

Analisis Perencanaan Kapasitas Armada (*Fleet Capacity Planning*) dalam Memenuhi Permintaan Layanan Pengangkutan Sampah Domestik di Kota Gunungsitoli

Aulibenatanael Oscar Zebua¹, Martha Surya Dinata Mendrofa²,

Jeliswan Berkat Iman Jaya Gea³, Noviza Asni Waruwu⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Manajemen, Fakultas Ekonomi, Universitas Nias

ARTICLE INFO

Article history:

Received Sep 9, 2026

Revised Sep 14, 2026

Accepted Sep 26, 2026

Keywords:

Perencanaan Kapasitas Armada,
Permintaan Layanan,
Kapasitas Efektif, Kesenjangan
Kapasitas,
Pengangkutan Sampah Domestik

ABSTRACT

Pertumbuhan penduduk Kota Gunungsitoli mendorong peningkatan timbulan sampah domestik dalam sistem pengangkutan sampah Dinas Lingkungan Hidup. Namun, data tingkat pelayanan tahun 2021-2025 menunjukkan capaian yang hanya berkisar 53–60%, mengindikasikan adanya kesenjangan antara permintaan layanan kapasitas armada yang tersedia. Penelitian ini bertujuan menganalisis besaran permintaan layanan saat ini dan proyeksinya, mengukur kapasitas efektif armada eksisting, menganalisis kesenjangan kapasitas, serta merumuskan rekomendasi perencanaan kapasitas armada yang optimal. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif, dengan data dokumentasi, observasi, dan wawancara tidak terstruktur sebagai data pendukung. Permintaan layanan dihitung melalui proyeksi penduduk metode geometrik dan standar timbulan SNI 19-3983-1995, sedangkan kapasitas efektif armada dianalisis menggunakan metode *Hauled Container System* dan *Stationary Container System*. Penelitian menunjukkan timbulan sampah diproyeksikan meningkat dari 382,98 m³/hari (2026) menjadi 388,33 m³/hari (2030), sementara kapasitas efektif armada eksisting (5 *dump truck* dan 2 *arm roll truck*) hanya sebesar 108 m³/hari, sehingga terjadi kesenjangan kapasitas yang melebar hingga -280,33 m³/hari pada tahun 2030. Kesenjangan ini diperparah oleh keterbatasan aksesibilitas jalan akibat topografi kota yang berbukit dan curam, sehingga sebagian wilayah belum terjangkau layanan pengangkutan. Untuk mengatasinya, direkomendasikan penambahan armada secara bertahap sebanyak 7 unit *dump truck* dan 12 unit *arm roll truck* hingga tahun 2030, disertai strategi pelengkap berupa pengelolaan sampah mandiri berbasis sumber, kemitraan dengan pengepul, serta pembangunan TPS berbasis 3R. Penelitian ini memberikan kontribusi praktis bagi Dinas Lingkungan Hidup Kota Gunungsitoli dalam menyusun kebijakan pengadaan sarana persampahan yang lebih terukur, tepat sasaran, dan berkelanjutan.

This is an open access article under the [CC BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license.



Corresponding Author:

Aulibenatanael Oscar Zebua

Program Studi Manajemen, Fakultas Ekonomi, Universitas Nias

Jln. Karet No. 30 Kelurahan Ilir, Kec. Gunungsitoli. Kota Gunungsitoli

Email: zebuaaulibe@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk di wilayah perkotaan merupakan fenomena yang secara langsung mempengaruhi peningkatan aktivitas konsumsi masyarakat (Wulandari & Mulyanto, 2024). Peningkatan aktivitas tersebut berimplikasi pada bertambahnya timbulan sampah domestik yang harus dikelola secara sistematis. Kondisi ini menuntut adanya sistem pengelolaan sampah yang efektif dan berkelanjutan, terutama dalam aspek operasional pengangkutan sebagai salah satu

tahapan penting dalam keseluruhan sistem persampahan (Idris et al., 2025). Dalam konteks pemerintahan daerah, pengelolaan sampah merupakan bagian dari pelayanan publik yang menjadi tanggung jawab Dinas Lingkungan Hidup, sehingga kinerja layanan pengangkutan sampah menjadi indikator penting dalam menilai kualitas pelayanan yang diberikan kepada masyarakat.

Pengelolaan sampah di Indonesia pada dasarnya telah diatur melalui Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah yang menegaskan bahwa pemerintah dan pemerintah daerah memiliki tanggung jawab untuk menjamin terselenggaranya pengelolaan sampah yang baik dan berwawasan lingkungan. Ketentuan tersebut kemudian dijabarkan lebih lanjut dalam regulasi di tingkat daerah, salah satunya Pemerintah Kota Gunungsitoli (2015) yang mengatur penyelenggaraan layanan persampahan di wilayah kota, termasuk pengangkutan sampah dari Tempat Penampungan Sementara (TPS) ke TPA, pengaturan wilayah pelayanan, serta pelaksanaan standar pelayanan kebersihan sebagai bagian dari pelayanan publik. Dengan demikian, pengelolaan sampah khususnya pada pengangkutan merupakan bagian dari pelayanan publik yang menjadi kewajiban pemerintah daerah dalam rangka mewujudkan lingkungan yang bersih dan sehat bagi masyarakat sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Sistem pengangkutan sampah yang ideal harus mampu menjangkau seluruh wilayah pelayanan secara tepat waktu, dengan frekuensi yang sesuai dan didukung oleh kapasitas operasional yang memadai (Manulangga & dkk., 2024).

Dalam sistem layanan pengangkutan sampah, proses tersebut dapat dipahami sebagai *reverse logistic* atau rantai pasok terbalik, yaitu aliran material dari konsumen menuju titik pengolahan atau pembuangan akhir (Paduloh et al., 2023). Aliran balik dalam sistem persampahan tersebut dipengaruhi oleh tingkat permintaan yang dalam konteks ini direpresentasikan oleh besarnya timbulan sampah yang dihasilkan masyarakat (Widodo & Hadid, 2025). Permintaan terhadap layanan pengangkutan sampah dapat dikategorikan sebagai permintaan turunan (*derived demand*). Permintaan ini muncul sebagai akibat dari aktivitas utama lainnya, yaitu aktivitas konsumsi masyarakat yang menghasilkan sampah (Tumpu & Waris, 2024). Permintaan layanan pengangkutan sampah tidak berdiri sendiri, melainkan bergantung pada variabel lain seperti jumlah penduduk, pola konsumsi, dan karakteristik wilayah. Karakteristik layanan ini menuntut adanya pengelolaan kapasitas yang tepat, karena ketidaksesuaian antara permintaan layanan dan kapasitas yang tersedia akan berdampak pada kualitas pelayanan (Suartika & dkk., 2024). Oleh karena itu, konsep manajemen kapasitas khususnya dalam bentuk perencanaan kapasitas menjadi penting untuk memastikan bahwa sumber daya yang dimiliki mampu memenuhi kebutuhan layanan secara efektif dan efisien.

Keberadaan armada pengangkutan menjadi faktor utama dalam mendukung operasional sistem persampahan. Armada tidak hanya berfungsi sebagai alat angkut, tetapi juga sebagai penentu kapasitas layanan yang dapat diberikan. Di Kota Gunungsitoli, armada persampahan terdiri dari beberapa jenis kendaraan yang memiliki fungsi berbeda dalam sistem pengelolaan. Kendaraan roda tiga berperan sebagai sarana pengumpulan yang mengangkut sampah dari sumber menuju Tempat Penampungan Sementara (TPS). Selanjutnya, proses pengangkutan utama dari TPS menuju Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) dilakukan oleh armada *dump truck* dan *arm roll truck* dengan sistem kontainer.

Tabel 1 Data Persentase Penanganan Sampah Tahun 2021-2025

No	Tahun	Jumlah penduduk	Timbulan Sampah (Ton/Tahun)	Sampah yang diangkut (Ton)	Persentase Pelayanan
1.	2021	136.873	44.513	24.758	55,62%
2.	2022	137.518	44.723	24.912	55,70%
3.	2023	137.924	44.855	23.879	53,24%
4.	2024	138.297	44.976	24.463	54,39%
5.	2025	138.784	45.134	27.332	60,56%

Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Kota Gunungsitoli, 2026

Berdasarkan data Dinas Lingkungan Hidup Kota Gunungsitoli, tingkat pelayanan pengangkutan sampah dalam kurun waktu 2021 hingga 2025 masih tergolong belum optimal, dengan persentase pelayanan yang hanya berada pada kisaran 53% hingga 60%. Kondisi ini menunjukkan bahwa masih terdapat sebagian timbulan sampah yang belum dapat terlayani secara

maksimal, meskipun jumlah penduduk dan timbulan sampah terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Keterbatasan tingkat pelayanan tersebut dipengaruhi oleh kapasitas armada pengangkutan sampah yang tersedia. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan pihak pengelola, yaitu Dinas Lingkungan Hidup Kota Gunungsitoli, diketahui bahwa jumlah armada yang beroperasi saat ini terdiri dari 5 unit dump truck dan 2 unit arm roll. Dalam operasionalnya, dump truck rata-rata melakukan 2-4 ritasi per hari, sedangkan arm roll sekitar 3-4 ritasi per hari. Sistem pengangkutan sampah di Kota yang masih didominasi sistem individual langsung (*door-to-door*) dan sebagian menggunakan sistem komunal.

Selain itu, belum seluruh wilayah Kota Gunungsitoli dapat terlayani secara optimal akibat kendala aksesibilitas, seperti kondisi jalan yang rusak, sempit, dan curam, sehingga tidak memungkinkan untuk dilalui oleh kendaraan pengangkut. Oleh karena itu, pelayanan pengangkutan sampah saat ini lebih diprioritaskan pada wilayah yang padat penduduk, mudah diakses, serta memiliki jarak yang relatif dekat dengan TPS dan TPA. Di sisi lain, meskipun pemeliharaan armada telah dilakukan secara rutin dan berkala, tingginya intensitas penggunaan, faktor usia kendaraan, serta beban angkut sampah yang berat yang berpotensi menyebabkan korosi, mengakibatkan armada lebih cepat mengalami kerusakan dan berdampak pada penurunan kinerja operasional.

Kondisi tersebut juga dirasakan langsung oleh masyarakat sebagai pengguna layanan. Berdasarkan hasil wawancara, diketahui bahwa keterlambatan pengangkutan sampah masih terjadi, salah satunya disebabkan oleh kendaraan pada rute tertentu yang sedang dalam proses perbaikan. Selain itu, terdapat wilayah pelayanan yang frekuensi pengangkutannya hanya dilakukan sebanyak dua hingga tiga kali dalam satu minggu, sehingga sebagian masyarakat menilai layanan yang diberikan masih kurang memadai (Mauladina & dkk., 2024). Di sisi lain, terdapat kondisi di mana jadwal pengangkutan dilakukan pada dini hari, sehingga sebagian sampah rumah tangga tidak terangkut pada waktu tersebut. Kondisi ini menunjukkan bahwa pelayanan pengangkutan sampah yang dirasakan masyarakat masih menghadapi berbagai keterbatasan dalam pelaksanaannya.

Berdasarkan uraian tersebut, terlihat adanya kesenjangan antara kapasitas armada pengangkutan sampah yang tersedia dengan kebutuhan pelayanan di Kota Gunungsitoli. Keterbatasan kapasitas armada serta tingginya kebutuhan pelayanan menunjukkan bahwa perencanaan kapasitas armada yang ada saat ini belum sepenuhnya mampu memenuhi kebutuhan pengangkutan sampah secara optimal (Monoarfa, 2024). Permasalahan yang muncul dapat diinterpretasikan sebagai adanya potensi kesenjangan antara permintaan layanan (*demand*) dengan kapasitas armada pengangkutan (*supply*). Kesenjangan ini tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah armada, tetapi juga oleh faktor-faktor operasional seperti waktu siklus pengangkutan, tingkat utilisasi kendaraan, kondisi teknis armada serta sistem pengangkutan sampah (Hadisbroto et al., 2025). Analisis kapasitas armada perlu dilakukan secara komprehensif dengan mempertimbangkan berbagai aspek tersebut, sehingga dapat diperoleh gambaran yang lebih akurat mengenai kemampuan layanan yang tersedia.

2. METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif Menurut Sugiyono (2022), penelitian kuantitatif merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis fenomena berdasarkan data numerik dengan pendekatan objektif, sedangkan penelitian deskriptif bertujuan untuk menggambarkan kondisi secara sistematis dan faktual sesuai keadaan di lapangan. Pendekatan kuantitatif deskriptif bertujuan untuk menggambarkan kondisi operasional di lapangan secara objektif, sistematis, dan faktual berdasarkan data numerik.

Lokasi dan Jadwal Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Dinas Lingkungan Hidup Kota Gunungsitoli, yang berperan sebagai instansi pemerintah daerah dalam penyelenggaraan layanan pengelolaan sampah, khususnya pada kegiatan pengangkutan sampah domestik. Pemilihan lokasi penelitian ini didasarkan pada pertimbangan bahwa instansi tersebut memiliki kewenangan dan tanggung jawab dalam perencanaan serta operasional armada pengangkutan sampah di wilayah Kota Gunungsitoli yang dilaksanakan pada bulan Juni sampai Juli 2026.

Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini mencakup dua aspek variabel mandiri, yaitu data kuantitatif volume timbulan sampah domestik di wilayah pelayanan Kota Gunungsitoli untuk aspek permintaan (*demand*), dan seluruh unit armada truk pengangkut sampah domestik yang terdaftar di bawah Dinas Lingkungan Hidup Kota Gunungsitoli untuk aspek pasokan (*supply*). Sementara itu, sampel untuk variabel permintaan diambil dari data historis *volume* timbulan sampah harian serta laju pertumbuhan penduduk beberapa tahun terakhir sebagai dasar pemodelan proyeksi matematis, sedangkan sampel untuk variabel kapasitas menggunakan *teknik* sampel jenuh terhadap seluruh armada aktif yang berjumlah 5 unit *Dump Truck* dan 2 unit *Armroll Truck*, yang akan diobservasi langsung di lapangan guna menghitung kapasitas efektif, waktu siklus (*cycle time*), dan frekuensi ritase riilnya dalam memenuhi target pengangkutan.

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui dokumentasi sebagai sumber data utama berupa arsip, laporan, dan dokumen resmi dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Gunungsitoli yang mencakup data timbulan sampah domestik, jumlah dan jenis armada, kapasitas kendaraan, serta data operasional ritasi dan waktu siklus pengangkutan; selanjutnya observasi langsung di lapangan untuk memverifikasi kesesuaian data dokumentasi dengan kondisi operasional aktual, khususnya aktivitas pengangkutan sampah dan kondisi armada; serta wawancara tidak terstruktur kepada pihak bidang pengelolaan sampah Dinas Lingkungan Hidup Kota Gunungsitoli sebagai data pendukung untuk memperoleh informasi tambahan mengenai kondisi operasional, kendala di lapangan, serta rekomendasi pelayanan yang optimal, tanpa digunakan sebagai data utama dalam analisis kuantitatif.

Teknik Analisis Data

Penelitian ini menggunakan analisis kuantitatif deskriptif analitis berbasis perencanaan kapasitas operasional, yang terdiri dari beberapa tahapan, yaitu statistik deskriptif untuk menggambarkan kondisi timbulan sampah, analisis peramalan (*forecasting*) untuk memproyeksikan permintaan layanan, analisis kapasitas armada menggunakan metode *HCS (Hauled Container System)* dan *SCS (Stationary Container System)*, analisis kesenjangan (*gap capacity*), serta analisis kebutuhan. Pemilihan teknik ini didasarkan pada tujuan penelitian yang berfokus pada penggambaran, evaluasi, dan perencanaan sistem, bukan pada pengujian pengaruh antar variabel. Teknik analisis tersebut sesuai dengan jenis data yang digunakan, yaitu data kuantitatif operasional, serta desain penelitian yang bersifat deskriptif non-eksperimental. Selain itu, terdapat konsistensi antara metode dengan rumusan masalah, tujuan, dan kerangka teoritis, di mana setiap tahapan analisis digunakan untuk menjawab permasalahan terkait timbulan sampah, permintaan layanan, kapasitas armada, kesenjangan, dan kebutuhan armada, yang didasarkan pada konsep pengelolaan persampahan dan perencanaan kapasitas (Heizer et al., 2017). Dengan demikian, metode yang digunakan telah selaras secara menyeluruh dengan tujuan dan landasan teoritis penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Analisis Permintaan Layanan (Timbulan Sampah)

Analisis permintaan layanan dalam penelitian ini merupakan tahapan untuk mengidentifikasi besarnya kebutuhan pelayanan pengangkutan sampah yang harus dipenuhi oleh Dinas Lingkungan Hidup. Permintaan layanan tersebut direpresentasikan melalui jumlah timbulan sampah yang dihasilkan oleh penduduk dalam suatu wilayah dan periode tertentu. Analisis ini menjadi dasar pada kebutuhan (*demand*). Dalam penelitian ini, analisis permintaan layanan dilakukan melalui dua tahapan utama, yaitu:

a. Proyeksi Pertumbuhan Penduduk

Proyeksi pertumbuhan penduduk dilakukan untuk memperkirakan jumlah penduduk Kota Gunungsitoli pada periode perencanaan yang akan datang. Data jumlah penduduk historis tahun 2021–2025 digunakan sebagai dasar dalam memperkirakan perkembangan jumlah penduduk hingga tahun 2030. Proyeksi ini diperlukan karena jumlah penduduk merupakan salah satu faktor yang memengaruhi besarnya timbulan sampah. Dengan adanya proyeksi jumlah penduduk,

kebutuhan layanan pengangkutan sampah pada masa mendatang dapat diperkirakan dan selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis kebutuhan kapasitas armada.

Dalam penelitian ini, proyeksi penduduk dilakukan menggunakan metode pertumbuhan geometrik. Metode ini mengasumsikan bahwa pertumbuhan penduduk berlangsung dengan tingkat pertumbuhan yang relatif tetap setiap tahunnya. Perhitungan dilakukan berdasarkan jumlah penduduk tahun dasar dan tingkat pertumbuhan penduduk rata-rata pada periode data historis. Rumus yang digunakan adalah:

$$P_t = P_0 (1 + r)^t \quad (1)$$

Keterangan :

P_t = jumlah penduduk pada tahun ke-t (jiwa)

P_0 = jumlah penduduk pada tahun dasar (jiwa)

r = laju pertumbuhan penduduk per tahun (dalam desimal)

t = selang waktu (tahun)

Berdasarkan data jumlah penduduk Kota Gunungsitoli tahun 2021–2025, diperoleh tingkat pertumbuhan penduduk yang kemudian digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk tahun 2026–2030.

Tabel 2 Jumlah Penduduk Kota Gunungsitoli 2021-2025

No.	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)
1	2021	136.873
2	2022	137.518
3	2023	137.924
4	2024	138.297
5	2025	138.784

Sumber : Data DLH, 2026

Rata-rata jumlah penduduk sebagai berikut:

P_{2021} = 136.873 jiwa

P_{2025} = 138.784 jiwa

Konstanta = 1

D_n = 4 tahun

r = $(136.873/138.784)^{1/4} - 1$
= 0,00347182 $\approx$ 0,3472%

Pertambahan penduduk dengan metode Geometrik

$P_{2026} = 138.784 (1 + 0,00347182)^1$

$P_{2026} = 139.265,84 \approx 139.266$ jiwa

Perhitungan selanjutnya sampai dengan tahun 2026 s.d 2030 dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 3. Proyeksi Jumlah penduduk tahun 2026-2030

No.	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Pertumbuhan (%)
1	2021	136.873	-
2	2022	137.518	0,47%
3	2023	137.924	0,30%
4	2024	138.297	0,27%
5	2025	138.784	0,35%
6	2026	139.266	0,35%
7	2027	139.749	0,35%
8	2028	140.235	0,35%
9	2029	140.722	0,35%
10	2030	141.210	0,35%

Sumber : Diolah Peneliti, 2026

Berdasarkan Tabel 3, jumlah penduduk Kota Gunungsitoli menunjukkan kecenderungan meningkat 0,35% dari tahun ke tahun. Jumlah penduduk pada tahun 2021 sebesar 136.873 jiwa dan

meningkat menjadi 138.784 jiwa pada tahun 2025. Berdasarkan hasil proyeksi dengan metode pertumbuhan geometrik, jumlah penduduk diperkirakan terus mengalami peningkatan hingga mencapai 141.210 jiwa pada tahun 2030.

Hasil tersebut menunjukkan adanya penambahan penduduk sekitar 2.426 jiwa selama periode proyeksi 2025-2030. Meskipun pertumbuhan penduduk relatif kecil, peningkatan jumlah penduduk tetap berpengaruh terhadap potensi peningkatan timbulan sampah yang harus dilayani. Oleh karena itu, hasil proyeksi penduduk tahun 2026-2030 selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan timbulan sampah pada berikutnya.

b. Perhitungan Timbulan Sampah

Setelah diperoleh hasil proyeksi jumlah penduduk, tahap selanjutnya adalah menghitung estimasi timbulan sampah yang dihasilkan oleh penduduk Kota Gunungsitoli. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui besarnya permintaan layanan pengangkutan sampah (*demand*) dalam satuan volume per hari yang harus dipenuhi oleh armada pengangkutan sampah.

Perhitungan timbulan sampah dalam penelitian ini mengacu pada SNI 19-3983-1995, dengan kategori kota sedang yang memiliki standar timbulan sampah sebesar 2,75 liter/orang/hari. Nilai tersebut dikonversikan ke dalam satuan meter kubik menjadi 0,00275 m³/orang/hari. Besarnya timbulan sampah dihitung berdasarkan jumlah penduduk hasil proyeksi menggunakan persamaan:

$$Q = P \times q \quad (2)$$

Keterangan:

Q = total timbulan sampah (kg/hari atau m³/hari)

P = jumlah penduduk (jiwa)

q = timbulan sampah per kapita (kg/orang/hari)

Perhitungan yang sama dilakukan untuk tahun 2027-2030. Hasil perhitungan timbulan sampah berdasarkan proyeksi jumlah penduduk disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 4. Proyeksi Timbulan sampah Tahun 2026-2030

No.	Tahun	Proyeksi Jumlah Penduduk (Jiwa)	Standar Timbulan (m ³ /orang/hari)	Timbulan Harian (m ³ /hari)	Timbulan Tahunan (m ³ /tahun)
1	2026	139.266	0,00275	382,98	139.788,23
2	2027	139.749	0,00275	384,31	140.273,06
3	2028	140.235	0,00275	385,65	140.760,94
4	2029	140.722	0,00275	386,99	141.249,70
5	2030	141.210	0,00275	388,33	141.739,28

Sumber : Diolah Peneliti, 2026

Berdasarkan Tabel 14, timbulan sampah Kota Gunungsitoli diperkirakan mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk. Pada tahun 2026, timbulan sampah diperkirakan sebesar 382,98 m³/hari, kemudian meningkat menjadi 388,33 m³/hari pada tahun 2030. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan kebutuhan layanan pengangkutan sampah sebesar sekitar 5,87 m³/hari selama periode 2026-2030.

Analisis Kapasitas Efektif Armada Sampah

Analisis kapasitas efektif dilakukan untuk mengetahui kemampuan aktual armada pengangkutan sampah dalam memenuhi permintaan layanan berdasarkan kondisi operasional di lapangan. Kapasitas efektif tidak hanya ditentukan oleh kapasitas bak kendaraan, tetapi juga dipengaruhi oleh waktu yang dibutuhkan kendaraan untuk melakukan satu siklus pengangkutan, jumlah ritasi yang dapat dilakukan dalam satu hari, serta pola pengumpulan dan pengangkutan sampah yang diterapkan. Oleh karena itu, analisis ini digunakan untuk memperoleh gambaran kapasitas armada yang lebih realistis dibandingkan hanya menggunakan kapasitas nominal kendaraan.

Dalam penelitian ini, perhitungan kapasitas efektif dilakukan dengan menggunakan pendekatan *Hauled Container System (HCS)* dan *Stationary Container System (SCS)* yang disesuaikan dengan pola operasional pengangkutan sampah di Kota Gunungsitoli. Kedua pendekatan tersebut digunakan untuk menganalisis waktu operasional kendaraan dalam melaksanakan kegiatan

pengumpulan, pengangkutan, pembongkaran, dan perjalanan kembali, sehingga dapat diketahui kemampuan armada dalam melakukan pelayanan selama waktu kerja yang tersedia. Perhitungan menggunakan parameter waktu dan operasional yang diperoleh dari hasil observasi.

1. Kapasitas pengangkutan dengan sistem HCS

Waktu pengambilan per ritasi (P_{HCS}) ditentukan dengan rumus berikut

$$P_{HCS} = P_C + U_C + D_{bc} \quad (3)$$

Waktu untuk pengisian & mengosongkan kontainer ($P_C + U_C$) = 0,4 jam/rit

Waktu untuk menempuh jarak dari kontainer ke kontainer lain/ D_{bc} = 0,17 jam/rit

Maka waktu pengambilan sekali ritasi (P_{HCS})

$$P_{HSC} = 0,6 + 0,17$$

$$P_{HSC} = 0,57$$

Untuk menghitung waktu ritasi dari sumber ke TPS atau ke TPA digunakan rumus sebagai berikut:

$$T_{HCS} = P_{HCS} + S + a + bx \quad (4)$$

Empiris muatan yang konstan terus menerus (a) = 0,068 jam/rit

Empiris muatan yang konstan (b) = 0,037 jam/km

Jarak tempuh (x) = 20,9 km/rit (jarak rata-rata dari setiap sumber ke TPA)

Waktu pengambilan (P_{HCS}) = 0,57 jam/rit

Waktu yang dibutuhkan untuk bongkar muat (S) = 0,25 jam/rit

Kecepatan truk rata-rata = 17 km/jam

Maka waktu per ritasi THCS

$$T_{HSC} = 0,57 + 0,25 + 0,068 + (0,037 \times 20,92)$$

$$T_{HSC} = 1,66 \text{ jam/rit}$$

Jumlah ritasi per kendaraan per hari untuk sistem HCS dapat dihitung dengan :

$$N_d = \frac{(H(1 - W) - (t_1 + t_2))}{T_{HCS}} \quad (5)$$

Waktu kerja (H) = 8 jam/hari

Faktor off route (w) = 0,15

Waktu dari pool kendaraan ke kontainer ke-1 (± 8 km) (t_1) = 0,13 jam

Waktu dari kontainer terakhir ke pool (± 8 km) (t_2) = 0,13 jam

Waktu per ritasi (T_{HCS}) = 1,66 jam/ritasi

Maka jumlah ritasi dalam satu hari (N_d (rit/hari)).

$$N_d = \frac{(8(1 - 0,15) - (0,13 + 0,13))}{1,66}$$

$$N_d = 3,94 \text{ rit/hari}$$

Maka jumlah ritasi dalam satu hari 3,94 rit/hari = 4 rit/hari

Berdasarkan perhitungan tersebut kemampuan ritasi satu unit *arm roll truck* adalah 3,94 ritasi perhari dengan 1,66 jam untuk sekali ritasi dan kondisi ini berlaku untuk operasional jam kerja selama 8 jam.

2. Kapasitas pengangkutan dengan sistem SCS

Untuk menghitung waktu ritasi dari sumber sampah ke TPA digunakan rumus sebagai berikut:

$$T_{SCS} = P_{SCS} + S + a + bx \quad (6)$$

Waktu rata-rata pengambilan sekali ritasi (P_{SCS}) adalah 1,57 jam/ritasi

Waktu yang dibutuhkan untuk bongkar muat (S) = 0,25 jam/rit
 Empiris muatan yang konstan terus menerus (a) = 0,068 jam/rit
 Empiris muatan yang konstan (b) = 0,037 jam/km
 Jarak tempuh (x) = 20,2 km/rit

$$T_{SCS} = (1,57 + 0,25 + 0,068 + (0,037 \times 20,2))$$

$$T_{SCS} = 2,63 \text{ jam/rit}$$

Maka waktu per ritasi TSCS adalah 2,63 jam/rit
 Untuk menghitung ritasi dalam satu hari digunakan rumus sebagai berikut:

$$N_d = \frac{V_d}{C \times f} \quad (7)$$

Jumlah sampah yang dikumpulkan perhari (Vd) = 12 m³/hari
 Volume mobil pengumpul (C) = 6m³
 Rasio kompaksi (f) = 1

$$N_d = \frac{12 \text{ m}^3/\text{hari}}{6 \text{ m}^3 \times 1}$$

$$N_d = 2 \text{ rit/hari}$$

Maka jumlah ritasi dalam satu hari (Nd) = 2 rit/hari
 Waktu yang diperlukan per hari untuk sistem SCS dihitung dengan rumus berikut:

$$H_{SCS} = \frac{[(t_1 + t_2) + (N_d \times T_{SCS})]}{(1 - w)} \quad (8)$$

Waktu dari pool ke titik awal sumber sampah (t1)= 0,24 jam (± 20km)
 Waktu dari sumber sampah terakhir ke pool (t2)= 0,67 jam (± 20km)
 Faktor off route (w) = 0,15

$$H_{SCS} = \frac{[(0,24 + 0,67) + (2 \times 2,63)]}{(1 - 0,15)}$$

$$H_{SCS} = 7,26 \text{ jam}$$

Berdasarkan hasil pengamatan dan perhitungan HCS dan SCS terhadap kegiatan operasional pengangkutan sampah, diperoleh kemampuan ritasi efektif sebesar 2 ritasi per hari untuk dump truck dan 4 ritasi per hari untuk arm roll truck.

Dalam kapasitas efektif kapasitas armada volume bak masing-masing kendaraan sebesar 6 m³, kapasitas efektif *dump truck* adalah sebesar 12 m³ per unit per hari, yang diperoleh dari kapasitas 6 m³ dikalikan dengan 2 ritasi per hari. Sementara itu, kapasitas efektif arm roll truck adalah sebesar 24 m³ per unit per hari, yang diperoleh dari kapasitas 6 m³ dikalikan dengan 4 ritasi per hari.

Pada kondisi eksisting, DLH Kota Gunungsitoli mengoperasikan 5 unit *dump truck* dan 2 unit *arm roll truck*. Dengan demikian, lima unit dump truck memiliki kapasitas pelayanan sebesar 60 m³ per hari, sedangkan dua unit arm roll truck memiliki kapasitas pelayanan sebesar 48 m³ per hari. Secara keseluruhan, kapasitas efektif armada yang tersedia mencapai 108 m³ per hari.

Tabel 5. Kapasitas Pengangkutan Sampah

Jenis Armada	Jumlah Unit	Kapasitas Bak (m ³)	Ritasi Efektif/Hari	Kapasitas Efektif/Unit (m ³ /hari)	Total Kapasitas Efektif (m ³ /hari)
Dump truck	5	6	2	12	60
Arm roll truck	2	6	4	24	48
Total	7				108

Sumber: Diolah Peneliti, 2026

Berdasarkan tabel tersebut, dapat diketahui bahwa kondisi eksisting armada memiliki kemampuan untuk mengangkut sampah sebesar 108 m³ per hari apabila seluruh unit beroperasi sesuai dengan ritasi efektif yang telah ditetapkan. Kapasitas tersebut selanjutnya menjadi nilai kapasitas penawaran (Qs) dalam analisis gap kapasitas.

Nilai 108 m³ per hari merupakan kapasitas berdasarkan kondisi operasional efektif, bukan kapasitas teoritis maksimum kendaraan. Hal ini penting karena kemampuan pengangkutan aktual dipengaruhi oleh waktu pelayanan, waktu perjalanan, proses pembongkaran, kondisi kendaraan, serta keterbatasan akses pada wilayah pelayanan tertentu.

Analisis Kesenjangan Permintaan dan Kapasitas

Analisis kesenjangan permintaan dan kapasitas dilakukan untuk mengetahui kemampuan armada pengangkutan sampah dalam memenuhi kebutuhan pelayanan berdasarkan perbandingan antara kapasitas pelayanan (*supply*) dan permintaan layanan (*demand*). Dengan membandingkan kedua komponen tersebut, dapat diketahui apakah kapasitas armada yang tersedia telah mampu memenuhi kebutuhan pengangkutan sampah atau masih terdapat kekurangan kapasitas.

Nilai permintaan layanan (Qd) diperoleh dari hasil perhitungan proyeksi timbulan sampah tahun 2026-2030. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, timbulan sampah diproyeksikan sebesar 382,98m³/hari pada tahun 2026 dan terus meningkat hingga 388,33m³/hari pada tahun 2030.

Sementara itu, nilai kapasitas pelayanan (Qs) diperoleh dari hasil analisis kapasitas efektif armada. Berdasarkan hasil analisis tersebut, kapasitas pelayanan armada ditentukan berdasarkan jumlah armada yang tersedia, kapasitas angkut kendaraan, faktor pemadatan, serta jumlah ritasi yang dapat dilakukan dalam satu hari. Dengan kondisi operasional yang digunakan dalam penelitian, yaitu 5 unit dump truck dengan 2 ritasi per hari dan 2 unit arm roll dengan 4 ritasi per hari, diperoleh kapasitas pelayanan sebesar 108 m³/hari.

Untuk mengetahui besarnya kesenjangan antara kapasitas pelayanan dan permintaan layanan, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$Gap = Qs - Qd \quad (9)$$

Keterangan:

Gap = selisih kapasitas dan permintaan (m³/hari)

Qs = kapasitas pelayanan (m³/hari)

Qd = permintaan layanan (m³/hari)

Hasil perhitungan kesenjangan antara permintaan dan kapasitas pelayanan tahun 2026-2030 disajikan pada tabel 16.

Tabel 6. Gap Capacity

No.	Tahun	Penduduk (Jiwa)	Qd (m ³ /hari)	Qs (m ³ /hari)	Gap (m ³ /hari)	Kondisi
1	2026	139.266	382,98	108	-274,98	<i>Under capacity</i>
2	2027	139.751	384,31	108	-276,31	<i>Under capacity</i>

No.	Tahun	Penduduk (Jiwa)	Qd (m ³ /hari)	Qs (m ³ /hari)	Gap (m ³ /hari)	Kondisi
3	2028	140.238	385,65	108	-277,65	<i>Under capacity</i>
4	2029	140.727	386,99	108	-278,99	<i>Under capacity</i>
5	2030	141.218	388,33	108	-280,33	<i>Under capacity</i>

Sumber : Diolah Peneliti, 2026

Berdasarkan hasil perhitungan, seluruh nilai Gap bernilai negatif, sehingga kondisi kapasitas armada selama periode proyeksi 2026–2030 berada pada kondisi *under capacity*. Pada tahun 2026, kapasitas pelayanan yang tersedia sebesar 108 m³/hari belum mampu memenuhi permintaan sebesar 382,98 m³/hari. Kondisi tersebut semakin meningkat pada tahun-tahun berikutnya karena permintaan layanan terus bertambah, sedangkan kapasitas pelayanan yang digunakan dalam analisis tetap sebesar 108 m³/hari.

Dengan demikian, terdapat kesenjangan kapasitas yang perlu menjadi perhatian dalam perencanaan armada pengangkutan sampah. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa kapasitas armada yang tersedia belum sebanding dengan kebutuhan pelayanan berdasarkan proyeksi timbulan sampah. Besarnya gap tersebut selanjutnya dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan kebutuhan tambahan armada atau alternatif peningkatan kapasitas pelayanan agar permintaan layanan dapat terpenuhi.

Optimalisasi Kapasitas Armada Pengangkutan yang dibutuhkan

Analisis optimalisasi kapasitas armada dilakukan untuk mengetahui jumlah armada yang dibutuhkan dalam memenuhi permintaan layanan pengangkutan sampah berdasarkan kapasitas efektif masing-masing jenis kendaraan. Analisis ini dilakukan dengan mempertimbangkan besarnya timbulan sampah yang menjadi permintaan layanan serta kemampuan angkut armada berdasarkan kapasitas kendaraan dan ritasi efektif yang telah diperoleh pada analisis sebelumnya. Dengan demikian, hasil perhitungan tidak hanya menunjukkan kondisi kapasitas armada yang tersedia saat ini, tetapi juga memberikan gambaran mengenai jumlah armada yang secara teoritis diperlukan untuk memenuhi kebutuhan pengangkutan sampah.

Kebutuhan alat pengangkut sampah pada Kota Gunungsitoli sesuai dengan analisa adalah:

1. Kebutuhan *Dump Truck* kapasitas 6 m³ daya angkut 12 m³/hari

Dump Truck ditempatkan dilokasi titik pengumpulan sebagai lokasi timbulan sampah disebarkan untuk 9 rute, dengan masing-masing 1 rute dengan 2 kali ritasi. Dari 9 rute yang digunakan sebagai basis perhitungan kebutuhan *dump truck* merupakan asumsi perencanaan indikatif, bukan hasil optimasi rute formal. Asumsi ini didasarkan pada observasi dan wawancara yang menunjukkan bahwa 6 rute eksisting belum sepenuhnya seimbang dari sisi jarak tempuh dan kepadatan penduduk, sementara hanya 5 unit *dump truck* melayani 6 rute sehingga terjadi rotasi kendaraan.

Jumlah total timbulan sampah yang bisa diangkut dihitung dengan rumus:

$$V \times fp \times Nd$$

V = kapasitas kendaraan (m³)

fp = faktor pemadatan

Nd = ritasi (trip/hari)

$$9 \text{ unit} \times 6 \text{ m}^3 \times 1 \times 2 \text{ ritasi} = 108 \text{ m}^3$$

2. Kebutuhan *Arm Roll* truk kapasitas 6 m³ daya angkut 24 m³/hari

Analisis kapasitas efektif pengangkutan untuk *arm roll* truk adalah 4 kali ritasi dalam satu hari. Kebutuhan *arm roll truck* adalah timbulan total sampah pada tahun 2030 dikurangi dengan timbulan sampah yang diangkut oleh *dump truck*.

$$\begin{aligned} \text{Arm roll truck} &= \text{total sampah 2030} - \text{sampah diangkut dump truck} \\ &= 388,35 \text{ m}^3/\text{hari} - 108 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 280,35 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Kebutuhan optimal *arm roll truck* sebagai berikut:

$$C_{optimal} = \frac{Q_d}{V \times fp \times Nd}$$

Keterangan :

$C_{optimal}$ = jumlah armada yang dibutuhkan (unit)

Q_d = jumlah timbunan sampah (m^3 /hari)

V = kapasitas kendaraan (m^3)

fp = faktor pemadatan

Nd = ritasi (trip/hari)

$$C_{arm\ roll} = \frac{280,35\ m^3/hari}{6m^3 \times 1 \times 4ritasi} = 11,68 \approx 12\ unit$$

Berdasarkan hasil perhitungan optimalisasi kapasitas, diperoleh kebutuhan armada sebesar 9 unit dump truck dan 12 unit *arm roll truck*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan kapasitas pelayanan pengangkutan sampah masih lebih besar dibandingkan kemampuan yang dapat diberikan oleh armada eksisting, sehingga diperlukan peningkatan kapasitas armada untuk memenuhi permintaan layanan.

Tabel 7. Perbandingan Jumlah Alat Angkut Sampah pada Kondisi Eksisting

Alat Angkut	Kondisi Eksisting	Hasil Analisa
Dump Truck	5	9
Arm Roll Truck	2	12

Sumber : Diolah Peneliti, 2026

Selain mempertimbangkan kesenjangan antara kapasitas armada eksisting dengan proyeksi timbunan sampah, penentuan kebutuhan penambahan armada juga perlu memperhitungkan umur teknis kendaraan yang telah beroperasi. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-2454-2002 tentang Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan, pemilihan dan perencanaan sarana pengangkutan sampah harus mempertimbangkan umur teknis peralatan, yaitu berkisar antara 5 hingga 7 tahun. Setelah melampaui batas umur teknis tersebut, kendaraan pengangkut sampah mengalami penurunan performa operasional serta peningkatan frekuensi kerusakan, sehingga tidak lagi dapat diandalkan untuk beroperasi secara optimal meskipun secara administratif masih tercatat sebagai armada aktif.

Berdasarkan data kondisi eksisting Tabel 8 diketahui bahwa sebagian besar armada *Dump Truck* dan *Arm Roll Truck* milik DLH Kota Gunungsitoli telah berstatus "Rusak Ringan". *Dump Truck* dengan nomor polisi BB 8042 T (tahun pengadaan 2017), BB 8055 T dan BB 8056 T (tahun pengadaan 2020), serta kedua unit *Arm Roll Truck* BB 8054 T dan BB 8053 T (tahun pengadaan 2019). Apabila mengacu pada batas umur teknis SNI 19-2454-2002, maka pada rentang tahun 2026-2027 sebagian unit tersebut akan memasuki masa purna tugas (*retirement*), sehingga tidak dapat lagi diperhitungkan sebagai kapasitas operasional yang tersedia. Kondisi ini menunjukkan bahwa apabila penggantian armada tidak dilakukan secara bertahap dan hanya berorientasi pada pemenuhan target akhir tahun 2030, maka pada tahun-tahun tersebut kapasitas riil pelayanan pengangkutan sampah berpotensi mengalami penurunan, sementara volume timbunan sampah terus meningkat.

Dengan pertimbangan tersebut, pemenuhan kebutuhan armada sebesar 9 unit *Dump Truck* dan 12 unit *Arm Roll Truck* pada tahun 2030 tidak disusun sebagai pengadaan tunggal di akhir periode perencanaan. Melainkan disusun secara bertahap dengan mempertimbangkan dua komponen kebutuhan, yaitu (1) kebutuhan penggantian (*replacement*) terhadap armada yang purna tugas, dan (2) kebutuhan penambahan (*ekspansi*) untuk menutup kesenjangan antara kapasitas angkut dengan proyeksi timbunan sampah. Tabel 18 menunjukkan roadmap pengadaan armada bertahap Kota Gunungsitoli periode 2026-2030.

Tabel 8. Roadmap Pengadaan Armada Bertahap DLH Tahun 2026-2030

Tahun	Armada Tersedia		Pengadaan Baru		Total Armada Operasional		Kapasitas Total (m ³ /hari)	Timbulan Sampah (m ³ /hari)	Status
	<i>Dump Truck</i>	<i>Arm Roll</i>	<i>Dump Truck</i>	<i>Arm Roll</i>	<i>Dump Truck</i>	<i>Arm Roll</i>			
2026	4	0	3	5	7	5	204	382,98	Under Capacity
2027	5	5	2	3	7	8	276	384,31	Under Capacity
2028	7	8	2	2	9	10	348	385,65	Under Capacity
2029	9	10	0	2	9	12	396	386,99	Balance
2030	9	12	0	0	9	12	396	388,33	Balance
Total	-	-	7	12					

Sumber : Diolah Peneliti, 2026

Tabel 8 memperlihatkan bahwa meskipun target akhir kebutuhan armada pada tahun 2030 adalah net penambahan sebesar 4 unit *Dump Truck* (dari 5 menjadi 9 unit) dan 10 unit *Arm Roll Truck* (dari 2 menjadi 12 unit), jumlah unit yang harus diadakan selama periode 2026-2030 justru lebih besar, yaitu 7 unit *Dump Truck* dan 12 unit *Arm Roll Truck*. Selisih tersebut merupakan konsekuensi dari kebutuhan penggantian 3 unit *Dump Truck* dan 2 unit *Arm Roll Truck* eksisting yang telah melampaui umur teknis sesuai SNI 19-2454-2002.

Tahun 2026 menjadi periode dengan volume pengadaan terbesar, mengingat pada tahun tersebut terjadi kesenjangan kapasitas paling signifikan antara kapasitas eksisting (108 m³/hari) dengan timbulan sampah (382,98 m³/hari), sekaligus bertepatan dengan masa purna tugas beberapa unit armada ber kondisi rusak ringan. Selanjutnya, volume pengadaan pada tahun-tahun berikutnya cenderung menurun seiring semakin sempitnya kesenjangan kapasitas yang tersisa, hingga kapasitas total armada mampu memenuhi proyeksi timbulan sampah pada tahun 2029, dan tetap terjaga mencukupi hingga tahun 2030.

Penyusunan roadmap pengadaan armada secara bertahap ini tidak hanya bertujuan menyesuaikan kemampuan pembiayaan dan mekanisme perencanaan-penganggaran daerah yang berjalan setiap tahun, tetapi juga memastikan keberlanjutan pelayanan pengangkutan sampah tetap terjaga dengan mempertimbangkan siklus hidup teknis armada, sehingga hasil analisis kebutuhan armada tahun 2030 menjadi lebih realistis dan dapat dipertanggungjawabkan secara operasional.

Pembahasan

Volume Permintaan Layanan (Demand) Saat Ini dan Proyeksinya di Kota Gunungsitoli

Hasil analisis permintaan layanan menunjukkan bahwa timbulan sampah Kota Gunungsitoli diproyeksikan meningkat secara konsisten, dari 382,98 m³/hari pada tahun 2026 menjadi 388,33 m³/hari pada tahun 2030, seiring dengan pertumbuhan penduduk sebesar 0,35% per tahun. Temuan ini mengonfirmasi konsep permintaan turunan (derived demand) yang dikemukakan oleh Tumpu & Waris (2024), bahwa permintaan layanan pengangkutan sampah tidak berdiri sendiri, melainkan merupakan konsekuensi langsung dari pertumbuhan jumlah penduduk dan aktivitas konsumsinya. Sejalan dengan itu, hasil ini juga relevan dengan Prajati & Pesurnay (2019) yang menegaskan bahwa pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi merupakan pemicu utama timbulan sampah.

Meskipun laju pertumbuhan penduduk Kota Gunungsitoli tergolong rendah dibandingkan wilayah perkotaan lain yang diproyeksikan mengalami lonjakan penduduk signifikan (Alfons et al., 2025), penambahan timbulan sampah sebesar 5,87 m³/hari selama lima tahun tetap bermakna penting bagi Kota Gunungsitoli. Hal ini karena penambahan permintaan tersebut terjadi di atas basis kapasitas armada yang sudah sangat terbatas, sehingga sekecil apa pun laju pertumbuhan permintaan akan langsung memperbesar kesenjangan yang telah ada, bukan mengurangi ruang kelonggaran kapasitas yang memang belum tersedia.

Kapasitas Efektif Armada Eksisting DLH Berdasarkan Kondisi Fisik dan Waktu Siklus Operasional

Temuan pada analisis kapasitas efektif memperlihatkan bahwa kapasitas armada jauh lebih rendah dibandingkan kapasitas desainnya. Dump truck dengan volume bak 6 m³ hanya mampu melakukan 2 ritasi efektif per hari, sedangkan arm roll truck mampu mencapai 4 ritasi per hari, sehingga total kapasitas efektif seluruh armada eksisting (5 dump truck dan 2 arm roll truck) hanya sebesar 108 m³/hari. Temuan ini memperkuat perbedaan konseptual antara kapasitas desain dan kapasitas efektif yang dikemukakan oleh Heizer et al. (2017), bahwa kapasitas riil suatu sistem operasi jasa selalu lebih rendah dari kapasitas teoritisnya akibat faktor-faktor pembatas operasional seperti waktu siklus, jarak tempuh, dan waktu bongkar muat.

Rendahnya ritasi dump truck (2 rit/hari) dibandingkan arm roll truck (4 rit/hari) sejalan dengan karakteristik metode Stationary Container System yang secara konseptual memang menghasilkan waktu siklus lebih panjang, karena membutuhkan waktu tambahan untuk proses pemuatan manual di berbagai titik sepanjang rute (door-to-door), sedangkan HCS relatif lebih efisien karena kontainer yang sudah terisi penuh langsung diangkut tanpa proses pemuatan berulang. Pola ini konsisten dengan temuan Widodo & Hadid (2025) di Kecamatan Samarinda Ulu, meskipun secara absolut angka ritasi pada penelitian tersebut (6,05 rit/hari untuk HCS dan 2,45 rit/hari untuk SCS) lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian ini. Perbedaan ini diduga berkaitan erat dengan karakteristik topografi Kota Gunungsitoli yang berbukit, curam, dan memiliki keterbatasan akses jalan, sehingga jarak tempuh efektif (rata-rata 20,9 km/rit untuk HCS dan 20,2 km/rit untuk SCS) dan waktu tempuh menjadi lebih besar dibandingkan wilayah dengan topografi relatif datar seperti Samarinda Ulu atau Kupang (Manulangga & dkk, 2024). Temuan ini memperkuat argumen bahwa kapasitas efektif armada bersifat sangat lokal (site-specific) dan tidak dapat digeneralisasi lintas wilayah tanpa mempertimbangkan kondisi geografis setempat.

Selain faktor jarak dan topografi, kondisi fisik armada turut menjadi determinan penting. Data menunjukkan bahwa 3 dari 5 unit dump truck dan kedua unit arm roll truck berstatus "rusak ringan". Kondisi ini selaras dengan pandangan Heizer et al. (2017) dan Jacob & Chase (2018) bahwa kapasitas efektif suatu sistem jasa sangat dipengaruhi oleh tingkat kesiapan operasional aset, bukan semata-mata jumlah unit yang tercatat secara administratif. Triangulasi dengan hasil wawancara tidak terstruktur memperdalam temuan tersebut, di mana keterbatasan armada yang hanya didukung 1 TPS dan 1 TPA membuat DLH memprioritaskan pelayanan pada wilayah pusat kota dan ruas jalan provinsi yang masih dapat diakses, serta rata-rata ritasi dump truck di lapangan dapat mencapai 4 kali per hari melalui pemakaian unit armada secara bergantian dalam dua shift kerja. Fenomena ini dapat dijelaskan melalui konsep perishability jasa (Jacob & Chase, 2018), di mana ketidakseimbangan sesaat antara permintaan dan kapasitas langsung berdampak pada kualitas layanan, sehingga DLH secara reaktif menyeimbangkan pasokan layanan melalui penyesuaian jam kerja informal. Nilai 108 m³/hari tetap dipertahankan sebagai kapasitas efektif dalam penelitian ini karena mencerminkan kapasitas yang secara realistis dan berkelanjutan dapat dicapai, bukan kapasitas yang bergantung pada penyesuaian informal yang berisiko terhadap keandalan armada maupun beban kerja pengemudi dalam jangka panjang.

Besar Kesenjangan (Capacity Gap) dan Dampaknya terhadap Volume Sampah Harian yang Tidak Terangkut

Hasil analisis gap capacity menunjukkan bahwa kondisi under capacity terjadi secara konsisten sepanjang periode proyeksi 2026-2030, dengan kesenjangan yang melebar dari -274,98 m³/hari pada tahun 2026 menjadi -280,33 m³/hari pada tahun 2030. Temuan ini secara empiris mengonfirmasi permasalahan yang telah teridentifikasi pada latar belakang penelitian, yaitu tingkat pelayanan pengangkutan sampah Kota Gunungsitoli yang hanya berkisar 53-60% selama tahun 2021-2025. Rasio antara kapasitas efektif (108 m³/hari) terhadap permintaan layanan (382,98 m³/hari) pada tahun 2026 menghasilkan tingkat pelayanan teoretis sebesar ±28%, yang jauh lebih rendah dibandingkan capaian aktual di lapangan.

Sesuai dengan proposisi Heizer et al. (2017) dan Stevenson (2018), kondisi under capacity yang berkelanjutan seperti ini berimplikasi langsung pada penurunan kualitas layanan. Dalam konteks penelitian ini, kondisi tersebut termanifestasi sebagai keterlambatan pengangkutan,

frekuensi layanan yang hanya 2-3 kali per minggu di sejumlah wilayah, serta prioritas layanan yang timpang antara kawasan padat penduduk dan kawasan pinggiran dengan aksesibilitas terbatas. Temuan ini juga sejalan dengan hasil penelitian Mauladina & dkk (2024) di Kecamatan Selaparang yang juga mendapati kondisi under capacity dengan proyeksi kebutuhan peningkatan ritasi hingga tiga kali lipat dalam sepuluh tahun ke depan. Konsistensi pola under capacity pada berbagai konteks wilayah tersebut memperkuat argumen bahwa keterbatasan kapasitas armada merupakan tantangan struktural yang umum dihadapi oleh pemerintah daerah dalam penyelenggaraan layanan persampahan, sebagaimana ditegaskan dalam amanat UU Nomor 18 Tahun 2008 dan Perda Kota Gunungsitoli Nomor 2 Tahun 2015.

Rekomendasi Perencanaan Kapasitas Armada yang Optimal

Hasil analisis optimalisasi menunjukkan bahwa untuk menutup kesenjangan kapasitas hingga tahun 2030, Kota Gunungsitoli membutuhkan penambahan bersih sebanyak 4 unit dump truck dan 10 unit arm roll truck. Angka kebutuhan arm roll truck yang jauh lebih besar dibandingkan dump truck ini konsisten dengan temuan Widodo & Hadid (2025), mengingat kapasitas ritasi arm roll truck yang lebih tinggi menjadikannya lebih efisien secara marginal dalam menutup kesenjangan kapasitas per unit investasi. Kontribusi khusus penelitian ini adalah teridentifikasinya kebutuhan penggantian armada akibat batas umur teknis sesuai SNI 19-2454-2002, yang menyebabkan total unit yang harus diadakan (7 dump truck dan 12 arm roll truck) lebih besar dibandingkan angka bersih semata. Berbeda dengan penelitian terdahulu (Alfons et al., 2025) yang umumnya menghitung kebutuhan armada murni berdasarkan selisih demand-supply pada satu titik waktu, pendekatan roadmap bertahap pada penelitian ini mengintegrasikan dimensi waktu ke dalam perhitungan kebutuhan ekspansi, sekaligus memperkuat prinsip perencanaan kapasitas dari Stevenson (2018) yang menempatkan monitoring dan evaluasi berkelanjutan sebagai tahapan integral, bukan sekadar keputusan pengadaan satu kali di akhir periode. Pola pengadaan bertahap ini menggabungkan capacity lead strategy pada tahap awal (mengingat besarnya defisit yang harus segera ditutup) dengan match strategy pada tahap-tahap berikutnya (Jacob & Chase, 2018), dan dinilai lebih realistis diterapkan pada konteks layanan publik dengan keterbatasan anggaran daerah dibandingkan strategi pengadaan tunggal di akhir periode.

Namun demikian, rekomendasi penambahan armada semata tidak cukup untuk menjawab keterbatasan akses pelayanan pada wilayah dengan topografi sulit. Hasil wawancara tidak terstruktur mengonfirmasi bahwa keterbatasan pelayanan pada sejumlah wilayah tidak semata-mata disebabkan oleh kekurangan jumlah unit armada, melainkan juga dipengaruhi oleh keterbatasan aksesibilitas kendaraan terhadap topografi wilayah yang berbukit, curam, dan berjalan sempit, sejalan dengan kondisi lalu lintas dan aksesibilitas jalan yang dikemukakan Heizer et al. (2017). Sesuai dengan tahapan perencanaan kapasitas menurut Stevenson (2018), solusi atas kesenjangan kapasitas tidak harus tunggal berupa penambahan sumber daya fisik, sehingga penelitian ini merumuskan tiga strategi pelengkap yang telah dan akan ditempuh DLH Kota Gunungsitoli, yaitu:

Pertama, penyesuaian sistem pelayanan bagi wilayah yang tidak terjangkau armada berukuran besar, di mana DLH memprioritaskan pelayanan pada ruas jalan yang masih dapat diakses, sementara wilayah di luar jangkauan diarahkan untuk mengelola sampahnya secara mandiri sebagai solusi sementara merupakan bentuk penyesuaian desain sistem penyampaian layanan terhadap keterbatasan geografis, bukan penambahan kapasitas fisik.

Kedua, pengurangan beban pengangkutan melalui pengelolaan sampah dari sumber, melalui sosialisasi budidaya maggot, pembuatan eco enzym, program bank sampah, serta potensi formalisasi kemitraan dengan sembilan usaha pengepul yang saat ini telah menampung 9.418 kg/hari (setara 28,54 m³/hari), atau sekitar 10% dari kesenjangan kapasitas pada tahun 2026. Strategi ini sejalan dengan prinsip reverse logistics dari Paduloh et al. (2023), di mana pengurangan material pada titik hulu menekan tekanan terhadap kapasitas armada di sisi hilir tanpa harus menambah unit kendaraan.

Ketiga, penguatan infrastruktur melalui pembangunan TPS tambahan berbasis 3R sebagai titik transfer komunal, mengingat Kota Gunungsitoli saat ini hanya memiliki 1 unit TPS dan 1 unit TPA untuk melayani enam kecamatan. Selain memperluas titik layanan, penambahan TPS yang

lebih tersebar secara teknis berpotensi memperpendek jarak tempuh (x) pada persamaan waktu siklus THCS dan TSCS, sehingga waktu siklus dapat ditekan dan jumlah ritasi harian berpotensi meningkat tanpa memerlukan penambahan armada baru.

Ketiga strategi tersebut bersifat saling melengkapi dengan strategi penambahan armada: jika penambahan armada menjawab persoalan volume kapasitas secara agregat, ketiga strategi lanjutan ini menjawab persoalan keterjangkauan dan efisiensi kapasitas pada tingkat operasional, sehingga kapasitas yang direncanakan tidak hanya cukup secara jumlah, tetapi juga efektif menjangkau seluruh wilayah pelayanan Kota Gunungsitoli.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, permintaan layanan pengangkutan sampah domestik di Kota Gunungsitoli meningkat dari 382,98 m³/hari (2026) menjadi 388,33 m³/hari (2030), sementara kapasitas efektif armada eksisting DLH hanya sebesar 108 m³/hari ($\pm 28,2\%$ dari demand), sehingga menghasilkan kesenjangan kapasitas (undercapacity) yang konsisten dan melebar dari -274,98 hingga -280,33 m³/hari, berdampak pada volume sampah tidak terangkut dan ketimpangan layanan antarwilayah. Untuk mengatasinya, direkomendasikan perencanaan kapasitas terintegrasi yang menggabungkan *capacity strategy*, pengadaan bertahap 7 unit *dump truck* dan 12 unit *arm roll truck* (2026-2030) mencakup penggantian dan penambahan armada, disertai penyesuaian sistem pelayanan dan pembangunan TPS 3R tambahan sebagai titik transit dengan *demand management strategy* berupa optimalisasi bank sampah, budidaya maggot, *eco-enzyme*, dan kemitraan pengepul sampah bernilai daur ulang, guna menutup kesenjangan kapasitas sekaligus mengatasi ketimpangan akses layanan di Kota Gunungsitoli.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfons, A. B., Jessie, S., & Ubruangge, A. (2025). *Analisis Kebutuhan Peralatan Penunjang Pelayanan Persampahan di Distrik Mimika Baru, Kabupaten Mimika*. 10(3).
- Hadisbroto, T., Riani, D., & Laufried. (2025). *Analisis Prediksi Timbulan Sampah Kota Palangka Raya adalah Ibu Kota*. 4(2), 100–108.
- Idris, A. F., Madjowa, N. F., & Rachman, A. P. (2025). *ANALISIS KEBUTUHAN ARMADA PENGANGKUTAN*. 13(2), 325–334.
- Jacob, F. R., & Chase, R. B. (2018). *Operations and Supply Chain Management* (15th ed.). McGraw-Hill Education.
- Manulangga, O. G. L., & dkk. (2024). *Penerapan Metode HCS & SCS untuk Optimalisasi Pengangkutan Sampah di Kota Kupang*. 4.
- Mauladina, N., & dkk. (2024). *Evaluasi Kebutuhan Armada Pengangkutan Sampah dan Alternatif Pengelolaan Sampah Terpadu di Kecamatan Selaparang*. 5–13.
- Monoarfa, M. A. S. (2024). *Prinsip-Prinsip Manajemen Operasi* (M. A. Wardana, Ed.). Intelektual Manifes Media.
- Paduloh, Z. I., & W, M. (2023). *Sistem Rantai Pasok* (M. Lutfi, Ed.). MEDIA SAINS INDONESIA.
- Pemerintah Kota Gunungsitoli. (2015). *Peraturan Daerah Kota Gunungsitoli Nomor 02 Tahun 2015 tentang Pengelolaan Sampah*. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/44902/perda-kota-gunungsitoli-no-2-tahun-2015>
- Prajati, G., & Pesurnay, A. J. (2019). *Analisis Faktor Sosiodemografi dan Sosioekonomi Terhadap Timbulan Sampah*. 8–16.
- Stevenson, W. J. (2018). *Operations Management* (12th ed.). McGraw-Hill Education.
- Suartika, M., & dkk. (2024). *Penentuan Alat Angkut Sampah Berdasarkan Timbulan Sampah Rumah Tangga Kawasan Lingkungan di Kota Mataram*. 1(1), 6–12.
- Sugiyono. (2022). *Metode Penelitian Kualitatif*. ALFABETA.
- Tumpu, M., & Waris, M. (2024). *Perencanaan Transportasi* (A. A. Sahabuddin, Ed.). ARSY MEDIA.
- Widodo, D. E., & Hadid, M. (2025). *Analisis Transportasi Pengangkutan Sampah di Kecamatan Samarinda Ulu, Kota Samarinda*. 21, 137–144.
- Wulandari, A., & Mulyanto, H. (2024). *Manajemen Rantai Pasokan* (S. F. Agami, Ed.). Yayasan Pendidikan Cendekia Muslim.