indikator relatif berbasis populasi.
2. Potensi ketidakmerataan ketersediaan TPS akibat perbedaan ukuran populasi dan luas wilayah kelurahan.
3. Batasan pendekatan evaluasi absolut, yang tidak mewakili tekanan layanan secara proporsional.
4. Ketidakhadiran klasifikasi prioritas TPS berbasis *machine learning* yang mengintegrasikan variabel demografis dan spasial.
5. Masalah ketidakseimbangan kelas dalam klasifikasi prioritas, yang memerlukan pendekatan algoritmik yang sesuai, seperti *Balanced Random Forest*.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana distribusi rasio TPS per 10.000 penduduk pada tingkat kelurahan di DKI Jakarta (2024)?
2. Bagaimana kinerja *Balanced Random Forest* dalam mengklasifikasikan prioritas TPS (rendah/sedang/tinggi)?
3. Kelurahan mana yang menjadi prioritas intervensi berdasarkan probabilitas model?

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan formulasi masalah yang telah ditetapkan, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis ketersediaan Tempat Penampungan Sampah Sementara (TPS) di tingkat kelurahan di Provinsi DKI Jakarta berdasarkan indikator rasio TPS per 10.000 penduduk dan mengidentifikasi distribusi spasialnya.
2. Menentukan kelas prioritas TPS di tingkat kelurahan menggunakan pendekatan statistik berbasis distribusi kuartil terhadap indikator TPS per 10.000.
3. Mengembangkan dan mengevaluasi model klasifikasi TPS prioritas tinggi menggunakan metode *Balanced Random Forest* berdasarkan variabel jumlah TPS, populasi, luas wilayah (km²), dan rasio TPS.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi pembaca: Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman konseptual dan empiris mengenai evaluasi ketersediaan fasilitas pengelolaan limbah, khususnya Tempat Penampungan Limbah Sementara (TPS), pada tingkat kelurahan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menjadi acuan akademik dalam penerapan analisis spasial dan integrasi *machine learning*, khususnya melalui penggunaan indikator berbasis rasio TPS per 10.000 dan metode *Balanced Random Forest*. Lebih lanjut, penelitian ini diharapkan dapat memperluas wawasan metodologis terkait pendekatan klasifikasi untuk memprioritaskan fasilitas publik berdasarkan data demografis dan karakteristik spasial wilayah.
2. Bagi pemerintah: Penelitian ini bertujuan untuk menyediakan gambaran objektif mengenai tingkat ketersediaan Tempat Penampungan Sampah Sementara (TPS) berdasarkan indikator rasio TPS per 10.000 penduduk pada tingkat kelurahan di Provinsi DKI Jakarta. Selain itu, penelitian ini memberikan informasi terkait klasifikasi prioritas TPS tinggi yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam evaluasi dan perencanaan distribusi fasilitas persampahan. Hasil penelitian juga disajikan dalam bentuk visualisasi spasial berupa peta prioritas TPS guna memudahkan identifikasi

wilayah yang berpotensi mengalami tekanan layanan persampahan. Secara lebih luas, penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan berbasis data (*evidence-based decision making*) dalam pengelolaan infrastruktur layanan kebersihan perkotaan.

3. Bagi penulis: Penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan kompetensi akademik dan teknis penulis dalam pengolahan data spasial, rekayasa fitur, dan pemodelan pembelajaran mesin. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk meningkatkan pemahaman metodologis terkait evaluasi fasilitas publik berdasarkan indikator rasio dan pendekatan klasifikasi. Lebih lanjut, penelitian ini berfungsi sebagai sarana penerapan ilmu Sistem Informasi, khususnya dalam integrasi analitik data, Sistem Informasi Geografis (GIS), dan algoritma *Balanced Random Forest*.

1.6 Batasan Masalah

Untuk memastikan cakupan penelitian ini jelas dan menghindari interpretasi yang tidak relevan, batasan-batasan penelitian berikut ini ditetapkan:

1. Wilayah penelitian dibatasi pada Provinsi DKI Jakarta, dengan unit analisis pada tingkat kelurahan. Wilayah administratif Kepulauan Seribu tidak termasuk dalam penelitian ini karena memiliki karakteristik geografis, kepadatan penduduk, dan sistem pengelolaan sampah yang berbeda dibandingkan dengan daratan DKI Jakarta.
2. Data utama yang digunakan adalah data tahun 2024, yang mencakup data lokasi tempat penampungan sampah sementara (TPS), data populasi, dan data batas administratif kelurahan. Penelitian ini tidak membahas perubahan temporal antar tahun.
3. Variabel yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi:
 - Jumlah TPS per kelurahan
 - Populasi per kelurahan
 - Luas kelurahan (km²)
 - Rasio TPS per 10.000 penduduk

4. Indikator utama yang digunakan untuk mengukur ketersediaan TPS adalah rasio TPS per 10.000 penduduk, yang diperoleh melalui proses *feature engineering*. Penelitian ini tidak menggunakan indikator lain seperti TPS per km² atau indikator berbasis jarak layanan.
5. Penentuan kelas prioritas TPS dilakukan menggunakan pendekatan statistik berbasis distribusi kuartil, sehingga klasifikasi ini relatif terhadap distribusi data pada tahun 2024 dan tidak didasarkan pada ambang batas regulasi absolut.
6. Metode klasifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Balanced Random Forest*. Penelitian ini berfokus pada optimalisasi satu algoritma yang sesuai dengan karakteristik data, bukan pada komparasi multi-model.
7. Analisis spasial dilakukan menggunakan Sistem Informasi Geografis (GIS) untuk memvisualisasikan distribusi rasio ketersediaan TPS dan hasil klasifikasi prioritas. Penelitian ini tidak membahas optimasi lokasi TPS atau analisis jaringan.
8. Penelitian ini berfokus pada klasifikasi TPS prioritas tinggi dan tidak membahas aspek teknis operasional TPS seperti kapasitas volume, frekuensi transportasi, atau manajemen fasilitas internal.