

PERAMALAN PENDAPATAN RETRIBUSI PERSAMPAHAN PADA TPA REGIONAL SOLOK MENGGUNAKAN METODE HOLT DOUBLE EXPONENTIAL SMOOTHING

Ronaldo Syahputra^{1*}, Yeviki Maisyah Putra²

¹Universitas Putra Indonesia YPTK Padang, Sumatera Utara

e-mail: ^{1*}ronaldo_syahputra@upiyptk.ac.id; ²yeviki.maisyahputra@upiyptk.ac.id

Abstract: *This study forecasts monthly solid-waste retribution revenue at the Solok Regional Landfill using Holt's Double Exponential Smoothing. The database contained 72,000 transactions from two landfills. After selecting the location and study period, checking transaction status, and removing nonpositive values, 44,864 valid transactions were aggregated into 44 monthly observations from January 2023 to August 2026. January 2023–December 2025 served as training data and January–August 2026 as a temporal holdout. Parameters were selected from 9,801 alpha-beta pairs by minimizing training MAPE. The selected model used $\alpha=0.73$ and $\beta=0.24$. On the holdout, it achieved a MAPE of 9.82%, an MAE of IDR 4.29 million, and an RMSE of IDR 4.74 million, outperforming the 11.77% MAPE of a naive benchmark. After refitting all observations, the September 2026–August 2027 forecasts totaled IDR 695.75 million. The model provides a quantitative baseline for revenue planning, although its linear trend extrapolation requires cautious interpretation.*

Keyword: *double exponential smoothing; Holt; revenue forecasting; solid-waste retribution; landfill*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan meramalkan pendapatan retribusi bulanan TPA Regional Solok menggunakan Holt Double Exponential Smoothing. Basis data memuat 72.000 transaksi dari dua TPA. Setelah seleksi lokasi dan periode, pemeriksaan status transaksi, serta penghapusan nilai nonpositif, diperoleh 44.864 transaksi valid yang diagregasi menjadi 44 observasi bulanan Januari 2023–Agustus 2026. Data Januari 2023–Desember 2025 digunakan untuk pelatihan dan Januari–Agustus 2026 sebagai holdout temporal. Parameter dipilih dari 9.801 pasangan alpha-beta dengan meminimalkan MAPE pelatihan. Model terpilih menggunakan $\alpha=0,73$ dan $\beta=0,24$. Pada holdout, model menghasilkan MAPE 9,82%, MAE Rp4,29 juta, dan RMSE Rp4,74 juta, lebih baik daripada baseline naif dengan MAPE 11,77%. Setelah estimasi ulang menggunakan seluruh observasi, total prakiraan September 2026–Agustus 2027 mencapai Rp695,75 juta. Model dapat menjadi baseline kuantitatif untuk perencanaan penerimaan, tetapi ekstrapolasi tren linearnya perlu ditafsirkan secara hati-hati.

Kata kunci: *double exponential smoothing; Holt; peramalan pendapatan; retribusi persampahan; tempat pemrosesan akhir*

PENDAHULUAN

Retribusi daerah merupakan sumber penerimaan yang mendukung penyelenggaraan layanan publik. Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2022 menempatkan pajak dan retribusi sebagai bagian dari sumber penerimaan daerah serta mengelompokkan retribusi menjadi

jasa umum, jasa usaha, dan perizinan tertentu (Pemerintah Republik Indonesia, 2022). Pada layanan persampahan, estimasi penerimaan yang terukur diperlukan untuk menyusun target, mengendalikan arus kas, dan menilai perbedaan antara rencana dengan realisasi.

TPA Regional Solok dikelola oleh UPTD Persampahan Dinas Lingkungan

Hidup Provinsi Sumatera Barat dan melayani Kota Solok serta sebagian Kabupaten Solok. Kendaraan ditimbang sebelum dan sesudah pembongkaran sehingga berat bersih dan biaya tercatat pada tingkat transaksi (UPTD Persampahan, 2023). Catatan tersebut menyediakan dasar empiris untuk membentuk deret pendapatan, tetapi status transaksi, kelengkapan periode, dan konsistensi antar-kolom perlu diperiksa sebelum pemodelan.

Holt Double Exponential Smoothing (DES) dirancang untuk deret nonmusiman yang mengandung level dan tren. Metode ini memperbarui kedua komponen melalui dua parameter pemulusan, kemudian menghasilkan prakiraan linear sesuai horizon (Holt, 2004; Hyndman & Athanasopoulos, 2021). DES telah diterapkan pada volume sampah, pendapatan usaha, PDRB, dan penerimaan pajak daerah (Andriyati & Rohaeti, 2020; Artiyati & Utari, 2024; Lina et al., 2024; Fikrianto & Sukmono, 2025). Namun, angka galat pada data pelatihan saja belum cukup untuk menggambarkan kemampuan model pada periode baru.

Penelitian ini membentuk deret pendapatan bulanan dari basis data transaksi yang diaudit, menentukan parameter Holt DES melalui pencarian grid, menguji model pada holdout temporal, membandingkannya dengan

baseline naif, dan menghasilkan prakiraan 12 bulan. Kontribusi praktisnya adalah penggabungan audit data tingkat transaksi, pemisahan pelatihan-pengujian yang menjaga urutan waktu, dan perbandingan baseline dalam satu prosedur yang dapat direplikasi.

METODE

Dump basis data operasional dibuat pada 15 September 2026 dan memuat transaksi TPA Regional Payakumbuh serta TPA Regional Solok. Analisis difokuskan pada TPA Regional Solok karena memiliki rangkaian bulanan berurutan pada Januari 2023-Agustus 2026, sedangkan lokasi lain memiliki jeda pencatatan panjang. Unit analisis adalah total pendapatan bulanan dalam rupiah.

Audit dimulai dari 72.000 transaksi. Data dibatasi pada kode TPA Regional Solok dan periode studi, kemudian hanya transaksi berstatus selesai dengan pendapatan serta berat bersih positif yang dipertahankan. September 2026 dikeluarkan karena dump dibuat pada pertengahan bulan. Tidak dilakukan imputasi karena seluruh 44 bulan terpilih tersusun berurutan. Pemeriksaan duplikasi ID dan tiket tidak menemukan pengulangan; seluruh transaksi terpilih juga konsisten terhadap hubungan pencatatan biaya = 20 x berat bersih.

Tabel 1 Tahapan Audit dan Seleksi Data

Tahap pemeriksaan	Jumlah	Keputusan
Seluruh transaksi dalam dump	72.000	Titik awal audit
Transaksi TPA Regional Solok	46.939	Seleksi lokasi
Transaksi Januari 2023-Agustus 2026	44.942	Seleksi periode lengkap
Status transaksi belum selesai	70	Dikeluarkan
Nilai nonpositif pada transaksi selesai	8	Dikeluarkan
Sampel analisis akhir	44.864	44 observasi bulanan
Transaksi September 2026 parsial	501	Dikeluarkan; Rp22.140.280

Sumber: hasil audit basis data penelitian.

Nilai bulanan dibentuk dengan menjumlahkan biaya seluruh transaksi valid pada bulan yang sama. Kolom nama pengemudi, pemasok, kendaraan, dan akun operator tidak digunakan atau disajikan. Akses terhadap transaksi rinci tetap memerlukan izin pengelola data.

Holt DES memperbarui level S_t dan tren T_t untuk pendapatan aktual Y_t . Prakiraan m langkah ke depan dibentuk dari level terakhir dan kelipatan tren sebagaimana Persamaan (1).

$$\begin{aligned} S_t &= \alpha Y_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1}) \\ &= \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \\ &= S_t + mT_t \end{aligned}$$

Parameter alpha dan beta berada pada interval 0-1. Inisialisasi menggunakan level awal sebesar observasi pertama dan tren awal sebesar selisih dua observasi pertama.

$$S_1 = Y_1, \quad T_1 = Y_2 - Y_1$$

Data Januari 2023-Desember 2025 digunakan untuk pelatihan (36 bulan), sedangkan Januari-Agustus 2026 menjadi holdout temporal (8 bulan). Nilai alpha dan beta diuji dari 0,01 sampai 0,99 dengan kenaikan 0,01 sehingga terdapat 9.801 pasangan. Kombinasi terbaik dipilih berdasarkan MAPE satu-langkah terendah pada data pelatihan, dihitung mulai observasi ketiga agar inisialisasi tidak membuat galat artifisial.

Validasi dilakukan secara fixed-origin: model berhenti pada Desember 2025 dan membuat prakiraan satu sampai delapan langkah tanpa melihat realisasi

2026. Baseline naif menggunakan realisasi Desember 2025 untuk seluruh horizon. Akurasi dinilai dengan MAPE, MAE, dan RMSE pada Persamaan (3), dengan e_t menyatakan selisih aktual dan prakiraan.

$$\begin{aligned} MAPE &= \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right| \\ &= \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y_t - \hat{Y}_t| \\ &= \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2} \end{aligned} \quad (1)$$

Setelah evaluasi, parameter terpilih diestimasi ulang pada seluruh 44 bulan untuk membentuk prakiraan September 2026-Agustus 2027. Korelasi lag-12 dihitung sebagai diagnostik awal pola tahunan dan tidak digunakan dalam optimasi parameter.

(2)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel akhir mencakup 44.864 transaksi, berat bersih 88.479.672 kg, dan pendapatan kumulatif Rp1.769.593.440. Rata-rata pendapatan bulanan sebesar Rp40.218.033 dengan simpangan baku Rp6.278.654. Nilai minimum Rp14.891.600 terjadi pada Agustus 2023 dari 377 transaksi, sedangkan nilai maksimum Rp51.867.360 terjadi pada April 2024. Observasi minimum dipertahankan karena memenuhi pemeriksaan status, nilai, dan konsistensi antar-kolom.

Tabel 2 Ringkasan Tahunan Pendapatan TPA Regional Solok

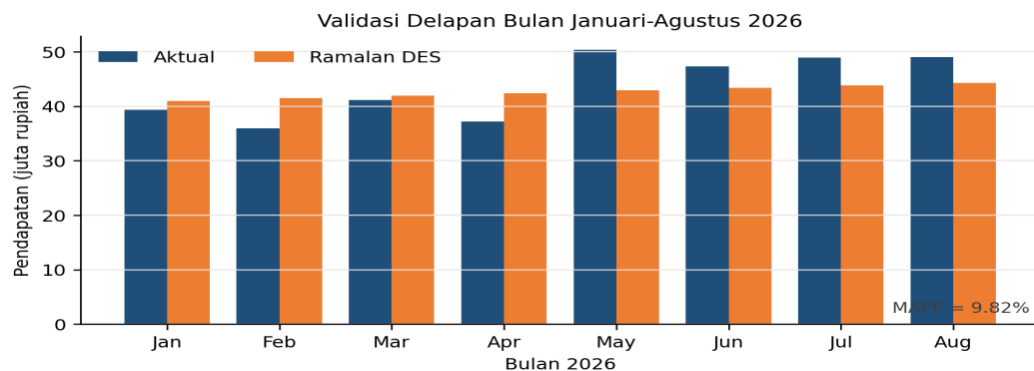
Tahun	Bulan	Transaksi	Berat bersih (kg)	Pendapatan	Rata-rata per bulan
2023	12	10.890	21.619.346	Rp432.386.920	Rp36.032.243
2024	12	12.152	25.243.818	Rp504.876.360	Rp42.073.030

Tahun	Bulan	Transaksi	Berat bersih (kg)	Pendapatan	Rata-rata per bulan
2025	12	13.014	24.152.802	Rp483.056.040	Rp40.254.670
2026 (Jan-Agu)	8	8.808	17.463.706	Rp349.274.120	Rp43.659.265

Sumber: hasil agregasi transaksi valid. Tahun 2026 hanya mencakup Januari-Agustus

Pendapatan 2025 turun 4,32% dibandingkan 2024. Meskipun demikian, rata-rata bulanan Januari-Agustus 2026 sebesar Rp43.659.265 atau 8,46% lebih tinggi daripada rata-rata bulanan 2025. Perbedaan antara total tahunan dan rata-rata periode parsial menunjukkan bahwa perbandingan harus memakai cakupan bulan yang setara. Korelasi lag-12 sebesar 0,082 belum menunjukkan pola tahunan yang kuat dan stabil, sehingga pemakaian model tren nonmusiman dapat diterima untuk deret ini.

Pencarian grid menghasilkan $\alpha=0,73$ dan $\beta=0,24$. Nilai α yang relatif tinggi menunjukkan level model cepat merespons observasi terbaru, sedangkan β yang lebih rendah membuat pembaruan tren lebih halus. Pada pelatihan, model menghasilkan MAPE 15,98%, MAE Rp5,28 juta, dan RMSE Rp7,46 juta. Galat pelatihan dipengaruhi perubahan tajam yang sulit diprediksi, termasuk penurunan pada Agustus 2023.



Gambar 1 Perbandingan Realisasi dan Prakiraan pada Holdout

Sumber: hasil pengolahan. Nilai disajikan dalam juta rupiah.

Tabel 3 Akurasi Model pada Data Pelatihan dan Holdout

Model	Data	MAPE	MAE	RMSE
Holt DES	Pelatihan	15,98%	Rp5.282.910,81	Rp7.457.042,36
Holt DES	Holdout	9,82%	Rp4.292.304,48	Rp4.736.161,74
Naif tetap	Holdout	11,77%	Rp5.241.220,00	Rp5.805.718,05

Sumber: hasil pengolahan. Holdout mencakup Januari-Agustus 2026.

Pada holdout, Holt DES mencapai MAPE 9,82%, MAE Rp4,29 juta, dan RMSE Rp4,74 juta. Kesalahan absolut persentase bulanan berkisar 2,04%-15,35%. Model cenderung terlalu tinggi

pada Januari-April 2026, kemudian terlalu rendah pada Mei-Agustus ketika realisasi meningkat. Pola tersebut memperlihatkan jeda respons terhadap titik balik.

Baseline naif menghasilkan MAPE

11,77%, MAE Rp5,24 juta, dan RMSE Rp5,81 juta. Dibandingkan baseline, DES menurunkan MAPE 16,54%, MAE 18,10%, dan RMSE 18,42%. Perbaikan pada ketiga ukuran menunjukkan bahwa komponen level dan tren menambah informasi dibandingkan sekadar mengulang nilai terakhir. Temuan ini searah dengan penerapan Holt DES pada deret yang memiliki tren dan fluktuasi, walaupun angka akurasi antarstudi tidak

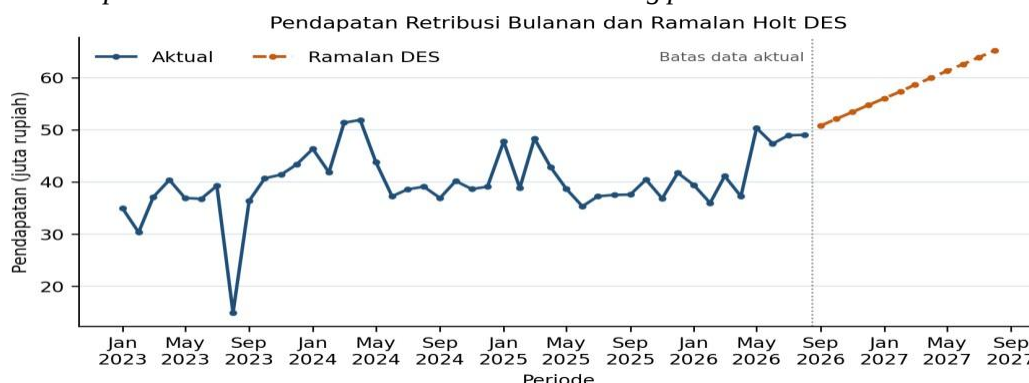
dapat dibandingkan langsung karena skala dan horizon berbeda (Selasakmida et al., 2021; Tarigan, 2023).

Estimasi ulang pada seluruh data menghasilkan level akhir Rp49.462.797,57 dan tren positif Rp1.310.176,66 per bulan. Berdasarkan keadaan akhir tersebut, prakiraan 12 bulan bergerak dari Rp50.772.974 pada September 2026 menjadi Rp65.184.917 pada Agustus 2027.

Tabel 4 Prakiraan Pendapatan Retribusi September 2026-Agustus 2027

Periode	Prakiraan	Periode	Prakiraan
Sep 2026	Rp50.772.974	Mar 2027	Rp58.634.034
Okt 2026	Rp52.083.151	Apr 2027	Rp59.944.211
Nov 2026	Rp53.393.328	Mei 2027	Rp61.254.388
Des 2026	Rp54.703.504	Jun 2027	Rp62.564.564
Jan 2027	Rp56.013.681	Jul 2027	Rp63.874.741
Feb 2027	Rp57.323.858	Agu 2027	Rp65.184.917

Sumber: prakiraan titik Holt DES setelah estimasi ulang pada seluruh observasi.



Gambar 2 Deret Aktual dan Prakiraan Pendapatan Dua Belas Bulan

Sumber: hasil pengolahan. Garis vertikal menunjukkan batas data aktual dan periode prakiraan.

Total prakiraan September 2026-Agustus 2027 mencapai Rp695.747.350 atau 37,54% lebih tinggi daripada realisasi 12 bulan sebelumnya sebesar Rp505.846.980. Kenaikan tersebut bukan target normatif, tetapi konsekuensi matematis dari level terakhir dan tren positif. Nilainya lebih tepat dipahami sebagai baseline model untuk membantu perencanaan kas dan pemantauan deviasi.

Hasil penelitian dibatasi oleh panjang deret 44 bulan dan satu lokasi.

Model bersifat univariat sehingga tidak memasukkan tarif, hari layanan, inflasi, cuaca, kebijakan, atau perubahan cakupan pelanggan. Penyebab operasional nilai rendah pada Agustus 2023 juga belum diverifikasi melalui dokumen lapangan. Selain itu, evaluasi memakai satu fixed-origin holdout, sedangkan Holt linear meneruskan tren konstan dan dapat menghasilkan prakiraan berlebih pada horizon panjang (Hyndman & Athanasopoulos, 2021). Dengan batasan

tersebut, hasil penelitian memberikan bukti awal yang terukur, bukan kepastian realisasi penerimaan.

SIMPULAN

Pengolahan basis data menghasilkan deret pendapatan bulanan yang konsisten dari 44.864 transaksi valid TPA Regional Solok. Holt DES dengan $\alpha=0,73$ dan $\beta=0,24$ mampu mengikuti perubahan level dan tren serta memberikan galat holdout lebih rendah daripada baseline naif pada MAPE, MAE, dan RMSE. Keunggulan tersebut menunjukkan bahwa informasi tren memberi nilai tambah untuk estimasi jangka pendek pada data ini. Prakiraan 12 bulan membentuk baseline penerimaan sebesar Rp695.747.350 dengan kecenderungan meningkat. Makna utama hasil ini bukan kepastian kenaikan pendapatan, melainkan tersedianya acuan kuantitatif yang dapat dibandingkan dengan realisasi dan kondisi operasional. Karena proyeksi berasal dari tren linear dan variabel tunggal, penggunaannya tetap harus ditempatkan sebagai alat bantu perencanaan, bukan pengganti penilaian kebijakan dan operasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriyati, A., & Rohaeti, E. (2020). Forecasting anorganic waste volume after the implementation of programs reduce, reuse, and recycle in Bogor City using the double exponential smoothing method. *Journal of Science Innovare*, 3(2), 28-31. 7
- Artiyati, N., & Utari, D. T. (2024). Implementasi metode double exponential smoothing dalam peramalan nilai PDRB Kota Tangerang Selatan 2023-2027. *Emerging Statistics and Data Science Journal*, 2(1), 77-84.
- <https://journal.uui.ac.id/esds/arcle/viw/30434>
- Fikrianto, M. H., & Sukmono, T. (2025). Forecasting Sidoarjo local tax revenue using exponential smoothing models. *Indonesian Journal of Law and Economics Review*, 20(4).
- Holt, C. C. (2004). Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages. *International Journal of Forecasting*, 20(1), 5-10. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.20>
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: Principles and practice* (3rd ed.). OTexts. <https://otexts.com/fpp3/>
- Lina, L., Rahman, A. N., & Isnurani. (2024). Penerapan metode double exponential smoothing dari Brown untuk prediksi pendapatan minimarket. *Jurnal Lebesgue: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika dan Statistika*, 5(1), 429-440. Pemerintah Republik Indonesia.
- (2022). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2022 tentang Hubungan Keuangan antara Pemerintah Pusat dan Pemerintahan Daerah. *Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2022 Nomor 4*.
- Selasakmida, A. D., Tarno, & Wuryandari, T. (2021). Perbandingan metode double exponential smoothing Holt dan fuzzy time series Chen untuk peramalan harga paladium. *Jurnal Gaussian*, 10(3), 325-336.
- Tarigan, V. (2023). Penerapan metode double exponential smoothing untuk memprediksi jumlah penjualan springbed di PT Masindo Karya Prima. *Jurnal Informatika Polinema*, 9(3), 339-346.
- UPTD Persampahan Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Sumatera Barat. (2023). Laporan RKL-RPL TPA Sampah Regional Solok semester II tahun 2023. PPID Provinsi Sumatera Barat. <https://ppid.sumbarprov.go.id/home/download/493752ce-e390-4404-8c2c-2c880714aed9>