

ANALISIS FAKTOR-FAKTOR YANG MEMENGARUHI TIMBULAN SAMPAH PER KAPITA KABUPATEN/KOTA DI INDONESIA MENGGUNAKAN PENDEKATAN REGRESI KUANTIL

Silvia^{1*}, Ika Nur Laily Fitriana²

^{1,2}Program Studi Statistika, Universitas Terbuka, Tangerang Selatan, Indonesia

*Penulis korespondensi: viasilvia7777777@gmail.com

ABSTRAK

Pertumbuhan penduduk, urbanisasi, dan peningkatan aktivitas ekonomi menjadikan timbulan sampah sebagai persoalan lingkungan yang semakin kompleks di Indonesia. Penelitian ini menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi timbulan sampah per kapita kabupaten/kota di Indonesia dengan pendekatan regresi kuantil. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) dan Badan Pusat Statistik (BPS) selama periode 2020-2025. Sampel penelitian mencakup 85 kabupaten/kota yang diambil dengan teknik *purposive sampling* dengan kriteria memiliki data lengkap selama periode pengamatan, sehingga diperoleh 510 observasi. Data yang semula berbentuk panel diperlakukan sebagai *pooled data* pada proses pemodelan regresi kuantil, dengan total sampel sebanyak 85 kabupaten/kota sehingga diperoleh sebanyak 510 observasi. Variabel independen yang dianalisis meliputi pengeluaran per kapita, kepadatan penduduk, laju pertumbuhan PDRB, serta variabel *dummy* untuk merepresentasikan status wilayah (kabupaten/kota) dan tahun pengamatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengeluaran per kapita dan status wilayah berpengaruh positif dan signifikan terhadap timbulan sampah per kapita di seluruh kuantil yang dianalisis. Kepadatan penduduk memiliki pengaruh positif serta signifikan pada kuantil 0,25 dan 0,50, tetapi tidak lagi signifikan pada kuantil 0,75. Laju pertumbuhan PDRB tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan pada seluruh kuantil yang dianalisis. Variabel *dummy* tahun hanya signifikan pada kuantil 0,25, terutama untuk tahun 2024 dan 2025 jika dibandingkan dengan tahun acuan, namun tidak lagi berpengaruh signifikan pada distribusi kuantil lainnya. Temuan ini menunjukkan adanya heterogenitas pengaruh variabel independen terhadap timbulan sampah per kapita, pada berbagai tingkat distribusi. Wilayah kota cenderung memiliki timbulan sampah per kapita yang lebih tinggi dibandingkan wilayah kabupaten, terutama pada kelompok daerah dengan tingkat timbulan sampah yang relatif tinggi. Namun demikian, hasil penelitian perlu diinterpretasikan secara hati-hati karena sampel hanya mencakup kabupaten/kota dengan data SIPSN lengkap.

Kata kunci: Indonesia, kabupaten/kota, pengelolaan sampah, regresi kuantil, timbulan sampah

1 PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah merupakan salah satu persoalan lingkungan utama di Indonesia. Persoalan ini tidak semata bersifat teknis, melainkan berkaitan pula dengan perilaku masyarakat dan efektivitas pelaksanaan kebijakan pengelolaan (Qodriyatun *et al.*, 2023). Peningkatan volume sampah yang tidak diimbangi sistem pengelolaan yang memadai menimbulkan tekanan terhadap lingkungan dan kapasitas fasilitas pemrosesan akhir (Anggraini *et al.*, 2023). Sebagian sampah berakhir di tempat pemrosesan akhir, sedangkan sebagian lainnya mencemari perairan dan ekosistem sehingga berdampak pada kesehatan manusia serta kelangsungan hidup satwa. Sampah

plastik merupakan salah satu isu utama, dengan proporsi sekitar 15% dari timbulan sampah nasional yang tercatat sebesar 33,78 juta ton pada tahun 2024 (Mutiar Putri *et al.*, 2025). Sementara itu, Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) mencatat timbulan sampah nasional pada tahun 2025 sebesar lebih dari 24 juta ton dengan capaian pengelolaan sekitar 34,55%. Seiring pertumbuhan penduduk, peningkatan aktivitas ekonomi, dan urbanisasi, penyediaan sistem pengelolaan sampah yang efektif dan berkelanjutan menjadi tantangan bagi pemerintah daerah.

Kabupaten dan kota merupakan wilayah administratif tingkat dua yang memiliki karakteristik berbeda, antara lain dalam hal kepadatan penduduk, tingkat urbanisasi, dan aktivitas ekonomi. Wilayah kota umumnya memiliki tingkat konsumsi dan aktivitas ekonomi yang lebih tinggi dibandingkan wilayah kabupaten sehingga berpotensi menghasilkan volume sampah yang lebih besar. Perbedaan tersebut perlu diuji secara empiris agar dapat menjadi dasar perumusan kebijakan pengelolaan sampah yang tepat sasaran.

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengkaji timbulan sampah dari berbagai perspektif. Purba *et al.* (2025) menemukan bahwa timbulan sampah di wilayah kota lebih tinggi dibandingkan kabupaten dan terus meningkat dari tahun ke tahun. Ilmi & Syaifuddin (2025) menunjukkan bahwa Produk Domestik Regional Bruto (PDRB), kepadatan penduduk, dan luas wilayah berpengaruh positif dan signifikan terhadap timbulan sampah di Jawa Timur, sementara Nur Azizah Alamsyah *et al.* (2025) mengidentifikasi faktor serupa pada provinsi yang sama melalui pendekatan *Random Forest Regression*. Pada konteks internasional, Noufal *et al.* (2020) di Kota Homs, Suriah, menemukan bahwa jumlah anggota keluarga dan usia kepala keluarga berpengaruh positif terhadap timbulan sampah, sedangkan tingkat pendidikan berpengaruh negatif. Sebagian besar penelitian tersebut menerapkan pendekatan *cross-section* atau regresi linear berganda yang hanya mengestimasi pengaruh variabel independen terhadap nilai rata-rata timbulan sampah. Pendekatan demikian belum mengungkap apakah pengaruh suatu faktor seragam di seluruh distribusi atau hanya muncul pada kelompok daerah tertentu. Padahal pengelolaan sampah yang tidak optimal berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan, khususnya pada wilayah berkepadatan tinggi (Yudiyanti *et al.*, 2019), sehingga perencanaan infrastruktur menuntut estimasi berbasis data yang lebih terperinci.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pengeluaran per kapita, kepadatan penduduk, dan laju pertumbuhan PDRB terhadap timbulan sampah per kapita kabupaten/kota di Indonesia periode 2020-2025, sekaligus menguji perbedaan pola antara kabupaten dan kota pada berbagai tingkat distribusi timbulan sampah melalui regresi kuantil.

2 METODE

2.1 Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder dari sumber resmi. Data timbulan sampah kabupaten/kota periode 2020-2025 diperoleh dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (<https://portal-sipsn.kemenlh.go.id/>). Data jumlah penduduk, pengeluaran per kapita, kepadatan penduduk, dan laju pertumbuhan PDRB pada wilayah dan periode pengamatan yang sama diperoleh dari Badan Pusat Statistik.

2.2 Populasi dan Sampel

Populasi penelitian mencakup seluruh kabupaten dan kota di Indonesia, yaitu 416 kabupaten dan 98 kota, pada periode 2020-2025. Unit analisis penelitian adalah kabupaten/kota, sehingga data tersusun atas dimensi wilayah (*cross-section*) dan dimensi waktu (*time series*) yang membentuk struktur data panel. Untuk keperluan estimasi regresi kuantil, data panel tersebut diperlakukan

sebagai data gabungan, dengan dimensi wilayah dan waktu ditangkap melalui variabel *dummy* lokasi dan tahun.

Pengambilan sampel dilakukan dengan teknik *purposive sampling* karena regresi kuantil memerlukan kelengkapan data pada setiap unit yang diamati. Kriteria yang ditetapkan adalah kabupaten/kota yang memiliki data timbulan sampah lengkap sepanjang 2020-2025 pada situs resmi SIPSN. Berdasarkan kriteria tersebut diperoleh 85 unit sampel yang terdiri atas 54 kabupaten dan 31 kota, sehingga menghasilkan 510 observasi.

2.3 Pra-Pemrosesan Data dan Definisi Operasional Variabel

Data yang diperoleh terlebih dahulu melalui beberapa tahap pengolahan. Data dari SIPSN dan BPS ditransformasikan ke dalam *long format* sesuai kebutuhan estimasi regresi kuantil. Seluruh observasi kemudian diperiksa ulang untuk menghindari duplikasi pada kombinasi wilayah dan tahun pengamatan. Timbulan sampah per kapita dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Timbulan sampah per kapita} = \frac{\text{Timbulan sampah per wilayah dalam setahun (ton)}}{(\text{Jumlah penduduk per wilayah dalam setahun (ribu)} \times 1000)} \quad (1)$$

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah satu variabel dependen, tiga variabel independen, serta 2 variabel *dummy*. Definisi operasional seluruh variabel penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Definisi Operasional dari Variabel Penelitian

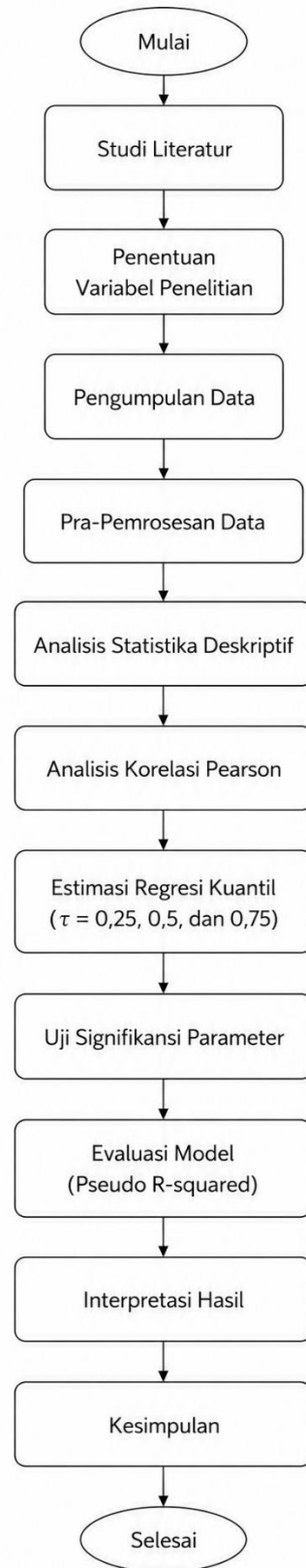
Variabel	Nama Variabel	Satuan
Y	Timbulan sampah per kapita	Ton/orang/tahun
X ₁	Pengeluaran per kapita	Ribu rupiah/orang/tahun
X ₂	Kepadatan penduduk	Jiwa/km ²
X ₃	Laju pertumbuhan PDRB	Persen
D ₁	Status Wilayah	<i>Dummy</i> (1 = Kota & 0 = Kabupaten)
D ₂	<i>Dummy</i> Tahun	<i>Dummy</i> (D ₂₀₂₁ = 1 jika tahun 2021, 0 selain itu; D ₂₀₂₂ = 1 jika tahun 2022, 0 selain itu; D ₂₀₂₃ = 1 jika tahun 2023, 0 selain itu; D ₂₀₂₄ = 1 jika tahun 2024, 0 selain itu; D ₂₀₂₅ = 1 jika tahun 2025, 0 selain itu; tahun 2020 sebagai referensi)

(Sumber: Peneliti)

Dataset akhir tersusun sebagai *balanced panel* yang terdiri atas 85 kabupaten/kota selama enam tahun pengamatan, sehingga menghasilkan 510 observasi.

2.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Diagram Alir

2.5 Analisis Data

2.5.1 Analisis Statistika Deskriptif

Statistika deskriptif digunakan untuk memahami karakteristik umum setiap variabel, meliputi ukuran pemusatan (*mean* dan *median*) serta ukuran penyebaran (*standar deviasi*, nilai minimum, dan nilai maksimum) (Abadi & Sukmana, 2022).

2.5.2 Analisis Korelasi

Analisis korelasi Pearson digunakan untuk mengidentifikasi hubungan linear antar variabel independen. Koefisien korelasi di atas 0,8 mengindikasikan permasalahan multikolinearitas yang serius (Senaviratna & Cooray, 2019).

2.5.3 Regresi Kuantil

Regresi kuantil diperkenalkan oleh Koenker & Bassett (1978) dan memberikan pemahaman yang lebih menyeluruh terhadap distribusi variabel respons (Rizki & Taqiyyuddin, 2021). Metode ini dipilih karena mampu mengestimasi pengaruh variabel bebas pada berbagai titik distribusi timbulan sampah, tidak terbatas pada nilai rata-rata, sehingga perbedaan pola antara kabupaten dan kota dapat diamati pada setiap tingkat distribusi.

Model dasar regresi kuantil adalah sebagai berikut (Hasibuan *et al.*, 2024):

$$Q_{\tau}(Y_{it}) = \beta_{0\tau} + \beta_{kt} X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Keterangan:

- Q_{τ} : Kuantil ke τ dari variabel dependen Y
- τ : Kuantil yang dianalisis
- Y_{it} : Variabel dependen pada wilayah i dan tahun t
- β_{τ} : Vektor koefisien regresi pada kuantil ke- τ
- X_{it} : Variabel independen pada wilayah i dan tahun t
- ε_{it} : *Error term*
- i : Unit *cross section*
- t : Waktu (tahun)

Kemudian berdasarkan variabel pada penelitian ini, maka model tersebut dispesifikasi menjadi berikut ini:

$$Q_{\tau}(Y_{it}) = \beta_0 + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \beta_3 X_{3it} + \beta_4 D_{1it} + \sum_{k=2021}^{2025} \gamma_k D_{2kt} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Keterangan:

- Q_{τ} : Kuantil ke τ dari variabel dependen Y
- τ : Kuantil yang dianalisis
- Y_{it} : Timbulan sampah per kapita
- β_0 : Konstanta
- $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$: Koefisien variabel independen
- X_{1it} : Pengeluaran per kapita
- X_{2it} : Kepadatan penduduk
- X_{3it} : Laju pertumbuhan PDRB
- D_{1it} : Dummy status wilayah
- γ_k : Koefisien dummy tahun
- D_{2kt} : Dummy tahun, dengan tahun 2020 sebagai kategori referensi

Estimasi dilakukan pada kuantil 0,25, 0,50, dan 0,75 untuk memperoleh gambaran pengaruh variabel pada kelompok daerah dengan timbulan sampah rendah, sedang, dan tinggi. Signifikansi setiap parameter diuji berdasarkan *p-value* dengan *standard error* diperoleh melalui pendekatan *bootstrap* karena regresi kuantil tidak mengasumsikan distribusi normal (Efron & Tibshirani, 1998).

2.5.3.1 Evaluasi Kebaikan Model Regresi Kuantil

Kebaikan model regresi kuantil dievaluasi menggunakan nilai Pseudo R^2 atau $R^1(\tau)$ sebagai ukuran kecocokan relatif (*goodness-of-fit*) model. Menurut Koenker & Machado (1999), ukuran kecocokan relatif pada regresi kuantil didefinisikan sebagai berikut:

$$R^1(\tau) = 1 - \frac{\hat{V}(\tau)}{\tilde{V}(\tau)} \quad (4)$$

Keterangan:

- $R^1(\tau)$: ukuran kecocokan relatif model regresi kuantil pada kuantil τ
 τ : kuantil yang dianalisis
 $\hat{V}(\tau)$: nilai minimum fungsi objektif regresi kuantil pada model penuh
 $\tilde{V}(\tau)$: nilai minimum fungsi objektif regresi kuantil pada model terbatas

Semakin besar nilai tersebut, semakin baik kecocokan relatif model penuh dibandingkan model terbatas pada kuantil yang bersangkutan. Nilai ini dihitung pada kuantil 0,25, 0,50, dan 0,75.

2.6 Perangkat Lunak Analisis

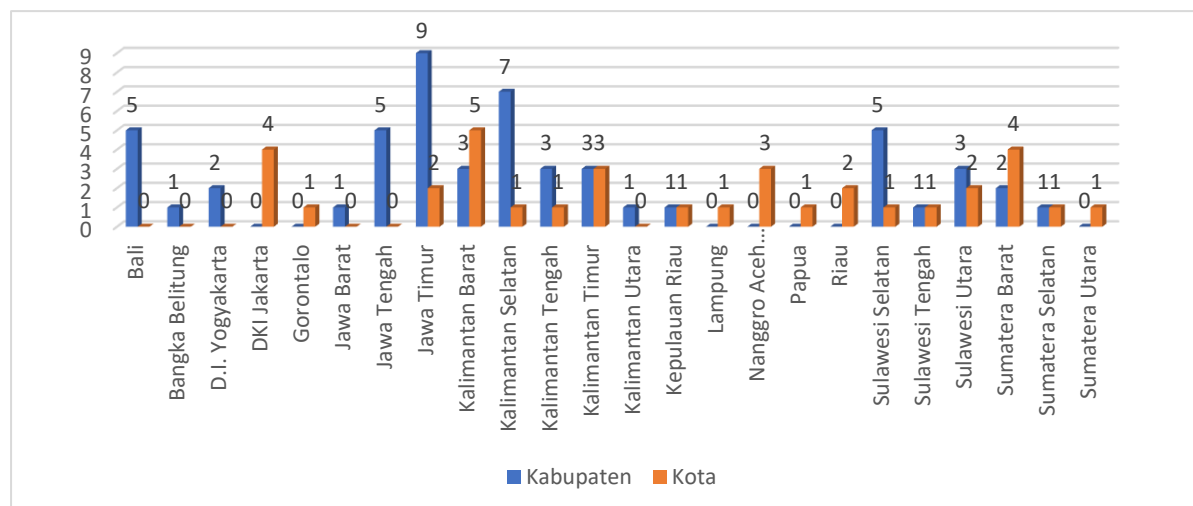
Pengolahan data dilakukan menggunakan Microsoft Excel untuk penyusunan, pembersihan, dan transformasi data dari SIPSN dan BPS, serta perhitungan timbulan sampah per kapita. Seluruh analisis statistik, mencakup statistika deskriptif, analisis korelasi, estimasi model regresi kuantil, pengujian signifikansi parameter, dan evaluasi kebaikan model, dilakukan dengan RStudio.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Deskripsi Data Penelitian

Sebanyak 429 dari 514 kabupaten/kota di Indonesia, atau 83,5%, tidak memiliki data timbulan sampah tahunan yang lengkap pada situs resmi SIPSN sepanjang 2020-2025 sehingga tidak memenuhi kriteria pemilihan sampel. Keterbatasan cakupan ini diperlukan kehati-hatian dalam interpretasi hasil penelitian yang merepresentasikan kabupaten/kota dengan pelaporan data lengkap dan tidak dapat digeneralisasi ke seluruh kabupaten/kota di Indonesia. Kelengkapan data diduga berkaitan dengan kapasitas administrasi pengelolaan sampah, sehingga sampel berpotensi condong ke arah daerah yang relatif lebih tertata.

Sebaran kabupaten dan kota yang memenuhi kriteria pemilihan sampel menurut provinsi disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Distribusi Kabupaten dan Kota yang Memiliki Data Timbulan Sampah Lengkap Periode 2020–2025 Menurut Provinsi (Output Software Microsoft Excel)

Jumlah kabupaten dan kota yang memenuhi kriteria bervariasi antar provinsi. Beberapa provinsi bahkan tidak memiliki satu pun wilayah yang memenuhi kriteria akibat keterbatasan data pada SIPSN.

3.2 Statistika Deskriptif

Statistika deskriptif seluruh variabel penelitian pada 510 observasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Statistik Deskriptif

Variabel	Jumlah Data (n)	Rata-rata	Standar Deviasi	Nilai terkecil	Nilai terbesar
Y	510	0,19	0,07	0,07	0,63
X_1	510	12952,08	2875,58	6804	26387
X_2	510	1949,17	3815,96	14	22061
X_3	510	3,56	3,67	-16,55	30,68

Sumber: Output Software R Studio

Rata-rata timbulan sampah per kapita selama periode 2020-2025 sebesar 0,19 ton/orang/tahun atau setara 0,52 kg/orang/hari. Nilai tersebut berada pada kisaran rata-rata kawasan Asia Timur dan Pasifik, yaitu 0,56 kg/orang/hari (Kaza *et al.*, 2018). Standar deviasi sebesar 0,07 menunjukkan variasi antar wilayah yang relatif kecil.

Pengeluaran per kapita dan kepadatan penduduk memperlihatkan variasi yang besar, yang mencerminkan perbedaan tingkat kesejahteraan serta karakteristik wilayah perkotaan dan perdesaan. Laju pertumbuhan PDRB berfluktuasi cukup lebar, antara -16,55% hingga 30,68%, yang antara lain merefleksikan dampak pandemi COVID-19 terhadap aktivitas ekonomi daerah. Wilayah kota mencakup 36% observasi, sehingga komposisi sampel cukup beragam. Heterogenitas antar wilayah tersebut mendasari penggunaan regresi kuantil untuk menguji perbedaan pengaruh variabel pada berbagai tingkat distribusi.

Statistika deskriptif menurut status administratif wilayah disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Statistik Deskriptif Kabupaten dan Kota

Status Wilayah	Jumlah Data	Rata-rata	Standar Deviasi	Nilai terkecil	Nilai terbesar
Kabupaten	324	0,166	0,064	0,074	0,556
Kota	186	0,243	0,065	0,101	0,628

Sumber: Output Software R Studio

Rata-rata timbulan sampah per kapita wilayah kota sebesar 0,243 ton/orang/tahun (0,67 kg/orang/hari), sedangkan wilayah kabupaten sebesar 0,166 ton/orang/tahun (0,45 kg/orang/hari). Selisihnya mencapai 0,21 kg/orang/hari atau 46,4%. Karena analisis pada tahap ini masih bersifat deskriptif, perbedaan tersebut belum dapat dimaknai sebagai hubungan yang signifikan secara statistik. Meskipun rata-rata kedua kelompok berbeda cukup besar, keragaman internalnya relatif sebanding, yang ditunjukkan oleh standar deviasi yang hampir sama (0,064 dan 0,065). Nilai minimum pada wilayah kota (0,101 ton/orang/tahun) berada di bawah rata-rata wilayah kabupaten (0,166 ton/orang/tahun), yang mengindikasikan keberadaan kota berskala kecil dengan timbulan sampah relatif rendah. Secara keseluruhan, baik nilai rata-rata maupun nilai maksimum pada wilayah kota lebih tinggi dibandingkan wilayah kabupaten.

3.3 Analisis Korelasi

Matriks korelasi Pearson antar variabel penelitian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Matriks Korelasi Pearson

Variabel	Y	X ₁	X ₂	X ₃
Y	1	0,517	0,474	-0,043
X ₁	0,517	1	0,678	0,075
X ₂	0,474	0,678	1	-0,008
X ₃	-0,043	0,075	-0,008	1

Sumber: Output Software R Studio

Seluruh koefisien korelasi antar variabel independen bernilai di bawah 0,8. Korelasi tertinggi terjadi antara pengeluaran per kapita dan kepadatan penduduk (0,678), sehingga tidak terdapat indikasi multikolinearitas yang serius pada model.

3.4 Estimasi Model Regresi Kuantil

Estimasi dilakukan pada kuantil 0,25, 0,50, dan 0,75 yang merepresentasikan kelompok daerah dengan timbunan sampah rendah, sedang, dan tinggi. Hasil estimasi disajikan pada Tabel 5.

3.5 Uji Signifikansi Parameter

Tabel 5. Analisis Regresi Kuantil

Kuantil	Variabel	Koefisien	p-value	Standard Error
$\tau = 0,25$	Intercept	0,0645	< 0,001	0,0104
	X ₁	$6,82 \times 10^{-6}$	< 0,001	$8,6 \times 10^{-7}$
	X ₂	$3,96 \times 10^{-6}$	< 0,001	$2,6 \times 10^{-7}$
	X ₃	-0,0001	0,8072	0,0005
	D ₁	0,0303	< 0,001	0,0038
	D ₂₀₂₁	-0,0040	0,4188	0,0050
	D ₂₀₂₂	-0,0061	0,2553	0,0053
	D ₂₀₂₃	-0,0102	0,0647	0,0055
	D ₂₀₂₄	-0,0121	0,0359	0,0058
	D ₂₀₂₅	-0,0129	0,0336	0,0061
$\tau = 0,5$	Intercept	0,0857	< 0,001	0,0101
	X ₁	$5,81 \times 10^{-6}$	< 0,001	$8,6 \times 10^{-7}$
	X ₂	$2,44 \times 10^{-6}$	0,0005	$6,9 \times 10^{-7}$
	X ₃	-0,0002	0,8127	0,0007
	D ₁	0,0561	< 0,001	0,0097
	D ₂₀₂₁	0,0053	0,4402	0,0071
	D ₂₀₂₂	-0,0023	0,7449	0,0070
	D ₂₀₂₃	-0,0019	0,7833	0,0070
	D ₂₀₂₄	-0,0040	0,5973	0,0076
	D ₂₀₂₅	-0,0054	0,4789	0,0076
$\tau = 0,75$	Intercept	0,1265	< 0,001	0,0176
	X ₁	$4,87 \times 10^{-6}$	0,0016	$1,54 \times 10^{-6}$
	X ₂	$9,2 \times 10^{-7}$	0,1101	$5,7 \times 10^{-7}$
	X ₃	0,0001	0,9125	0,0011
	D ₁	0,0684	< 0,001	0,0068
	D ₂₀₂₁	-0,0054	0,6031	0,0103
	D ₂₀₂₂	-0,0052	0,6275	0,0107

Kuantil	Variabel	Koefisien	<i>p-value</i>	<i>Standard Error</i>
	D_{2023}	-0,0095	0,3617	0,0103
	D_{2024}	-0,0092	0,4113	0,0112
	D_{2025}	-0,0080	0,4872	0,0115

Sumber: Output Software R Studio

3.6 Evaluasi Kebaikan Model Regresi Kuantil

Nilai *Pseudo R*² pada masing-masing kuantil disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai *Pseudo R*² Model Regresi Kuantil

Kuantil	<i>Pseudo R</i> ²
0,25	0,2991
0,5	0,3519
0,75	0,3451

Sumber: Output Software R Studio

Nilai *Pseudo R*² tertinggi diperoleh pada kuantil 0,50 (0,3519), diikuti kuantil 0,75 (0,3451) dan kuantil 0,25 (0,2991). Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kemampuan model dalam menangkap pola hubungan antar variabel tidak seragam di sepanjang distribusi timbulan sampah per kapita.

3.7 Interpretasi Hasil Estimasi

Pengeluaran per kapita, kepadatan penduduk, dan *dummy* kota memiliki koefisien positif pada seluruh kuantil. Koefisien *dummy* tahun umumnya bernilai negatif terhadap tahun acuan, yang mengindikasikan timbulan sampah per kapita periode 2021-2025 relatif lebih rendah dibandingkan tahun 2020. Pengecualian terjadi pada *dummy* tahun 2021 di kuantil 0,50 yang bernilai positif, namun besarnya sangat kecil sehingga tidak berbeda secara substantif dari tahun acuan. Perbedaan besaran koefisien antar kuantil mengonfirmasi adanya heterogenitas hubungan antara variabel bebas dan timbulan sampah per kapita. Koefisien yang bernilai kecil tidak serta-merta menunjukkan ketiadaan pengaruh, melainkan mencerminkan skala pengukuran variabel yang digunakan.

Pada kuantil 0,50, pengeluaran per kapita, kepadatan penduduk, dan status wilayah memiliki *p-value* di bawah 0,05 sehingga berpengaruh signifikan terhadap timbulan sampah per kapita, sedangkan laju pertumbuhan PDRB dan seluruh *dummy* tahun tidak signifikan pada taraf 5%.

Pola serupa terlihat pada kuantil 0,25, dengan tambahan *dummy* tahun 2024 dan 2025 yang signifikan pada taraf 5%. Pada kuantil 0,75, hanya pengeluaran per kapita dan status wilayah yang tetap signifikan, sementara variabel lainnya memiliki *p-value* di atas 0,05. Dengan demikian, pengaruh variabel independen terhadap timbulan sampah per kapita tidak seragam di sepanjang distribusi: hanya pengeluaran per kapita dan status wilayah yang berpengaruh stabil pada seluruh tingkat distribusi, sedangkan variabel lain signifikan terutama pada kelompok daerah dengan timbulan sampah relatif rendah.

Model regresi kuantil yang terbentuk berdasarkan nilai kuantil yang telah ditentukan diperoleh hasil sebagai berikut:

$$Q_{0,25}(Y) = 0,0645 + (6,82 \times 10^{-6})X_1 + (3,96 \times 10^{-6})X_2 - 0,0001X_3 + 0,0303D_1 \\ - 0,0040D_{2021} - 0,0061D_{2022} - 0,0102D_{2023} - 0,0121D_{2024} - 0,0129D_{2025}$$

$$Q_{0,5}(Y) = 0,0857 + (5,81 \times 10^{-6})X_1 + (2,44 \times 10^{-6})X_2 - 0,0002X_3 + 0,0561D_1 \\ + 0,0053D_{2021} - 0,0023D_{2022} - 0,0019D_{2023} - 0,0040D_{2024} - 0,0054D_{2025}$$

$$Q_{0,75}(Y) = 0,1265 + (4,87 \times 10^{-6})X_1 + (9,2 \times 10^{-7})X_2 - 0,0001X_3 + 0,0684D_1 \\ - 0,0054D_{2021} - 0,0052D_{2022} - 0,0095D_{2023} - 0,0092D_{2024} - 0,0080D_{2025}$$

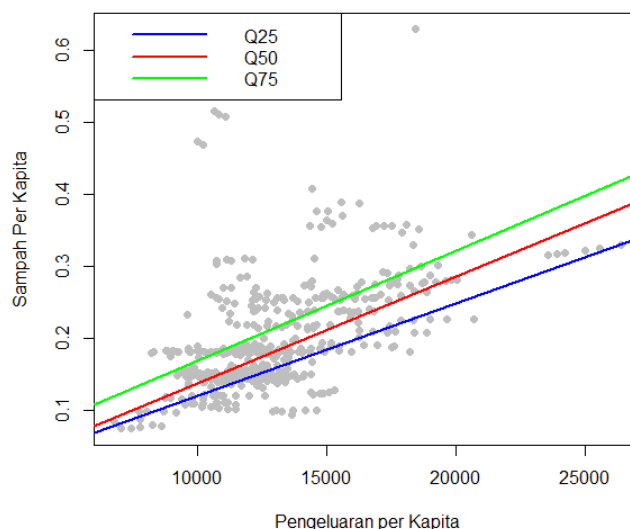
Pada kuantil 0,25, koefisien pengeluaran per kapita sebesar $6,82 \times 10^{-6}$ dalam satuan ribu rupiah/orang/tahun, maka peningkatan pengeluaran sebesar Rp1.000.000/orang/tahun diperkirakan akan meningkatkan timbunan sampah per kapita sebesar 0,00682 ton/orang/tahun atau sekitar 6,82 kg per orang per tahun. Pada kuantil 0,50 dan 0,75, peningkatan pengeluaran dengan besaran yang sama diperkirakan meningkatkan timbunan sampah per kapita masing-masing sebesar 0,00581 ton/orang/tahun (5,81 kg/orang/tahun) dan 0,00487 ton/orang/tahun (4,87 kg/orang/tahun). Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan tingkat pengeluaran masyarakat cenderung diikuti oleh peningkatan timbunan sampah per kapita pada seluruh kelompok daerah yang diamati.

Kepadatan penduduk berpengaruh positif dan signifikan pada kuantil 0,25 dan 0,50. Setiap penambahan 1.000 jiwa/km² diperkirakan meningkatkan timbunan sampah per kapita sebesar 3,96 kg/orang/tahun pada kuantil 0,25 dan 2,44 kg/orang/tahun pada kuantil 0,50. Pada kuantil 0,75 pengaruh tersebut tidak lagi signifikan, yang menunjukkan melemahnya peran kepadatan penduduk pada kelompok daerah dengan timbunan sampah relatif tinggi.

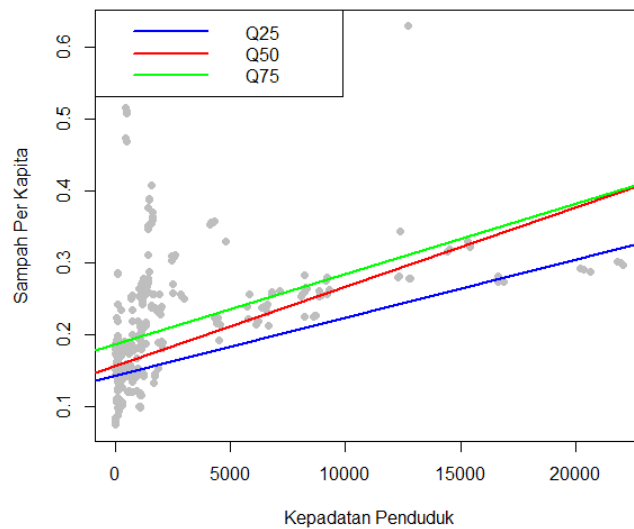
Status wilayah berpengaruh positif dan signifikan pada seluruh kuantil. Timbunan sampah per kapita wilayah kota diperkirakan lebih tinggi 30,3 kg/orang/tahun dibandingkan kabupaten pada kuantil 0,25, meningkat menjadi 56,1 kg/orang/tahun pada kuantil 0,50 dan 68,4 kg/orang/tahun pada kuantil 0,75. Selisih yang melebar ini menunjukkan bahwa karakteristik perkotaan justru semakin menentukan pada kelompok daerah dengan timbunan sampah tinggi.

Laju pertumbuhan PDRB tidak signifikan pada seluruh kuantil ($p\text{-value} > 0,05$). Tidak terdapat bukti empiris yang memadai bahwa laju pertumbuhan ekonomi daerah berhubungan dengan perubahan timbunan sampah per kapita pada sampel yang diamati.

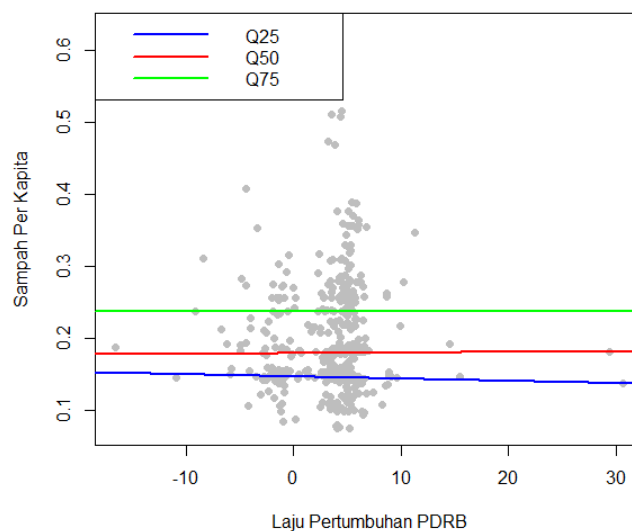
Hubungan antara pengeluaran per kapita, kepadatan penduduk, dan laju pertumbuhan PDRB terhadap timbunan sampah per kapita divisualisasikan melalui *scatter plot* dengan garis regresi pada ketiga kuantil, berturut-turut pada Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3.



Gambar 2. Kurva Regresi Kuantil Timbunan Sampah per Kapita Terhadap Pengeluaran per Kapita (*Output Software R Studio*)



Gambar 3. Kurva Regresi Kuantil Timbulan Sampah per Kapita Terhadap Kepadatan Penduduk (*Output Software R Studio*)



Gambar 4. Kurva Regresi Kuantil Timbulan Sampah per Kapita Terhadap Laju Pertumbuhan PDRB (*Output Software R Studio*)

4 KESIMPULAN

Pengeluaran per kapita dan status wilayah berpengaruh positif dan signifikan terhadap timbulan sampah per kapita pada seluruh kuantil yang dianalisis. Semakin tinggi tingkat konsumsi masyarakat dan semakin kuat karakteristik perkotaan suatu wilayah, semakin besar timbulan sampah per kapita yang dihasilkan.

Kepadatan penduduk berpengaruh positif dan signifikan pada kuantil 0,25 dan 0,50, tetapi tidak signifikan pada kuantil 0,75. Laju pertumbuhan PDRB tidak signifikan pada seluruh kuantil, sedangkan *dummy* tahun hanya signifikan pada kuantil 0,25, khususnya tahun 2024 dan 2025 terhadap tahun acuan.

Besaran pengaruh setiap variabel tidak seragam di sepanjang distribusi timbulan sampah. Pengaruh pengeluaran per kapita dan kepadatan penduduk lebih kuat pada kelompok daerah dengan timbulan sampah rendah, sedangkan peran status wilayah menguat pada kelompok daerah dengan timbulan sampah tinggi. Temuan ini mengindikasikan bahwa kebijakan pengelolaan sampah perlu dibedakan menurut posisi daerah dalam distribusi timbulan sampah, bukan diseragamkan berdasarkan nilai rata-rata nasional.

Hasil penelitian ini tidak dapat digeneralisasikan kepada seluruh kabupaten/kota di Indonesia, karena penelitian ini memiliki keterbatasan pada cakupan data yang digunakan. Hasil penelitian ini lebih merepresentasikan karakteristik kabupaten/kota yang memenuhi kriteria kelengkapan data yaitu 85 kabupaten/kota yang memiliki data timbulan sampah tahunan lengkap pada Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) selama periode 2020–2025. Penelitian lanjutan disarankan menggunakan *standard error* terkluster untuk mengakomodasi struktur panel data.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Universitas Terbuka dan Program Studi Statistika atas dukungan selama pelaksanaan penelitian ini, serta kepada Badan Pusat Statistik dan Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional yang telah menyediakan data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, T. W., & Sukmana, H. (2022). *Buku ajar statistika deskriptif untuk riset komunikasi*. Umsida Press.
- Anggraini, M. V., Putra, K. I., Nurhadi, M., Widianarko, B., Setiadi, R., Prihantoro, F., Anggraeni, M., Rahmawati, Y., Wulansari, A., Budiarti, R., Adyatama, A. M., Walinono, T., Kristiawan, D., Elpandri, Sidabalok, H., & Handayani, M. D. (2023). *Menuju pengelolaan sampah yang berkelanjutan dan berkeadilan*. Yayasan Bina Karta Lestari.
- Efron, B., & Tibshirani, R. (1998). *An introduction to the bootstrap*. Chapman & Hall/CRC.
- Hasibuan, L. H., Yanuar, F., Devianto, D., & Maiyastri. (2024). Quantile regression analysis: Simulation study with violation of normality assumption. *Journal of Science and Technology*, 4(2), 133–142.
- Ilmi, M. B., & Syaifuddin, A. (2025). Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah timbulan sampah di Provinsi Jawa Timur menggunakan metode multiple linear regression. *SUBMIT (Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi dan Sains)*, 5(1), 22–28.
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank Group.
- Koenker, R., & Bassett, G. (1978). Regression quantiles. *Econometrica*, 46(1), 33–50.
- Koenker, R., & Machado, J. A. F. (1999). Goodness of fit and related inference processes for quantile regression. *Journal of the American Statistical Association*, 94(448), 1296–1310.
- Mutiara Putri, A., Sudrajat, A., Hadzami, F. A., Razak, G. R., & Muna, N. (2025). Analisis pengaruh indeks pembangunan manusia dan jumlah penduduk terhadap timbulan sampah plastik di Indonesia. *Triwikarma: Jurnal Multidisiplin Ilmu Sosial*, 10(4).

- Noufal, M., Yuanyuan, L., Maalla, Z., & Adipah, S. (2020). Determinants of household solid waste generation and composition in Homs City, Syria. *Journal of Environmental and Public Health*.
- Nur Azizah Alamsyah, M., Dawani Silaban, S., Agles Rizky Nor, D., Muhamad Rifani Fadli, L., Sari, S. P., & Effendi, M. (2025). Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah timbulan sampah di Provinsi Jawa Timur menggunakan metode random forest regression. *BESTARI: Buletin Statistikan dan Aplikasi Terkini*, 5(2), 53–60.
- Purba, S. U., Faradiba, S., & Sitanggang, J. W. (2025). Tren dan distribusi timbulan sampah serta sumbernya pada kabupaten dan kota di Indonesia. *Health Care: Jurnal Kesehatan*, 14(2), 256–264.
- Qodriyatun, S. N., Santoso, R., Arini, N., Efendi, Poerwanti, P., Prasetiawan, T., Adhiem, M. A., & Hariyadi. (2023). *Pengelolaan sampah: Kebijakan, implementasi, dan revisi undang-undang*. Pena Persada Kerta Utama.
- Rizki, M. I., & Taqiyyuddin, T. A. (2021). Pemodelan regresi kuantil pada tingkat pengangguran terbuka (studi kasus di Provinsi Jawa Barat tahun 2017–2020). *Seminar Nasional Statistika Online (SNSO 2021)*.
- Senaviratna, N. A. M. R., & Cooray, T. M. J. A. (2019). Diagnosing multicollinearity of logistic regression model. *Asian Journal of Probability and Statistics*, 5(2), 1–9.
- Yudiyanti, Yudistira, E., & Tania, A. L. (2019). *Pengelolaan sampah*. Sai Wawai Publishing.