

## ANALISIS HUBUNGAN INDEKS PEMBANGUNAN MANUSIA, JUMLAH PENDUDUK, DAN PEREKONOMIAN TERHADAP TIMBULAN SAMPAH DI SULAWESI UTARA

Brenda Risita Sigar<sup>1</sup>, Daniel Harvey Tulis<sup>2</sup>, Yosia Nico Wijaya<sup>3</sup>, Kindly Anugrah Imanuel Pangauw<sup>4</sup>, Nur Fitri Ramadhani<sup>5</sup>

<sup>1,2,4,5</sup>Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi

<sup>3</sup>Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi

e-mail: [sigarbrenda@unsrat.ac.id](mailto:sigarbrenda@unsrat.ac.id)<sup>1</sup>, [danieltulis@unsrat.ac.id](mailto:danieltulis@unsrat.ac.id)<sup>2</sup>, [kindlypangauw@unsrat.ac.id](mailto:kindlypangauw@unsrat.ac.id)<sup>3</sup>, [nframadhani@unsrat.ac.id](mailto:nframadhani@unsrat.ac.id)<sup>4</sup>, [yosianicowijaya@unsrat.ac.id](mailto:yosianicowijaya@unsrat.ac.id)<sup>5</sup>

### ABSTRAK

Permasalahan timbulan sampah di tingkat kabupaten/kota semakin kompleks seiring meningkatnya aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat. Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan antara karakteristik pembangunan wilayah dan volume timbulan sampah di 15 kabupaten/kota di Provinsi Sulawesi Utara. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif asosiatif dengan data panel periode 2022–2024, yang dianalisis menggunakan regresi *Random Effects* dengan pendekatan *between-effects*. Variabel dependen dalam penelitian ini adalah timbulan sampah, sementara variabel independen terdiri dari Indeks Pembangunan Manusia (IPM), Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) dan Jumlah Penduduk. Hasil analisis menunjukkan bahwa IPM dan Jumlah Penduduk memiliki hubungan positif dan signifikan secara statistik terhadap timbulan sampah antar wilayah, sedangkan PDRB tidak menunjukkan hubungan yang signifikan. Temuan ini menegaskan bahwa daerah dengan tingkat kesejahteraan dan populasi yang lebih tinggi cenderung menghasilkan timbulan sampah yang lebih besar. Namun, pendekatan model antara-wilayah ini tidak dapat menjelaskan perubahan dari waktu ke waktu maupun hubungan kausal secara langsung. Interpretasi hasil bersifat korelasional dan mencerminkan kondisi struktural antar daerah. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam kajian perencanaan wilayah dan kota, khususnya dalam penyusunan kebijakan pengelolaan sampah yang berbasis pada karakteristik sosial-ekonomi wilayah.

**Kata Kunci:** *indeks pembangunan manusia, jumlah penduduk, PDRB, timbulan sampah, sulawesi utara*

### ABSTRACT

Municipal solid waste generation at the regency level has become an increasingly pressing issue, driven by the growth of social and economic activities. This study aims to examine the relationship between regional development factors and the volume of waste produced across 15 regencies in North Sulawesi. Using a quantitative associative framework, the analysis draws on panel data from 2022 to 2024 and is conducted using a Random Effects regression model with a between-effects estimation method. The dependent variable in this study is waste generation, while the independent variables consist of Human Development Index (HDI), Gross Regional Domestic Product (GRDP) and population. The results indicate that both HDI and population are positively and significantly associated with waste generation across regions, whereas Gross Regional Domestic Product shows no statistically significant relationship. These findings suggest that regions with higher levels of welfare and larger populations tend to generate more waste. However, the between-effects approach is limited, as it reflects only cross-sectional variation and does not account for temporal dynamics or support direct conclusions about causality. As such, the interpretations are correlational, reflecting structural differences across

regions rather than dynamic developments. This study provides meaningful insights for urban and regional planning, particularly in guiding the development of waste management policies that align with the socio-economic conditions of each region.

**Keywords:** *human development index, population, gross regional domestic product, waste generation, north sulawesi*

## **PENDAHULUAN**

Provinsi Sulawesi Utara menunjukkan tren peningkatan pembangunan manusia yang ditandai oleh pertumbuhan Indeks Pembangunan Manusia (IPM) dan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB). Namun, capaian tersebut belum tersebar merata di seluruh kabupaten/kota. Ketimpangan pembangunan antarwilayah di provinsi ini berkorelasi dengan dinamika jumlah penduduk serta aktivitas ekonomi, yang berpotensi menciptakan tekanan tambahan terhadap layanan lingkungan, termasuk pengelolaan sampah (BPS Sulawesi Utara, 2024; Bappeda Sulawesi Utara, 2021). Studi sebelumnya telah mengindikasikan adanya hubungan signifikan antara dinamika pembangunan sosial-ekonomi dan permasalahan lingkungan di wilayah perkotaan Indonesia (Elyasa, 2019; Ilham, 2021), sehingga relevan untuk menelaah keterkaitan serupa dalam konteks kabupaten/kota di Sulawesi Utara.

Pertumbuhan jumlah penduduk di wilayah perkotaan berdampak terhadap meningkatnya volume sampah yang dihasilkan masyarakat. Dengan meningkatnya aktivitas konsumsi dan penggunaan sumberdaya di wilayah padat penduduk, volume timbulan sampah cenderung meningkat (Lavany & Chandra, 2022; Litriani, 2021). Hubungan antara jumlah penduduk dan permasalahan persampahan juga tercermin dalam berbagai studi perkotaan yang menemukan pola korelatif positif antara pertumbuhan demografis dan tekanan terhadap sistem pengelolaan sampah (Azatri *et al.*, 2024). Oleh karena itu, pertumbuhan jumlah penduduk di kabupaten/kota Sulawesi Utara dapat menjadi salah satu variabel penting dalam memahami kecenderungan timbulan sampah.

Indeks Pembangunan Manusia dan PDRB seringkali dikaitkan dengan peningkatan konsumsi masyarakat yang pada akhirnya berimplikasi terhadap timbulan sampah domestik. Beberapa studi menyebutkan bahwa wilayah dengan IPM dan PDRB tinggi cenderung memiliki volume sampah lebih besar karena tingkat kesejahteraan dan daya beli yang lebih tinggi (Elyasa, 2019; Yanto *et al.*, 2023). Namun, hubungan ini tidak selalu linear dan dapat bervariasi antarwilayah. Lavany & Chandra (2022) menekankan bahwa dalam beberapa konteks, peningkatan PDRB tidak selalu diikuti dengan peningkatan timbulan sampah, tergantung pada pola konsumsi dan infrastruktur pengelolaan lingkungan yang tersedia. Oleh karena itu, kajian empiris berbasis data panel kabupaten/kota menjadi penting untuk memetakan pola hubungan yang lebih akurat.

Studi mengenai pengelolaan sampah di Indonesia umumnya masih berfokus pada aspek teknis atau perilaku individual, sementara pendekatan kuantitatif untuk mengkaji hubungan antara indikator sosial-ekonomi dan timbulan sampah masih terbatas, terutama pada level kabupaten/kota (Putra *et al.*, 2019; Setiawan *et al.*, 2022). Padahal, pendekatan asosiasi berbasis data panel dapat memberikan informasi yang lebih kaya mengenai variasi antarwilayah dan implikasinya terhadap tata kelola lingkungan. Oleh sebab itu, riset ini dilakukan untuk menjawab kesenjangan pengetahuan di level regional dan memberi kontribusi bagi basis data perencanaan pembangunan berkelanjutan di Sulawesi Utara.

Mengetahui adanya keterkaitan antara indikator makro pembangunan dan timbulan sampah sangat penting dalam konteks perencanaan kota dan kebijakan lingkungan. Pemerintah daerah perlu merumuskan strategi pengelolaan sampah yang adaptif, berbasis bukti, dan disesuaikan dengan karakteristik pembangunan wilayah masing-masing (Kementerian LHK, Copyright (c) 2025 CENDEKIA : Jurnal Ilmu Pengetahuan

2022; Bappenas, 2021). Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan dalam pengembangan kebijakan pengelolaan sampah regional yang lebih responsif terhadap dinamika sosial dan ekonomi daerah, khususnya di Sulawesi Utara (Azatri *et al.*, 2024).

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan data sekunder kuantitatif yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Sulawesi Utara, BPS kabupaten/kota, serta Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Data yang dikumpulkan mencakup variabel timbulan sampah (dalam ton per tahun), jumlah penduduk (jiwa), nilai PDRB atas dasar harga berlaku (miliar rupiah), dan Indeks Pembangunan Manusia (IPM) setiap kabupaten/kota. Metode pengambilan data dilakukan secara dokumentasi, yaitu mengakses publikasi tahunan seperti Sulawesi Utara dalam Angka dan laporan statistik timbulan sampah dalam Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (BPS Sulawesi Utara, 2024; Kementerian LHK, 2024). Jenis data yang digunakan merupakan data *time series* dan data lintas wilayah (*cross section*), sehingga membentuk data panel. Penggunaan data panel ini memperkuat validitas analisis dengan menangkap dimensi temporal dan spasial secara bersamaan (Gujarati & Porter, 2009; Baltagi, 2021). Kelebihan data panel juga mencakup peningkatan derajat kebebasan, efisiensi estimasi parameter, dan kemampuan mengontrol heterogenitas individual yang tidak terobservasi (Hsiao, 2014).

Teknik analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah regresi data panel, yaitu pendekatan statistik yang mengombinasikan data lintas wilayah (*cross-section*) dan waktu (*time series*) secara simultan, untuk menangkap variasi antarunit analisis (kabupaten/kota) dan perubahan antar waktu (tahun). Model regresi panel dipilih karena memiliki keunggulan dalam mengontrol heterogenitas individual yang tidak teramati (*unobserved heterogeneity*) serta mampu meningkatkan efisiensi estimasi parameter (Baltagi, 2021; Hsiao, 2014). Terdapat tiga spesifikasi utama dalam regresi panel, yaitu *Common Effect Model (CEM)*, *Fixed Effect Model (FEM)*, dan *Random Effect Model (REM)*. Dalam penelitian ini, pemilihan model terbaik dilakukan secara eksklusif menggunakan uji Hausman, yang menguji konsistensi antara model FEM dan REM dengan mendeteksi adanya korelasi antara efek individual dan variabel independen (Gujarati & Porter, 2009; Widarjono, 2020).

Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak STATA 17, yang memiliki kapabilitas kuat dalam mengelola data panel, melakukan estimasi regresi multivariabel, dan menguji spesifikasi model secara efisien (Rabe-Hesketh & Skrondal, 2022). Karena fokus utama penelitian ini adalah menguji hubungan asosiatif antarvariabel dalam konteks panel data, maka pengujian asumsi klasik tidak dilakukan, sesuai dengan beberapa studi terdahulu yang mengandalkan spesifikasi model berbasis data panel dengan fokus pada perbedaan efek tetap dan acak (Suparman & Muzakir, 2023; Fauzi *et al.*, 2025). Dengan metode ini, diharapkan diperoleh gambaran empiris yang akurat mengenai asosiasi antara dinamika pembangunan wilayah dan timbulan sampah di daerah penelitian.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Hasil**

Statistik deskriptif terlebih dahulu digunakan untuk menyajikan ringkasan umum mengenai karakteristik data yang dianalisis dalam penelitian ini. Tabel 1 menyajikan informasi mengenai nilai rata-rata, standar deviasi, nilai minimum, dan maksimum dari variabel-variabel utama, baik dalam bentuk asli maupun yang telah ditransformasikan ke dalam bentuk logaritmik natural. Data mencakup 45 observasi yang merepresentasikan 15 kabupaten/kota di Provinsi Sulawesi Utara selama periode tiga tahun (2022–2024).

**Tabel 1. Hasil Statistik Deskriptif**

| Variabel                    | Satuan        | Rata-rata | Standar Deviasi | Minimum   | Maksimum   |
|-----------------------------|---------------|-----------|-----------------|-----------|------------|
| <b>Jumlah Penduduk</b>      | Jiwa          | 178.731   | 111.369         | 71.481    | 460.430    |
| <b>PDRB</b>                 | Miliar Rupiah | 11.520,37 | 12.164,72       | 2.503,52  | 53.015,01  |
| <b>IPM</b>                  | Skor (0–100)  | 72,99     | 4,12            | 65,90     | 80,63      |
| <b>Timbulan Sampah</b>      | Ton/tahun     | 33.587,14 | 26.069,42       | 10.530,40 | 106.288,40 |
| <b>lnPDRB</b>               | Log natural   | 8,94      | 0,88            | 7,83      | 10,88      |
| <b>lnPenduduk</b>           | Log natural   | 11,92     | 0,58            | 11,18     | 13,04      |
| <b>lnSampah</b>             | Log natural   | 10,17     | 0,71            | 9,26      | 11,57      |
| <b>Rata-rata IPM</b>        | Skor (0–100)  | 72,99     | 4,09            | 66,48     | 80,14      |
| <b>Rata-rata lnPDRB</b>     | Log natural   | 8,94      | 0,88            | 7,91      | 10,79      |
| <b>Rata-rata lnPenduduk</b> | Log natural   | 11,92     | 0,58            | 11,19     | 13,03      |

Hasil statistik deskriptif menunjukkan adanya variasi yang cukup besar antar wilayah, terutama dalam hal jumlah penduduk, PDRB, dan timbulan sampah. Tingginya standar deviasi pada variabel-variabel ini mengindikasikan adanya disparitas struktural antar daerah yang relevan untuk dianalisis lebih lanjut. Transformasi logaritmik terhadap variabel-variabel tertentu (lnPDRB, lnPenduduk, dan lnSampah) dilakukan guna menormalkan distribusi dan mengurangi potensi *outlier* ekstrem yang dapat memengaruhi hasil regresi. Rata-rata antar wilayah yang juga ditampilkan dalam tabel digunakan untuk mendukung pendekatan *Random Effects (between-effects model)* yang menjadi dasar model analitis dalam penelitian ini.

Pemilihan model regresi dalam studi ini didasarkan pada hasil uji Hausman, yang digunakan untuk menentukan apakah model *Fixed Effects (FE)* atau *Random Effects (RE)* lebih tepat digunakan dalam konteks data panel yang tersedia. Hasil uji menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan antara estimasi FE dan RE, yang secara teknis menandakan bahwa model RE standar berpotensi menghasilkan estimasi yang tidak konsisten akibat adanya korelasi antara efek individual dan variabel independen (Gujarati & Porter, 2009; Widarjono, 2020). Di sisi lain, model FE yang secara teoritis dapat menangani isu tersebut, dalam konteks penelitian ini justru tidak mampu mengekstraksi hasil yang representatif karena keterbatasan variasi dalam dimensi waktu dan hilangnya efek rata-rata antarwilayah. Kondisi ini menyebabkan kedua model tersebut—baik RE maupun FE—tidak ideal secara praktis maupun substantif untuk menjawab tujuan analisis.

Sebagai solusi, digunakan pendekatan alternatif berupa *Random Effects Between-Effects Model*, yang berfokus pada perbedaan rata-rata antarunit analisis selama periode pengamatan (Baltagi, 2021; Hsiao, 2014). Model ini menghindari kompleksitas struktur *error* RE konvensional yang tidak memenuhi asumsi orthogonalitas, sekaligus mempertahankan keunggulan RE dalam memanfaatkan variasi antar entitas. Dengan demikian, pendekatan ini memberikan estimasi yang lebih stabil dan interpretatif terhadap hubungan asosiatif antarwilayah, tanpa mengorbankan integritas metodologis. Keputusan ini juga sesuai dengan pendekatan dalam studi regional dan pembangunan yang menekankan karakteristik struktural antar daerah dibandingkan dinamika dalam daerah (Rabe-Hesketh & Skrondal, 2022; Yang & Gu, 2023). Berikut adalah hasil pengujian hipotesis dengan pendekatan ini:

**Tabel 2. Hasil Uji Hipotesis**

| Variabel Independen         | Koefisien | Std. Error | p-value | Signifikansi             |
|-----------------------------|-----------|------------|---------|--------------------------|
| <b>Rata-rata IPM</b>        | 0.0279    | 0.0129     | 0.030   | Signifikan               |
| <b>Rata-rata lnPDRB</b>     | 0.1217    | 0.1582     | 0.442   | Tidak signifikan         |
| <b>Rata-rata lnPenduduk</b> | 0.8934    | 0.2289     | 0.000   | <b>Sangat signifikan</b> |
| <b>Konstanta</b>            | -3.6162   | 1.6322     | 0.027   | Signifikan               |

Transformasi data ke dalam bentuk logaritma natural (ln) dan penggunaan rata-rata antar waktu (*mean*) merupakan langkah penting dalam model regresi data panel, khususnya dengan pendekatan *Between-Effects Random Effects Model*. Transformasi logaritmik diterapkan pada variabel PDRB dan jumlah penduduk untuk mengatasi masalah *skewness* dan heteroskedastisitas yang umum terjadi pada data berskala besar dan bersifat agregat. Selain itu, transformasi ini juga memungkinkan interpretasi koefisien sebagai elastisitas, yaitu persentase perubahan pada variabel dependen akibat perubahan satu persen pada variabel independen (Wooldridge, 2019; Baltagi, 2021). Penggunaan log juga membantu memperkecil pengaruh *outlier* dan membuat distribusi data lebih mendekati normal, yang penting dalam regresi linier (Gujarati & Porter, 2010).

Sementara itu, pengambilan rata-rata antar waktu dari masing-masing variabel untuk setiap entitas (kabupaten/kota) dilakukan karena pendekatan *Between-Effects* hanya memanfaatkan variasi antar unit *cross-section*, bukan variasi temporal dalam unit yang sama. Dengan demikian, nilai-nilai data diubah menjadi nilai tengah (*mean*) selama periode pengamatan agar model hanya menangkap hubungan struktural antara wilayah tanpa dipengaruhi oleh fluktuasi waktu (Torres-Reyna, 2007). Pendekatan ini sejalan dengan sifat penelitian yang berfokus pada asosiasi antar wilayah, bukan dinamika dalam satu wilayah dari waktu ke waktu. Transformasi ini juga menghindarkan bias estimasi akibat *unobserved heterogeneity* yang bersifat konstan dalam waktu, namun berbeda antar wilayah (Hsiao, 2014).

Berdasarkan hasil analisis regresi panel dengan spesifikasi *Random Effects Between-Effects Model*, ditemukan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara beberapa variabel independen dan timbulan sampah antarwilayah kabupaten/kota di Provinsi Sulawesi Utara selama periode 2022–2024. Model ini menggunakan nilai rata-rata (*mean*) masing-masing variabel untuk tiap wilayah, sehingga fokus analisis diarahkan pada variasi antar daerah, bukan perubahan dalam satu daerah dari waktu ke waktu. Hasil estimasi menunjukkan bahwa Indeks Pembangunan Manusia (IPM) dan jumlah penduduk memiliki hubungan yang signifikan secara statistik dengan volume timbulan sampah, sementara PDRB tidak menunjukkan signifikansi dalam model ini.

Secara spesifik, variabel rata-rata IPM menunjukkan koefisien positif sebesar 0,0279 dan signifikan pada taraf 5% ( $p = 0,030$ ). Hal ini menunjukkan bahwa wilayah-wilayah dengan nilai IPM yang lebih tinggi cenderung menghasilkan volume timbulan sampah yang lebih besar. Interpretasi ini dapat dikaitkan dengan fakta bahwa meningkatnya IPM biasanya bersamaan dengan meningkatnya konsumsi rumah tangga dan tingkat urbanisasi, yang pada akhirnya dapat berkontribusi terhadap peningkatan produksi sampah (Ramadhantie, Ramadhan, & Hasibuan, 2021; Nufus & Husein, 2024). Temuan ini menguatkan pemahaman bahwa dimensi sosial dan kesejahteraan wilayah berasosiasi erat dengan tantangan pengelolaan sampah di tingkat lokal.

Sementara itu, variabel rata-rata logaritma PDRB (lnPDRB) tidak berpengaruh signifikan terhadap timbulan sampah, dengan nilai  $p$  sebesar 0,442. Ini menunjukkan bahwa variasi ekonomi antarwilayah, yang tercermin dari PDRB rata-rata, tidak secara statistik menjelaskan perbedaan timbulan sampah antar daerah dalam studi ini. Temuan ini sejalan dengan beberapa studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa PDRB tidak selalu menjadi prediktor yang kuat untuk timbulan sampah, terutama jika konsumsi tidak terdistribusi secara



merata atau jika terdapat perbedaan struktur ekonomi antar wilayah (Khairunnisak & Sirait, 2021; Djuraidah et al, 2023). Oleh karena itu, keterkaitan antara PDRB dan timbulan sampah tampaknya tidak bersifat linier atau universal.

Variabel yang paling kuat pengaruhnya adalah rata-rata jumlah penduduk ( $\ln \text{Penduduk}$ ), yang memiliki koefisien sebesar 0,8934 dan signifikan pada taraf 1% ( $p < 0,001$ ). Temuan ini menegaskan bahwa wilayah dengan jumlah penduduk yang lebih besar cenderung menghasilkan timbulan sampah yang lebih tinggi pula. Hubungan ini bersifat logis dan telah banyak dilaporkan dalam literatur terdahulu, bahwa kepadatan populasi dan skala permukiman sangat erat kaitannya dengan volume sampah yang dihasilkan (Siami et al, 2019; Setiawan et al, 2022; Nurrobi, 2022). Oleh karena itu, pertumbuhan penduduk tetap menjadi salah satu indikator struktural yang paling penting dalam memetakan tekanan lingkungan terhadap sistem pengelolaan sampah lokal.

Secara keseluruhan, nilai rho sebesar 0,967 menunjukkan bahwa sebagian besar variasi dalam timbulan sampah dijelaskan oleh perbedaan antar wilayah, bukan oleh variasi dalam satu wilayah dari waktu ke waktu. Hal ini menegaskan bahwa model *between-effects* lebih cocok digunakan untuk menjelaskan karakteristik struktural yang membedakan satu daerah dari daerah lainnya. Namun demikian, model ini memiliki keterbatasan, karena tidak mengontrol variabel tetap dalam suatu wilayah (*fixed effects*), serta tidak menangkap dinamika temporal, sehingga hasil yang diperoleh hanya dapat diinterpretasikan secara asosiatif dan deskriptif, bukan kausal. Oleh karena itu, hasil ini lebih tepat digunakan untuk memahami pola keterkaitan antar wilayah, bukan untuk merumuskan hubungan sebab-akibat.

## **Pembahasan**

Hubungan positif dan signifikan antara IPM dan timbulan sampah menunjukkan adanya dinamika yang perlu dicermati dalam perencanaan wilayah: bahwa peningkatan kualitas hidup penduduk yang dicerminkan melalui dimensi pendidikan, kesehatan, dan daya beli, ternyata beriringan dengan tekanan ekologis dalam bentuk peningkatan produksi limbah. Hal ini menegaskan bahwa wilayah dengan pembangunan manusia yang lebih maju cenderung mengalami intensifikasi aktivitas konsumtif, urbanisasi, serta perubahan pola hidup yang mendukung peningkatan timbulan sampah rumah tangga (Kaza et al, 2021; Miftahadi et al, 2024). Dalam konteks perencanaan kota, temuan ini menunjukkan bahwa strategi pembangunan wilayah tidak dapat hanya bertumpu pada pencapaian indikator kesejahteraan tanpa diimbangi dengan desain kebijakan pengelolaan sampah yang adaptif dan terintegrasi dalam rencana tata ruang.

Adanya hubungan signifikan antara jumlah penduduk dan timbulan sampah semakin menegaskan pentingnya integrasi dimensi demografi dalam perencanaan infrastruktur dan layanan kota. Dalam studi-studi terdahulu, pertumbuhan penduduk yang tidak disertai peningkatan kapasitas sistem pengelolaan sampah telah diidentifikasi sebagai pemicu utama krisis pengelolaan sampah di kota-kota berkembang (Prajati et al, 2015; Nanda & Berruti, 2020). Dalam kerangka perencanaan wilayah, hal ini menegaskan bahwa proyeksi kepadatan penduduk dan sebarannya harus dijadikan dasar perencanaan sistem persampahan, termasuk dalam penentuan lokasi TPS/TPA, kapasitas pengumpulan, serta mekanisme pengangkutan yang efisien. Selain itu, temuan ini menekankan perlunya memasukkan aspek lingkungan sebagai bagian penting dalam penyusunan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) dan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD).

Sebaliknya, hasil yang menunjukkan tidak signifikkannya hubungan antara PDRB rata-rata dengan timbulan sampah menyoroti kompleksitas hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan tekanan lingkungan. Meskipun beberapa literatur mengindikasikan bahwa pertumbuhan

ekonomi identik dengan peningkatan konsumsi dan sampah (Chen *et al.*, 2020), hasil studi ini menunjukkan bahwa struktur PDRB belum tentu tercermin langsung pada volume timbulan sampah yang dihasilkan. Dalam konteks perencanaan wilayah, hal ini membuka peluang untuk mengevaluasi kembali model ekonomi daerah: apakah pertumbuhan lebih banyak ditopang oleh sektor-sektor yang berorientasi ekspor atau konsumsi lokal, dan sejauh mana sektor informal atau perdagangan skala kecil berperan dalam timbulan sampah (Harfadli *et al.*, 2024). Dengan demikian, perencanaan ekonomi wilayah perlu disejajarkan dengan analisis spasial-ekologis agar mampu memitigasi dampak lingkungan dari pertumbuhan yang tidak inklusif secara ekosistem.

Secara keseluruhan, pola asosiasi yang ditemukan menunjukkan pentingnya pergeseran paradigma dalam perencanaan kota dari yang bersifat sektoral dan reaktif menjadi holistik dan proaktif. Pendekatan perencanaan ekologis, sebagaimana ditekankan dalam konsep *Green Urbanism* dan *Circular City Planning*, menjadi semakin relevan untuk mengantisipasi lonjakan timbulan sampah akibat dinamika struktural wilayah (Beatley, 2012; Williams, 2021). Perencanaan spasial harus menyelaraskan tujuan pembangunan manusia dengan efisiensi ekologi melalui penguatan sistem pengelolaan sampah berbasis komunitas, pelibatan masyarakat dalam melakukan daur ulang, serta insentif terhadap desain permukiman ramah lingkungan. Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar argumentatif bagi pengambil kebijakan dalam mengintegrasikan indikator sosial, demografi, dan ekonomi secara spasial dalam perencanaan sistem persampahan daerah.

## **KESIMPULAN**

Penelitian ini memiliki beberapa batasan yang perlu diperhatikan. Pertama, metode yang digunakan hanya melihat perbedaan rata-rata antar daerah selama beberapa tahun, bukan perubahan dalam satu daerah dari waktu ke waktu sehingga hasilnya tidak bisa menjelaskan bagaimana kondisi suatu daerah berubah dari tahun ke tahun. Kedua, penelitian ini tidak bisa menangkap semua hal yang mungkin memengaruhi timbulan sampah, seperti kebijakan lokal atau karakter khusus dari masing-masing daerah yang tidak dimasukkan ke dalam data. Hal yang paling penting, penelitian ini tidak bertujuan untuk membuktikan hubungan sebab-akibat, melainkan hanya melihat apakah ada hubungan atau keterkaitan antara variabel-variabel seperti IPM, PDRB, dan jumlah penduduk dengan timbulan sampah sehingga meskipun ditemukan hubungan yang signifikan, studi ini tidak bisa menyimpulkan bahwa satu variabel secara langsung menyebabkan perubahan pada variabel lainnya.

Untuk penelitian lanjutan, sebaiknya menggunakan metode yang bisa melihat perubahan dalam satu daerah dari waktu ke waktu, agar bisa memahami lebih dalam hubungan antara variabel. Penelitian lanjutan juga bisa mencoba pendekatan yang bisa menunjukkan hubungan sebab-akibat secara lebih meyakinkan, misalnya dengan membandingkan daerah-daerah yang mengalami perubahan tertentu atau menggunakan data yang lebih detail. Sementara bagi para pembuat kebijakan, hasil penelitian ini bisa dijadikan gambaran awal bahwa daerah dengan kualitas hidup yang lebih baik (IPM tinggi) dan jumlah penduduk yang lebih besar cenderung menghasilkan lebih banyak sampah. Namun, karena sifatnya hanya menunjukkan keterkaitan, maka hasil ini sebaiknya tidak langsung dijadikan dasar kebijakan, tanpa mempertimbangkan kajian lanjutan yang lebih mendalam. Untuk merancang kebijakan yang tepat, tetap dibutuhkan data tambahan dan penelitian lebih lanjut yang mempertimbangkan banyak aspek secara menyeluruh.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Azatri, V., et al. (2024). Analisis proyeksi pertumbuhan penduduk, timbulan sampah dan kebutuhan fasilitas pengelolaan sampah di Bukittinggi Kota Wisata pada tahun 2024-2028. *Ensiklopedia of Journal*, 6(4), 102-109. <https://jurnal.ensiklopediaiku.org/ojs-2.4.8-3/index.php/ensiklopedia/article/view/2417>
- Baltagi, B. H. (2021). *Econometric analysis of panel data* (6th ed.). Springer.
- Bappeda Provinsi Sulawesi Utara. (2021). *Rencana pembangunan jangka menengah daerah (RPJMD) Provinsi Sulawesi Utara 2021–2026*.
- Bappenas. (2021). *Kajian pengelolaan sampah berbasis wilayah*. Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional.
- Beatley, T. (2012). *Green urbanism: Learning from European cities*. Island Press.
- BPS Provinsi Sulawesi Utara. (2024). *Sulawesi Utara dalam angka 2023*.
- Chen, D. M.-C., et al. (2020). The world's growing municipal solid waste: Trends and impacts. *Environmental Research Letters*, 15(7), 074021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8659>
- Djuraidah, A., et al. (2024). Identifying factors affecting waste generation in West Java in 2021 using spatial regression. *Jurnal Teori dan Aplikasi Matematika*, 8(2), 651. <https://doi.org/10.31764/jtam.v8i2.19664>
- Elyasa, M. D. (2019). Analisis pengaruh nilai IPM dan jumlah penduduk terhadap timbunan sampah di TPA se-Provinsi Kepulauan Bangka Belitung: Sebuah studi pendahuluan. *Jurnal Green Growth Dan Manajemen Lingkungan*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.21009/jgg.081.01>
- Fauzi, A., et al. (2025). Pengaruh kependudukan, perekonomian regional, dan pembangunan manusia terhadap lingkungan: Panel data analysis—tantangan dan peluang untuk pembangunan kota berkelanjutan. *Diponegoro Journal of Economics*, 14(1), 53–65. <https://doi.org/10.14710/djoe.50691>
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic econometrics* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). *Essentials of econometrics* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Harfadli, M. M., et al. (2024). Understanding the informal waste sector for sustainable waste management using the pressure–state–response framework: A case study in Balikpapan, Indonesia. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 27(2), 761–776. <https://doi.org/10.1007/s10163-024-02079-2>
- Hsiao, C. (2014). *Analysis of panel data* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- Ilham, M. I. (2021). Economic development and environmental degradation in Indonesia: Panel data analysis of 31 provinces (2011–2019). *Jurnal Ekonomi & Studi Pembangunan*, 22(2), 145-162. <https://doi.org/10.18196/jesp.v22i2.7629>
- Kaza, S., et al. (2021). *More growth, less garbage: Decoupling economic growth and municipal solid waste generation through circular economy policies*. World Bank. <https://hdl.handle.net/10986/35998>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2022). *Status lingkungan hidup Indonesia 2022*. KLHK.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2024). *Data timbulan sampah nasional tahun 2022-2024*. Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). <https://sipsn.menlhk.go.id/>
- Khairunnisak, L., & Sirait, T. (2021). Determinan jumlah limbah kota yang dihasilkan dari sembilan negara ekonomi berkembang di Asia tahun 2010–2017. *Seminar Nasional*



- Official Statistics, 2020(1), 407–417.  
<https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2020i1.375>
- Lavany, M. Q. A., & Ananda, C. F. (2022). Pengaruh PDRB per kapita, kepadatan penduduk, tingkat pendidikan, dan belanja lingkungan hidup terhadap timbulan sampah di Pulau Jawa tahun 2010–2019. *Journal of Development, Economic and Social Studies*, 1(4), 85–102. <https://doi.org/10.21776/jdess.2022.01.4.08>
- Litriani, E. (2021). Korelasi pertumbuhan ekonomi dan Indeks Pembangunan Manusia di Indonesia. *Jurnal Ilmu Ekonomi dan Sosial*, 10(1), 80-87. <https://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/jies/article/view/12199>
- Miftahadi, M. F., et al. (2024). Optimizing Indonesian municipal solid waste collection scenarios: A multi-objective simulation. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 26(4), 1569–1587. <https://doi.org/10.1007/s10163-024-01910-0>
- Nanda, S., & Berruti, F. (2021). Municipal solid waste management and landfilling technologies: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(2), 1433–1456. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01100-y>
- Nufus, J., & Husein, R. (2024). Pengaruh PDB, jumlah penduduk, dan Indeks Pembangunan Manusia terhadap kemiskinan di kabupaten/kota di Provinsi Aceh. *Jurnal Ekonomika Indonesia*. <https://ojs.unimal.ac.id/index.php/ekonomika/article/view/4507>
- Nurrobi, A. M. (2022). Analysis of the effect of population on the amount of waste in Jakarta. *Journal of Humanity Studies*, 1(2), 107-116. <http://dx.doi.org/10.22202/jhs.2022.v1i2.6408>
- Prajati, G., et al. (2015). Pengaruh faktor-faktor ekonomi dan kependudukan terhadap timbulan sampah di ibu kota provinsi Jawa dan Sumatera. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 21(1), 5–17. <https://doi.org/10.5614/jtl.2015.21.1.5>
- Putra, H. P., et al. (2019). Sektor baru pengelolaan sampah di Indonesia (studi kasus Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman, dan Bantul). *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 11(1), 16-30. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol11.iss1.art2>
- Rabe-Hesketh, S., & Skrondal, A. (2022). *Multilevel and longitudinal modeling using Stata* (4th ed.). Stata Press.
- Ramadhantie, S. S., et al. (2021). Pengaruh Indeks Pembangunan Manusia terhadap Indeks Kualitas Lingkungan Hidup di Indonesia menggunakan regresi data panel. *Ekologia: Jurnal Ilmiah Ilmu Dasar dan Lingkungan Hidup*, 21(1), 35–43. <https://journal.unpak.ac.id/index.php/ekologia/article/view/3615>
- Setiawan, Y., et al. (2022). Analisis timbulan dan komposisi sampah perumahan Kecamatan Muara Badak dihubungkan dengan tingkat pendidikan, pendapatan, dan perilaku masyarakat. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 6(1), 53-57. <http://dx.doi.org/10.30872/jtlunmul.v6i1.8478>
- Siami, S., et al. (2019). Municipal solid waste quantification and characterization in Banyuwangi, Indonesia. *Urban and Environmental Technology*, 2(2), 189–200. <https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v2i2.4359>
- Suparman, S., & Muzakir, M. (2023). Regional inequality, human capital, unemployment, and economic growth in Indonesia: Panel regression approach. *Cogent Economics & Finance*, 11(2), 2251803. <https://doi.org/10.1080/23322039.2023.2251803>
- Torres-Reyna, O. (2007). *Panel data analysis fixed and random effects using Stata*. Data & Statistical Services, Princeton University.
- Widarjono, A. (2020). *Ekonometrika: Teori dan aplikasi untuk ekonomi dan bisnis* (4th ed.). UPP STIM YKPN.

- Williams, J. (2021). *Circular cities: A revolution in urban sustainability* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429490613>
- Wooldridge, J. M. (2019). *Introductory econometrics: A modern approach* (7th ed.). Cengage Learning.
- Yanto, H., et al. (2023). The effect of economic growth, Human Development Index and Environmental Quality Index on Sustainable Development Goals: Study in Indonesia. In *Proceedings of the 5th International Conference on Economics, Business and Economic Education Science (ICE-BEES 2022)* (pp. 1–10). EAI. <https://doi.org/10.4108/eai.9-8-2022.2338636>
- Yang, T., & Gu, G. (2023). Spatial–temporal evolution and driving factors of China’s high-quality economic development. *Sustainability*, 15(23), 16308. <https://doi.org/10.3390/su152316308>