

Tackling Sanitation Gaps: Improving Fecal Sludge Management through Stakeholder Engagement in Indonesia

[Mengatasi Kesenjangan Sanitasi: Meningkatkan Pengelolaan Lumpur Tinja melalui Keterlibatan Pemangku Kepentingan di Indonesia]

Abd. Adjis¹⁾, Rita Ambarwati ^{*,2)}

¹⁾ Program Studi Magister Manajemen, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Magister Manajemen, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: ritaambarwati@umsida.ac.id

Abstract. *The management of sewage sludge is an urgent and crucial component of domestic sanitation systems, directly impacting public health and the environment. In Indonesia, the challenges associated with waste management have become increasingly complex due to population growth and the rising demand for adequate sanitation infrastructure. This study aims to identify the factors influencing the performance of domestic wastewater management operators and to provide recommendations for enhancing service quality. This research design uses a mixed method, combining quantitative and qualitative data. Quantitative data were obtained from a survey of 106 respondents. While qualitative data were collected through semi-structured interviews. Quantitative data analysis was carried out using Exploratory Factor Analysis (EFA), while qualitative data analysis used a thematic approach. The research findings indicate that there are two primary factors influencing the performance of sewage sludge management, namely Financial Management and Human Resources, as well as Service Provision and Operational Efficiency. These two factors are interrelated, demonstrating that there is significant potential for improvement. Improved financial management, along with enhancements in operational capacity and human resources, is essential for increasing the system's efficiency. This study provides significant contributions to the understanding of sewage sludge management in developing countries. The research highlights the need for a comprehensive approach that integrates financial, operational, and human resource factors to achieve more sustainable sanitation management in Indonesia. Further research is eagerly anticipated to explore the role of public-private partnerships and community engagement in enhancing sanitation management.*

Keywords - Efficiency; Fecal Sludge; Mixed Method; Sustainability; Wastewater

Abstrak. *Pengelolaan lumpur tinja merupakan bagian penting dalam sistem sanitasi domestik yang berpengaruh langsung terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan. Di Indonesia, masalah pengelolaan limbah ini semakin kompleks dengan pertumbuhan penduduk dan meningkatnya kebutuhan terhadap infrastruktur sanitasi yang memadai. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi kinerja operator pengelola air limbah domestik dan memberikan rekomendasi untuk meningkatkan kualitas layanan. Desain penelitian ini menggunakan metode campuran, menggabungkan data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif diperoleh dari survei terhadap 106 responden. Sementara data kualitatif dikumpulkan melalui wawancara semi-terstruktur. Analisis data kuantitatif dilakukan dengan Exploratory Factor Analysis (EFA), sedangkan analisis data kualitatif menggunakan pendekatan tematik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat dua faktor utama yang mempengaruhi kinerja pengelolaan lumpur tinja, yaitu Manajemen Keuangan dan Sumber Daya Manusia serta Penyediaan Layanan dan Efisiensi Operasional. Kedua faktor ini saling terkait dan menunjukkan bahwa pengelolaan finansial yang lebih baik dan peningkatan kapasitas operasional serta sumber daya manusia sangat diperlukan untuk meningkatkan efisiensi sistem. Studi ini memberikan kontribusi penting terhadap pemahaman pengelolaan lumpur tinja di negara berkembang. Penelitian ini menggarisbawahi perlunya pendekatan holistik yang mencakup faktor keuangan, operasional, dan sumber daya manusia untuk mencapai pengelolaan sanitasi yang lebih berkelanjutan di Indonesia. Penelitian lebih lanjut diharapkan dapat mengeksplorasi peran kemitraan publik-swasta dan keterlibatan masyarakat dalam memperbaiki pengelolaan sanitasi*

Kata Kunci - Efisiensi; Lumpur Tinja; Metode Campuran; Keberlanjutan; Air Limbah

I. PENDAHULUAN

Pengelolaan limbah domestik, khususnya lumpur tinja, sangat penting bagi kesehatan dan sanitasi masyarakat [1], [2], [3]. Sistem yang tidak memadai dapat menyebabkan polusi lingkungan dan penyebaran penyakit [4], [5]. Masalah ini sering terjadi di negara-negara berpendapatan rendah dan menengah yang berpenduduk padat, di mana urbanisasi yang cepat dan infrastruktur yang terbatas menghambat pembentukan sistem sanitasi yang efektif [6], [7], [8]. Tantangan di Indonesia semakin kompleks karena teknologi yang sudah lama, biaya yang tinggi, dan rendahnya kesadaran masyarakat [5], [9]. Meskipun solusi teknologi telah tersedia, implementasinya di daerah berpenghasilan rendah terhambat oleh berbagai kendala. Upaya pemerintah untuk meningkatkan akses sanitasi belum sepenuhnya bisa mengatasi kesenjangan yang signifikan dalam pengelolaan limbah rumah tangga [10], [11]. Target mencapai *Sustainable Development Goals* (SDG) 6 terkait akses sanitasi pada 2030, perlu mengatasi inefisiensi ini. Peraturan Presiden No. 59 Tahun 2017 memberikan kerangka untuk meningkatkan layanan sanitasi, tetapi tantangan tetap ada, terutama di daerah yang tidak dapat diakses karena beberapa penyebab.

Isu utama yang dibahas dalam penelitian ini adalah pengelolaan air limbah domestik, khususnya lumpur tinja, oleh operator yang tidak efisien. Operator ini seringkali terhambat oleh biaya tinggi, keterbatasan kapasitas teknis, dan infrastruktur yang sudah usang, yang berdampak buruk pada kualitas layanan yang diberikan. Literatur menunjukkan perlunya pendekatan komprehensif yang mencakup kemajuan teknologi, investasi, dan penegakan peraturan untuk mengatasi tantangan ini [12], [13]. Beberapa solusi yang diusulkan sebelumnya meliputi adopsi teknologi ramah lingkungan, peningkatan kesadaran publik, dan penguatan regulasi [14], [15], [16]. Namun, solusi tersebut belum sepenuhnya mengatasi tantangan spesifik yang dihadapi operator di Indonesia, karena masih ada keterbatasan dalam teknologi modern dan kesenjangan infrastruktur yang signifikan.

Solusi untuk tantangan pengelolaan air limbah telah diusulkan, sebagaimana ditunjukkan dalam penelitian sebelumnya. Salah satu solusinya adalah pemanfaatan teknologi yang terjangkau untuk mengelola lumpur tinja, seperti truk vakum dan fasilitas pengolahan skala kecil, yang dapat meningkatkan layanan di daerah dengan sumber daya terbatas [15], [17]. Lebih lanjut, kemitraan publik-swasta (KPS) dianggap sebagai strategi untuk meningkatkan layanan dan pembiayaan. Menurut [6], Kemitraan Publik-Swasta (KPS) dapat menyediakan sumber daya dan keahlian untuk mengatasi kekurangan investasi sektor publik, serta mendukung penerapan teknologi inovatif dan mekanisme pembiayaan yang disesuaikan dengan kebutuhan lokal. Penguatan regulasi pengelolaan lumpur tinja juga krusial untuk memastikan penyedia layanan mematuhi standar yang berlaku. Penguatan regulasi mengenai pengelolaan lumpur tinja juga penting untuk memastikan bahwa penyedia layanan mematuhi standar yang ada. Sebuah studi oleh [1], [18], [19] merekomendasikan agar pemerintah menerapkan regulasi dan pengawasan yang lebih ketat untuk memfasilitasi pengelolaan lumpur limbah yang efektif dan mengurangi risiko lingkungan. Studi lain menunjukkan bahwa meskipun reformasi teknologi, investasi, dan regulasi penting, fokus pada keterlibatan masyarakat dan kesadaran publik juga penting [20], [21], [22], [23], [24]. Keterlibatan masyarakat lokal dalam mengelola layanan air limbah dapat memastikan keberlanjutan sistem sanitasi. Program sanitasi berbasis masyarakat dapat meningkatkan partisipasi publik dan aksesibilitas terhadap layanan. Kampanye kesadaran publik juga penting untuk mendidik masyarakat tentang praktik sanitasi yang baik dan perannya dalam menjaga lingkungan [15]. Namun, masih terdapat kesenjangan dalam literatur mengenai integrasi solusi ini di Indonesia, khususnya mengenai tantangan yang dihadapi oleh operator dalam mengelola lumpur tinja. Hal tersebut dalam dilihat dalam tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu dan Penentuan Posisi Penelitian

Peneliti	Klasifikasi Model	Parameter	Tujuan
A. Taweesan, T. Koottatep, and K. Dongo	Model evaluatif berbasis Response Surface Methodology (RSM)	Efisiensi pengumpulan, efisiensi pengolahan, rasio manfaat-biaya, kepuasan sosial	Mengevaluasi layanan pengelolaan lumpur tinja dan mengidentifikasi faktor-faktor penting untuk meningkatkan layanan.
Z. Hadianito, S. Syafrudin, and S. Sunarsih	Model deskriptif-evaluatif berbasis aspek manajemen, sosial, dan regulasi	Aspek manajemen, sosial, dan regulasi	Menganalisis sistem pengelolaan limbah tinja di Kota Surabaya. Mengidentifikasi tantangan dan peluang dalam pengelolaan limbah tinja. Memberikan rekomendasi untuk meningkatkan layanan pengelolaan limbah tinja.

K. Conaway, S. Lebu, K. Heilferty, A. Salzberg, and M. Manga	Tinjauan sistematis praktik pengosongan sanitasi di tempat di negara-negara berpenghasilan rendah dan menengah	Frekuensi pengosongan, jenis (manual/mechanis), biaya, aksesibilitas, jalur pengembalian ke lingkungan	Mengeksplorasi praktik pengurusan lumpur tinja, faktor-faktor yang memengaruhi, serta dampaknya terhadap sanitasi dan kesehatan masyarakat.
M. M. Hussein, A. O. Odongo, A. Kerochi, and J. Snuggs	Studi potong lintang dengan pendekatan campuran	Akses jamban, metode pengurusan, biaya, persepsi, kepuasan, demografi	Menilai praktik pengelolaan lumpur tinja dan mengidentifikasi faktor-faktor sosiodemografis yang mempengaruhi akses layanan. Serta menganalisis persepsi masyarakat terhadap sanitasi dan pengelolaan lumpur tinja.
D. Jean-Baptiste and F. Monette	Comparative Life Cycle Assessment (LCA) pada sistem sanitasi lokal (on-site) berbasis laguna dan drying beds di negara tropis berpenghasilan rendah	Dampak lingkungan dari pengolahan satu ton lumpur tinja basah per tahun, dengan mempertimbangkan komposisi lumpur, mencakup sembilan kombinasi jenis toilet dan metode pengolahan	Membandingkan berbagai sistem sanitasi yang menggunakan teknologi pengolahan lumpur tinja. Mengidentifikasi sistem yang memiliki dampak lingkungan paling kecil
R. Peletz <i>et al</i>	Evaluasi pasar: membandingkan supply dan demand terhadap layanan pengosongan pit yang aman	Willingness to pay (WTP), harga pasar layanan, proporsi penerimaan harga penuh, estimasi subsidi tahunan	Menganalisis sejauh mana promosi pengelolaan lumpur tinja yang aman di lingkungan berpendapatan rendah. Mengeksplorasi kesediaan rumah tangga untuk membayar layanan pengurusan pemerintah dan membandingkannya dengan harga dari swasta. Mengidentifikasi tantangan dan peluang dalam meningkatkan akses terhadap layanan sanitasi yang aman dan efisien.
M. Silumesii, E. Mwanaumo, and L. Mwiinga.	Studi kasus berdasarkan Teori Perilaku Bertanggung Jawab terhadap Lingkungan	Volume lumpur, jarak ke pembuangan, kecepatan respon, biaya tenaga kerja	Mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi biaya pengurusan lumpur tinja di daerah pemukiman tak terencana. Memahami dinamika sosial-ekonomi yang mempengaruhi aksesibilitas layanan pengelolaan lumpur tinja.
C. Murungi and M. P. van Dijk	Evaluasi ekonomi rantai layanan pengelolaan lumpur tinja	Biaya pengosongan, transportasi, dumping, aksesibilitas, kemampuan bayar	Mengidentifikasi pelaku utama dalam layanan pengelolaan lumpur tinja. Menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi biaya pengurusan lumpur tinja. Mengidentifikasi kendala yang

			menghambat peningkatan penyediaan layanan.
P. Reymond, R. Chandragiri, and L. Ulrich,	Analisis tata kelola multi-level yang sistematis; kerangka tata kelola hibrida	Struktur tata kelola, peran pemangku kepentingan, kinerja instalasi pengolahan air limbah skala kecil, koordinasi kelembagaan	Menganalisis pengaturan tata kelola yang diperlukan untuk meningkatkan sistem pengolahan air limbah skala kecil. Mengidentifikasi kesenjangan dalam kerangka tata kelola yang ada,
<i>Posisi penelitian ini</i>	<i>Model analisis faktor dalam kinerja pengelolaan lumpur tinja</i>	<i>Aspek Layanan, Keuangan, Operasional, Sumber Daya Manusia, dan Tata Kelola</i>	<i>Menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi kinerja operator pengelolaan air limbah domestik dan merekomendasikan strategi peningkatan layanan</i>

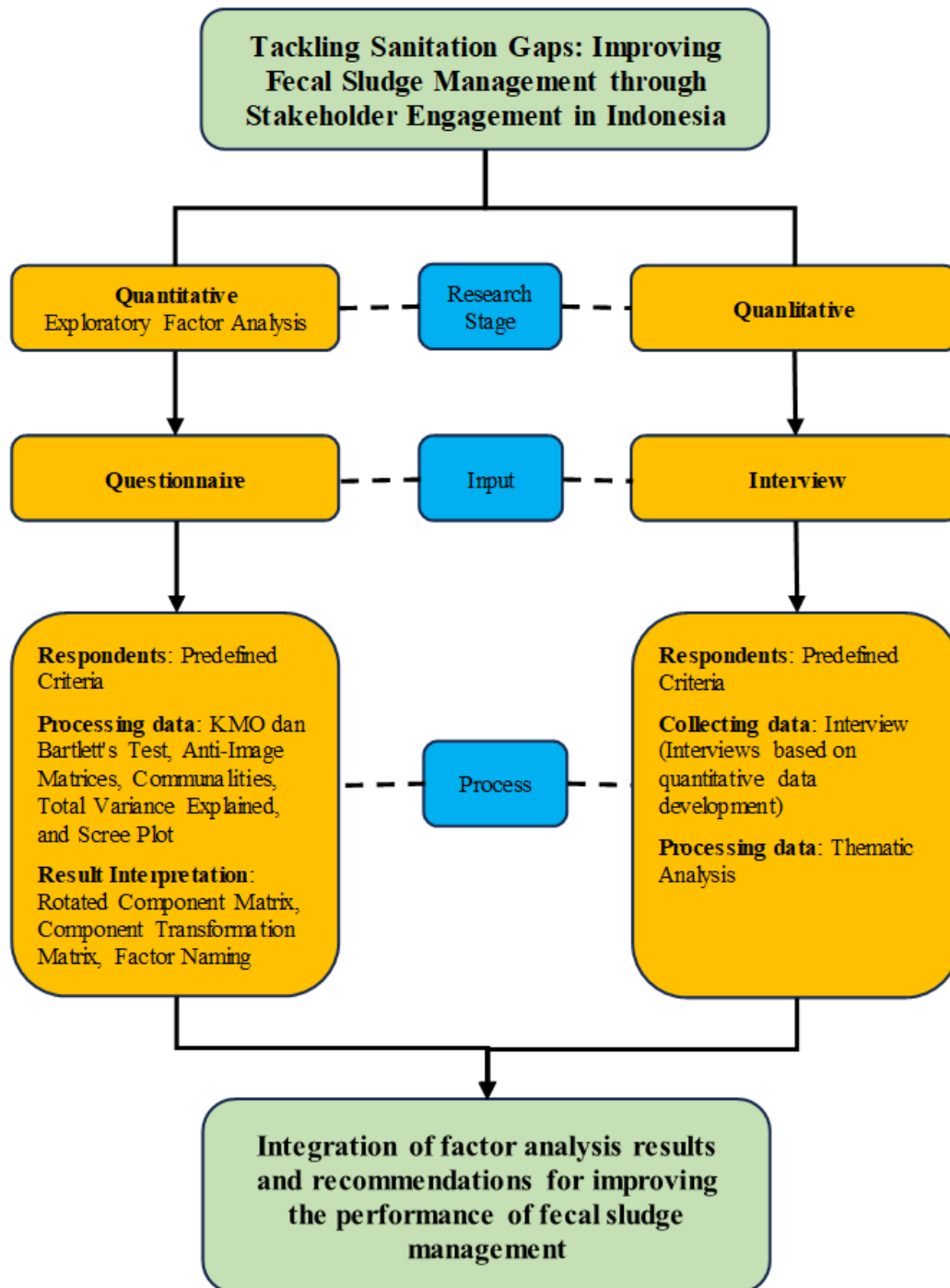
Studi ini bertujuan menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi kinerja operator pengelolaan air limbah domestik di Indonesia. Penelitian ini menggunakan pendekatan metode campuran untuk mengidentifikasi tantangan yang dihadapi operator dan mengusulkan strategi peningkatan layanan. Selain itu, studi ini mengeksplorasi potensi kemitraan publik-swasta dan pelibatan masyarakat dalam pengelolaan air limbah. Pendekatan terpadu yang diusulkan, menggabungkan solusi teknologi, finansial, dan sosial, diharapkan dapat mengatasi tantangan terkait pengelolaan lumpur tinja. Temuan penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan berharga bagi para pembuat kebijakan dan pemangku kepentingan lainnya di sektor sanitasi, serta mendukung pengembangan sistem pengelolaan air limbah yang lebih efisien dan berkelanjutan di Indonesia.

II. METODE

Studi ini menggunakan pendekatan metode campuran, yang mengintegrasikan metodologi kuantitatif dan kualitatif. Pendekatan ini memfasilitasi analisis yang lebih komprehensif dengan mengintegrasikan data numerik dan wawasan kontekstual [25]. Desainnya berurutan, dengan fase kuantitatif dilakukan terlebih dahulu, diikuti oleh fase kualitatif untuk menjelaskan dan memperluas temuan yang diperoleh dari data kuantitatif [26]. Setiap tahap berfokus pada data spesifik dari para pemangku kepentingan yang terlibat dalam pengelolaan air limbah di Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia. Metode pengumpulan data kuantitatif dilakukan melalui survei terstruktur yang ditujukan kepada para pemangku kepentingan dalam pengelolaan air limbah, seperti Dinas Perumahan, Permukiman, Cipta Karya, dan Tata Ruang (DP2CKTR), Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda), Kelompok Kerja Pengembangan Perumahan dan Permukiman (Pokja PKP), Unit Pelaksana Teknis Pengelolaan Air Limbah Domestik (UPTD PALD), konsultan sanitasi, dan tenaga kesehatan masyarakat. Survei ini bertujuan untuk mengumpulkan data mengenai variabel-variabel kunci. Teknik *purposive sampling* digunakan untuk memilih partisipan yang memiliki pengalaman langsung atau pengetahuan mengenai pengelolaan air limbah domestik [26]. Sampel survei terdiri dari 106 responden, yang dianggap cukup berdasarkan rekomendasi untuk memiliki setidaknya lima kali jumlah indikator, khususnya 19 item [25]. Ke-19 indikator yang dimaksud telah diadopsi dari pedoman teknis untuk penilaian kinerja UPTD Pelaksana Teknis Daerah, sebagaimana dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) [28]. Rincian itemnya adalah sebagai berikut: Pertumbuhan jumlah pelanggan meningkat (X1), Keluhan pelanggan dapat diselesaikan (X3), Permintaan pelanggan dapat diselesaikan dalam waktu 24 jam (X4), Memiliki rencana biaya operasional (X5), Pendapatan telah mencapai target (X6), Manajemen perencanaan anggaran (X7), Memiliki Prosedur Operasional Standar (SOP) (X8), Air limbah dari pengolahan IPLT telah memenuhi baku mutu (X9), Pengambilan sampel limbah telah dilakukan (X10), Lumpur telah diolah di IPLT (X11), Operasi dan pemeliharaan dilakukan sesuai dengan SOP (X12), Pengolahan air limbah domestik di IPAL telah dilakukan secara efisien (X13), Perencanaan kebutuhan Sumber Daya Manusia telah dilakukan sesuai kebutuhan (X14), Struktur organisasi dan prosedur kerja jelas (X15), Inovasi untuk memudahkan pelayanan (X17), Telah melakukan Survei Indeks Kepuasan Masyarakat (X18), SOP administrasi pelayanan telah dilaksanakan dengan baik (X19). Data kualitatif diperoleh melalui

wawancara semi-terstruktur dengan para pemangku kepentingan utama. Metode ini memberikan fleksibilitas untuk mengeksplorasi perspektif responden sambil memastikan bahwa diskusi tetap fokus pada topik utama [26].

Analisis data dilakukan dalam dua tahap: analisis data kuantitatif dan analisis data kualitatif. Data kuantitatif dianalisis menggunakan *Exploratory Factor Analysis* (EFA), sebuah teknik statistik yang bertujuan mengidentifikasi hubungan antar variabel dan menyederhanakan data menjadi beberapa faktor utama. Teknik ini digunakan untuk menentukan faktor-faktor yang memengaruhi kinerja pengelolaan air limbah domestik. Sebaliknya, data kualitatif yang dikumpulkan dari wawancara dianalisis menggunakan analisis tematik. Analisis ini melibatkan beberapa tahap: Pertama, transkrip wawancara ditinjau dan diberi kode untuk mengidentifikasi tema-tema penting terkait pertanyaan penelitian. Selanjutnya, transkrip tersebut diorganisasikan dan dikelompokkan untuk membentuk narasi yang koheren dan selaras dengan tujuan penelitian.



Gambar 1: Tahap Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Faktor yang Mempengaruhi Operator Pengelolaan Air Limbah Domestik

Sebelum melakukan *Exploratory Factor Analysis* (EFA), langkah awal yang penting adalah mengevaluasi kesesuaian data yang akan digunakan. Dalam proses ini, dua metrik digunakan: ukuran kecukupan sampel *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO) dan uji *sferisitas Bartlett*. Hasil yang diperoleh menunjukkan nilai KMO sebesar 0,923, yang melebihi ambang batas minimum yang diterima sebesar 0,6. Temuan ini menunjukkan bahwa ukuran sampel yang digunakan dalam analisis ini memadai dan juga menunjukkan hubungan yang signifikan antar variabel yang diteliti. Lebih lanjut, hasil uji Bartlett menunjukkan nilai *p* signifikan kurang dari 0,05, seperti yang disajikan pada Tabel 2. Temuan ini semakin memperkuat argumen bahwa data yang ada sangat sesuai untuk analisis faktor, sehingga memungkinkan peneliti untuk melanjutkan ke tahap selanjutnya.

Tabel 2. Hasil uji KMO dan Bartlett's

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		0,923
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	1556,558
	df	171
	Sig.	0,000

Metode yang digunakan selanjutnya adalah pendekatan persentase varians, yang juga dikenal sebagai metode Nilai Eigen (*Eigenvalue*). Jumlah faktor ditentukan berdasarkan variabel yang memiliki Nilai Eigen (*Eigenvalue*) lebih besar dari 1 setelah proses ekstraksi faktor. Hasil ekstraksi menunjukkan terbentuknya 2 faktor optimal, masing-masing dengan Nilai Eigen (*Eigenvalue*) melebihi 1, yang berfungsi sebagai ambang batas standar untuk mempertahankan faktor. Secara kolektif, kedua faktor ini menyumbang 62,99% dari total varians. Faktor pertama memiliki Nilai Eigen (*Eigenvalue*) sebesar 10,448, yang menyumbang 54,989% variasi di seluruh item. Sementara itu, faktor kedua memiliki Nilai Eigen (*Eigenvalue*) sebesar 1,522, yang menyumbang 8,010% variasi di seluruh item. Rincian lebih lanjut dapat ditemukan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Ekstraksi Faktor

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	10,448	54,989	54,989	10,448	54,989	54,989	7,062	37,167	37,167
2	1,522	8,010	62,999	1,522	8,010	62,999	4,908	25,833	62,999
3	0,957	5,035	68,035						
4	0,926	4,876	72,910						
5	0,846	4,454	77,364						
6	0,647	3,404	80,768						
7	0,539	2,836	83,604						
8	0,487	2,562	86,166						
9	0,439	2,313	88,479						
10	0,369	1,940	90,419						
11	0,317	1,668	92,087						
12	0,262	1,377	93,464						
13	0,237	1,246	94,709						
14	0,208	1,097	95,806						
15	0,207	1,091	96,897						
16	0,189	0,995	97,892						

17	0,152	0,802	98,694
18	0,127	0,666	99,360
19	0,122	0,640	100,000

Hasil analisis *Rotated Component Matrix* dalam *Exploratory Factor Analysis* (EFA) menunjukkan dua area perhatian utama terkait kinerja operator pengelolaan air limbah, sebagaimana diuraikan dalam Tabel 3. *Faktor pertama*, "Manajemen Keuangan dan Sumber Daya Manusia," menjelaskan bahwa kemampuan mengelola biaya operasional dan mengoptimalkan pengumpulan pendapatan secara efektif sangat krusial bagi keberlanjutan layanan pengelolaan air limbah. Lebih lanjut, ketersediaan personel terlatih dan manajemen sumber daya manusia yang efektif sangat penting untuk memastikan layanan diberikan secara efisien. *Faktor kedua*, "Penyediaan Layanan dan Efisiensi Operasional," menekankan bahwa peningkatan efisiensi pemberian layanan, khususnya dalam hal pengumpulan dan pembuangan lumpur tinja, merupakan area kunci yang perlu ditingkatkan. Kapasitas Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) untuk menangani peningkatan volume lumpur tinja juga merupakan pertimbangan penting.

Tabel 4: Hasil *Rotated Component Matrix* di dalam EFA

Component		Description	
1	2	Faktor : "Manajemen Keuangan dan Sumber Daya Manusia "	Faktor : Penyediaan Layanan dan Efisiensi Operasional "
X7	0,838	Manajemen perencanaan anggaran	
X17	0,794	Inovasi untuk memudahkan pelayanan	
X5	0,792	Memiliki rencana biaya operasional	
X15	0,768	Struktur organisasi dan prosedur kerja yang jelas	
X8	0,756	Memiliki Prosedur Operasional Standar (SOP)	
X12	0,756	Operasi dan pemeliharaan dilakukan sesuai SOP	
X3	0,754	Keluhan pelanggan dapat diselesaikan	
X6	0,708	Pendapatan telah mencapai target	
X14	0,669	Perencanaan kebutuhan SDM telah dilakukan sesuai kebutuhan	
X19	0,642	0,578	SOP administrasi pelayanan telah diterapkan dengan baik
X1	0,603	0,505	Pertumbuhan jumlah pelanggan meningkat
X2			
X16			
X11		0,841	Lumpur Tinja telah diolah di IPLT
X9		0,827	Air limbah dari pengolahan IPLT telah memenuhi baku mutu
X10		0,742	Pengambilan sampel limbah telah dilakukan
X13		0,689	Pengolahan air limbah domestik di IPAL/IPLT telah dilakukan secara efisien
X18		0,622	Telah dilakukan Survei Indeks Kepuasan Masyarakat
X4		0,560	Permintaan pelanggan dapat diselesaikan dalam waktu 24 jam

Hasil *Exploratory Factor Analysis* (EFA) menunjukkan dua faktor utama yang mempengaruhi kinerja pengelolaan lumpur tinja, yaitu *Manajemen Keuangan dan Sumber Daya Manusia*, serta *Penyediaan Layanan dan Efisiensi*

Operasional. Faktor pertama menyoroti pentingnya manajemen keuangan yang baik dan peningkatan kapasitas sumber daya manusia, sedangkan *faktor kedua* berfokus pada efisiensi operasional dan pengembangan sistem layanan yang lebih optimal. Kedua faktor ini sangat saling terkait dan harus dikelola secara bersamaan untuk memastikan bahwa pengelolaan air limbah efisien dan berkelanjutan. Masalah utama yang sering muncul adalah manajemen keuangan yang tidak optimal. Operator sering menghadapi tantangan dalam hal pendanaan, bergantung pada subsidi pemerintah yang tidak selalu cukup untuk membiayai infrastruktur dan pemeliharaan fasilitas pengelolaan air limbah [20]. Dalam konteks ini, perencanaan anggaran yang lebih baik dan eksplorasi sumber pendapatan alternatif menjadi semakin penting. Salah satu rekomendasi utama yang muncul dari wawancara adalah perlunya meningkatkan investasi dalam infrastruktur pengelolaan air limbah, khususnya dalam pengembangan dan pemeliharaan IPLT. Lebih lanjut, operator disarankan untuk mengeksplorasi model pembiayaan yang lebih berkelanjutan, seperti menyesuaikan tarif layanan agar lebih selaras dengan kemampuan pelanggan dan kebutuhan operasional [29]. Seperti hasil wawancara dengan Vicky Mundiahi (konsultan IUWASH Tangguh):

“Ada tiga alternatif setelah kita melihat, kemampuan keuangan apakah mampu atau tidak. Kalau tidak mampu, berarti 3 cara ini yang kita lakukan. Yang pertama penyesuaian tarif. Yang kedua efisiensi biaya, apapun itu. Kemudian yang ketiga adalah melakukan peningkatan pendapatan” (Wawancara, 4 Februari 2025).

Partisipasi sektor swasta juga dianggap krusial dalam menciptakan pembiayaan yang lebih fleksibel dan inovatif, seperti yang diterapkan di Polandia, Irlandia, Skotlandia, Bangladesh dan China [30], [31], [32]. Manajemen sumber daya manusia yang efektif akan meningkatkan efisiensi operasional dan kualitas layanan secara keseluruhan.

Tidak hanya manajemen keuangan yang krusial, tetapi manajemen sumber daya manusia juga berperan penting dalam meningkatkan kualitas layanan. Salah satu permasalahan yang dihadapi adalah kurangnya tenaga terampil dalam pengolahan lumpur tinja dan pemeliharaan IPLT. Hal ini disebabkan oleh terbatasnya kesempatan pelatihan dan pengembangan profesional bagi staf yang terlibat dalam pengelolaan air limbah. Oleh karena itu, salah satu rekomendasi utama yang muncul adalah perlunya peningkatan investasi dalam pelatihan keterampilan teknis, perbaikan kondisi kerja, dan pemberian insentif bagi pekerja terampil, seperti gaji yang kompetitif dan peluang pengembangan karier [1]. Seperti hasil wawancara dengan Indah Nursanthi (UPTD PALD):

“Perlu peningkatan skill atau kompetensi petugas agar tercapai target sanitasi aman..... Peningkatan kapasitas internal agar seluruh pekerjaan sesuai dengan SOP (standard teknis).....Ada target kinerja (personil) yang akan dievaluasi terus (dan berpengaruh pada insentif/ pendapatan personil)” (Wawancara, 31 Januari 2025).

Pelatihan bagi pekerja seperti diterapkan di Somalia, Nigeria, Kenya, Ghana, India, Filipina, dan Bangladesh [2], [4], [33]. Manajemen sumber daya manusia yang efektif akan meningkatkan efisiensi operasional dan kualitas layanan secara keseluruhan.

Selain itu, salah satu tantangan paling signifikan dalam pengelolaan air limbah adalah efisiensi operasional, khususnya yang menyangkut pengumpulan, pengangkutan, dan pengolahan lumpur. Hasil wawancara menunjukkan bahwa keterbatasan jam operasional mengakibatkan ketidakmampuan untuk memenuhi permintaan yang terus meningkat untuk pengelolaan lumpur tinja, terutama selama akhir pekan dan hari libur nasional, yang menyebabkan waktu tunggu yang cukup lama sekitar 2 hingga 3 hari. Masalah ini muncul dari kekurangan personel dan peralatan. Akibatnya, salah satu solusi yang diusulkan adalah memperpanjang jam operasional untuk mengakomodasi permintaan selama akhir pekan dan hari libur nasional, serta menambah sumber daya dan personel untuk meningkatkan kapasitas layanan. Selain itu, adopsi teknologi modern dan digitalisasi proses yang terkait dengan pemesanan, pengumpulan, pengangkutan, dan pengolahan lumpur tinja secara otomatis juga direkomendasikan untuk meningkatkan efisiensi operasional [2], [5], [17], [34]. Seperti hasil wawancara dengan Indah Nursanthi (UPTD PALD):

“Perlu penggunaan teknologi pengeringan. Tidak hanya mengandalkan alam untuk pengeringannya. Alternatif lainnya menambah (teknologi) proses pengolahan baru. Tidak menggunakan SSC (Sludge Separation Chamber). Menambah unit pengolahan baru, yang bisa mengolah sendiri, terlepas dari sistem IPLT (eksisting)..... Pengembangan MIS, pembayaran QRIS (inovasi pembayaran digital), virtual account bekerjasama dengan Bank J, pelayanan yang paperless” (Wawancara, 31 Januari 2025).

Penerapan teknologi tepat guna yang efektif dalam pengelolaan lumpur tinja telah diterapkan di Thailand, India, Bangladesh, Filipina, Nigeria, Kenya, Italia, Spanyol, Austria, Prancis, dan Belanda [33], [35], [36], [37], [38], [39]. Dengan demikian, hal ini dapat meningkatkan kualitas layanan dan mengurangi biaya operasional.

Salah satu faktor signifikan yang memengaruhi kinerja pengelolaan air limbah adalah pertumbuhan basis pelanggan. Peningkatan jumlah pelanggan memiliki dampak substansial terhadap keberlanjutan finansial dan efisiensi layanan, namun hal ini juga disertai dengan tantangan yang cukup besar. Kekhawatiran utama adalah ketidaksesuaian antara pertumbuhan penduduk dan perencanaan infrastruktur pengelolaan air limbah. Seiring bertambahnya jumlah

penduduk, terutama di permukiman baru, banyak wilayah yang belum terhubung dengan sistem pengelolaan air limbah. Hal ini mengakibatkan terbatasnya kapasitas pengolahan dan menghambat perluasan layanan. Lebih lanjut, rendahnya tingkat kesadaran masyarakat mengenai pentingnya sanitasi yang memadai juga menjadi hambatan yang signifikan [2], [4], [40]. Untuk mengatasi tantangan ini, direkomendasikan untuk memperkuat kampanye edukasi publik yang menekankan pentingnya pengelolaan air limbah yang efektif dan dampaknya terhadap kesehatan. Seperti hasil wawancara dengan Ratih Dewi dan Arief Riyadi (konsultan IUWASH Tangguh):

“Kekuatan yang paling penting adalah promosi di masyarakatnya, meningkatkan awareness di masyarakat. Perlu inovasi-inovasi khusus seperti bekerjasama dengan dasawisma dan lainnya (kader PKK, kader lingkungan, Bumdes). Meningkatkan strategi marketing yang lebih terstruktur. Juga promosi melalui media sosial” (Wawancara, 4 Februari 2025).

“Upaya marketing (edukasi) yang lebih kreatif dengan menggandeng BDA (swasta). Juga menggandeng kader-kader lingkungan seperti di Desa B. Jika masing-masing desa ada kader seperti Bu Pr akan luar biasa (hasil edukasinya)” (Wawancara, 5 Februari 2025).

Edukasi tersebut berupa kampanye penyadaran masyarakat, pelatihan bagi masyarakat dan pegiat sanitasi, program sanitasi di sekolah, dan pelibatan komunitas seperti yang diterapkan di Ghana, Somalia, Kenya, Japan, dan Bangladesh [2], [4], [41], [42]. Edukasi yang efektif dapat meningkatkan kesadaran publik dan mendorong individu untuk terhubung dengan sistem sanitasi yang ada.

Lebih lanjut, untuk memperluas cakupan layanan, koordinasi, dan kolaborasi antara pemerintah dan sektor swasta diperlukan untuk pengembangan infrastruktur pengelolaan air limbah. Kolaborasi ini dapat mencakup penyediaan subsidi selektif untuk memfasilitasi akses yang lebih mudah terhadap layanan sanitasi bagi rumah tangga [20]. Rekomendasi lain yang diperoleh dari wawancara menyoroti pentingnya pengawasan regulasi dan penegakan standar dalam pengelolaan air limbah, yang memastikan bahwa operator dapat memenuhi ekspektasi kinerja sekaligus mendorong keterlibatan aktif masyarakat dalam mencapai standar infrastruktur sanitasi. Seperti hasil wawancara dengan Shanty Wahyu Anggraini (BAPPEDA):

“Untuk sanitasi, harapan kita minimal bisa mencapai 2% (anggaran APBD). Tapi ternyata kita belum mencapai. Kita mencoba untuk mencari alternatif pembiayaan (Baznas, CSR, investasi pihak ketiga atau B to B)..... Setiap permukiman yang baru, ada rekomendasi harus (mengelola) limbah domestiknya bukan individual, melainkan komunal..... Kedepannya perumahan (permukiman) baru akan lebih ketat (pengawasannya)..... Sudah ada regulasi yang merekomendasikan (pengelolaan) komunal. Tapi pengawasan (pengawasan) dilapangan yang masih kedodoran” (Wawancara, 31 Januari 2025).

Memperkuat kerja sama dan kerangka regulasi, serta menyediakan pedoman yang jelas untuk pengelolaan lumpur tinja dapat meningkatkan kinerja sistem pengelolaan air limbah secara keseluruhan [16], [19] seperti yang juga diterapkan di Thailand, Bangladesh, China, India, Polandia, Irlandia, Skotlandia, dan negara-negara di Afrika (Ghana, Senegal, Uganda, Kenya, Zambia) [30], [31], [43], [44]. Kerjasama tersebut berupa layanan pengelolaan lumpur tinja, investasi, dan inovasi teknologi. Dengan langkah-langkah ini, kita dapat mencapai pertumbuhan berkelanjutan dalam jumlah pelanggan, yang sejalan dengan pengembangan infrastruktur yang memadai.

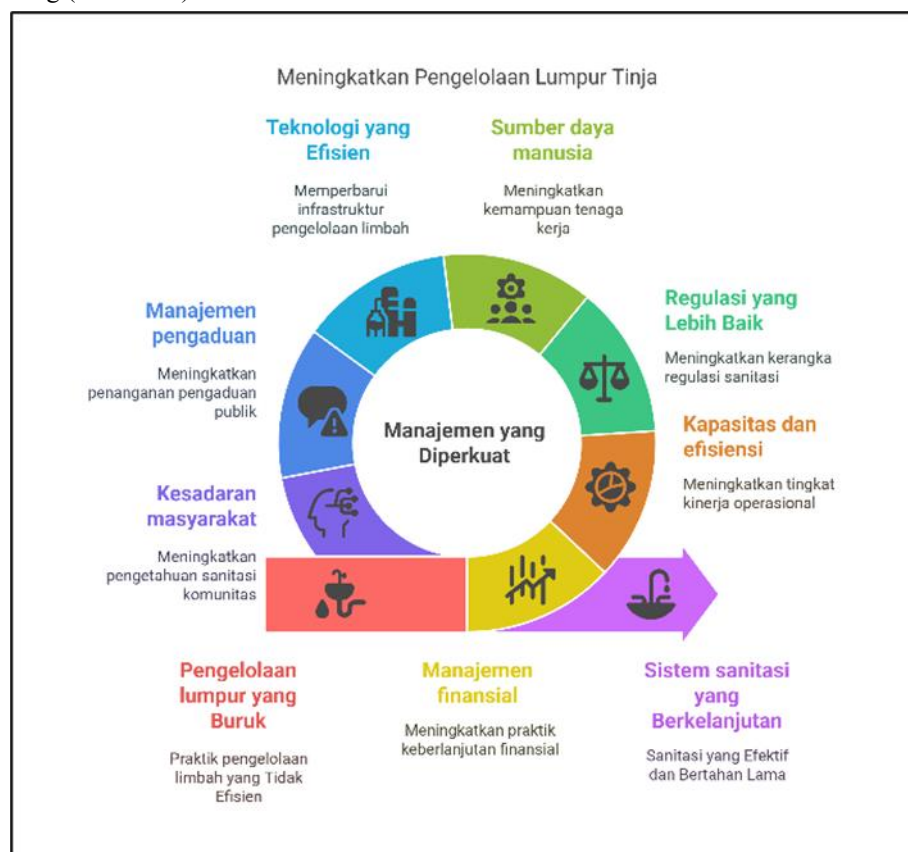
Manajemen pengaduan juga merupakan isu penting terkait kinerja layanan. Meskipun jumlah pengaduan yang diterima relatif rendah, penanganan pengaduan ini sering terhambat oleh prosedur pengaduan yang tidak jelas dan kurangnya respons dari pusat panggilan. Hal ini mengakibatkan banyak pengaduan tidak ditangani dengan cepat, sehingga berdampak pada kualitas layanan. Akibatnya, untuk meningkatkan kualitas layanan, sangat penting untuk membangun sistem manajemen pengaduan yang efisien dengan prosedur yang jelas dan menyediakan saluran komunikasi yang lebih beragam bagi pelanggan. Lebih lanjut, pelatihan staf dalam penanganan pengaduan juga penting untuk memastikan bahwa mereka dapat menyelesaikan pengaduan dengan cepat dan akurat [1], meningkatkan sistem pengaduan ini akan membantu dalam menjaga kepuasan pelanggan dan meningkatkan reputasi layanan pengelolaan air limbah.

Dari segi operasional, kapasitas IPLT telah menjadi isu yang signifikan. Berdasarkan wawancara yang dilakukan, IPLT saat ini beroperasi pada 70%-80% dari kapasitas maksimumnya, yang menunjukkan kebutuhan mendesak untuk peningkatan kapasitas guna mengakomodasi permintaan yang terus meningkat. Keterbatasan kapasitas ini juga terkait dengan meningkatnya volume pengolahan lumpur, yang menghambat proses pengeringan akibat kondisi cuaca yang tidak stabil. Untuk mengatasi masalah ini, pembangunan IPLT baru dan peningkatan kapasitas fasilitas yang ada sangat disarankan. Lebih lanjut, pengembangan sistem pengolahan air limbah terdesentralisasi atau sistem pengolahan skala kecil juga dapat menjadi solusi yang layak, terutama di daerah padat penduduk, untuk mengurangi tekanan pada fasilitas IPLT, seperti yang diterapkan di India, Tanzania, dan Jordan [15] [45], [46], [47]. Selain itu, hasil wawancara menunjukkan alternatif penggunaan lumpur, seperti memanfaatkannya sebagai media tanam untuk mengurangi dampak lingkungan dan menghasilkan manfaat ekonomi [21]. Seperti hasil wawancara dengan Shanty Wahyu Anggraini (BAPPEDA):

“Hasil akhir padatan dari lumpur tinja yang masih menumpuk, akhirnya dijadikan kompos untuk dihadiahkan kepada pelanggan (beserta tanaman)..... Kepala UPTD akan konsultasi ke pusat (pemerintah), terkait alternatif pemanfaatan residu akhir padatan lumpur tinja” (Wawancara, 31 Januari 2025).

Rekomendasi tersebut sejalan dengan konsep sirkulasi ekonomi berkelanjutan dalam konteks sanitasi yang telah diterapkan di beberapa negara seperti Ghana, Swedia, Australia, Malaysia, Kamboja, dan Inggris. Limbah domestik tersebut dimanfaatkan sebagai pupuk organik, bahan bakar, air bersih dan batu bata [48], [49], [50], [51].

Secara keseluruhan, integrasi hasil kuantitatif dan kualitatif menunjukkan bahwa untuk meningkatkan pengelolaan lumpur tinja di Indonesia, penguatan manajemen keuangan, serta peningkatan kapasitas dan efisiensi operasional, sangatlah penting. Kedua faktor ini harus saling mendukung melalui regulasi yang lebih baik, peningkatan kapasitas sumber daya manusia, dan penerapan teknologi yang efisien untuk meningkatkan infrastruktur pengelolaan limbah. Lebih lanjut, peningkatan pengelolaan pengaduan dan kesadaran publik juga penting bagi keberlanjutan sistem sanitasi di masa mendatang (Gambar 2).



Gambar 2. Hasil integrasi

IV. SIMPULAN

Studi ini mengidentifikasi dua faktor utama yang memengaruhi kinerja pengelolaan lumpur tinja di Indonesia: Manajemen Keuangan dan Sumber Daya Manusia, serta Penyediaan Layanan dan Efisiensi Operasional. Temuan penelitian menunjukkan bahwa keberhasilan pengelolaan sangat bergantung pada manajemen keuangan dan sumber daya manusia yang efektif, serta peningkatan infrastruktur dan efisiensi operasional. Aspek pengelolaan keuangan, khususnya pengelolaan anggaran dan penerimaan yang belum optimal, menimbulkan tantangan yang signifikan. Lebih lanjut, dalam hal sumber daya manusia, kurangnya pelatihan dan kapasitas staf merupakan kendala yang cukup besar. Penelitian ini berkontribusi pada pemahaman pengelolaan lumpur tinja di negara berkembang seperti Indonesia, dengan menekankan pentingnya pendekatan holistik yang mengintegrasikan faktor keuangan, operasional, dan sumber daya manusia untuk meningkatkan keberlanjutan sistem pengelolaan limbah domestik. Temuan ini juga menggarisbawahi perlunya kebijakan yang mendukung pembiayaan berkelanjutan dan penguatan kapasitas sumber daya manusia. Keterbatasan penelitian ini berkaitan dengan cakupan geografisnya yang terbatas, sehingga tidak

memungkinkan identifikasi wilayah dengan kondisi yang berbeda, seperti yang terkait dengan kondisi sosial, ekonomi, budaya, regulasi, dan kemampuan fiskal pemerintah daerah. Penelitian lebih lanjut dapat mengeksplorasi efektivitas kemitraan publik-swasta dan peran masyarakat dalam meningkatkan pengelolaan sanitasi berkelanjutan, serta mengeksplorasi respon dari masyarakat atau pelanggan tentang kinerja operator pengelola lumpur tinja.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih atas segala dukungan, bimbingan, dan doa yang telah diberikan selama proses penyusunan proyek akhir ini. Saya menyampaikan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing, yang sabar memberikan bimbingan dan masukan yang berharga. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini. Saya berharap hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan dunia kerja.

REFERENSI

- [1] A. Peal *et al.*, “Estimating Safely Managed Sanitation in Urban Areas; Lessons Learned From a Global Implementation of Excreta-Flow Diagrams,” *Front Environ Sci*, vol. 8, pp. 1–13, Jan. 2020, doi: 10.3389/fenvs.2020.00001.
- [2] K. Conaway, S. Lebu, K. Heilferty, A. Salzberg, and M. Manga, “On-site sanitation system emptying practices and influential factors in Asian low- and middle-income countries: A systematic review,” Jun. 01, 2023, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.heha.2023.100050.
- [3] S. F. Sisay, S. R. Gari, and A. Ambelu, “Fecal Sludge Management and Sanitation Safety: An Assessment in Addis Ababa, Ethiopia,” *Environ Health Insights*, vol. 18, pp. 1–13, Jan. 2024, doi: 10.1177/11786302241267187.
- [4] M. M. Hussein, A. O. Odongo, A. Kerochi, and J. Snuggs, “Fecal sludge management practices and associated factors among residents living in Baidoa, Somalia,” *Int J Community Med Public Health*, vol. 10, no. 11, pp. 4004–4011, Oct. 2023, doi: 10.18203/2394-6040.ijcmph20233422.
- [5] S. B. Sam, E. Morgenroth, and L. Strande, “Changes in organic fractions, cations, and stabilization from feces to fecal sludge: implications for dewatering performance and management solutions,” *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, vol. 13, no. 9, pp. 699–710, Sep. 2023, doi: 10.2166/washdev.2023.086.
- [6] P. N. Bao, M. S. Abfertiawan, P. Kumar, and M. F. Hakim, “Challenges and Opportunities for Septage Management in the Urban Areas of Indonesia €“ Case Study in Bandung City,” *Journal of Engineering and Technological Sciences*, vol. 52, no. 4, pp. 481–500, Jul. 2020, doi: 10.5614/j.eng.technol.sci.2020.52.4.3.
- [7] M. Odagiri *et al.*, “Safely managed on-site sanitation: A national assessment of sanitation services and potential fecal exposure in Indonesia,” *Int J Environ Res Public Health*, vol. 18, no. 15, pp. 1–16, Aug. 2021, doi: 10.3390/ijerph18158204.
- [8] A. S. Narayan *et al.*, “Advancements in and Integration of Water, Sanitation, and Solid Waste for Low-and Middle-Income Countries,” *Annu Rev Environ Resour*, vol. 46, pp. 193–219, Oct. 2021, doi: 10.1146/annurev-environ-030620.
- [9] A. Schrecongost, D. Pedi, J. W. Rosenboom, R. Shrestha, and R. Ban, “Citywide Inclusive Sanitation: A Public Service Approach for Reaching the Urban Sanitation SDGs,” *Front Environ Sci*, vol. 8, pp. 1–8, Feb. 2020, doi: 10.3389/fenvs.2020.00019.
- [10] Paramita N, R. Hendrotoro, and S. Koestoer, “Fecal Sludge Management in Developing Countries: Developing Countries Comparison,” *Jurnal Presipitasi*, vol. 18, no. 3, pp. 564–570, 2021, doi: 10.14710/presipitasi.v18i3.564-570.
- [11] K. Nisa and A. Slamet, “Performance Evaluation Of Faecal Sludge Treatment Plant (Case Study: IPLT Sidokumpul Lamongan),” 2023. doi: 10.46799/ajesh.v2i8.103.
- [12] S. A. Manzhina and M. Yu. Drobin, “Global Trends In The Sewage Sludge Rationing For Improving Soil Fertility,” *Ecology and water management*, no. 2, pp. 1–16, 2023, doi: 10.31774/2658-7890-2023-5-2-54-69.

- [13] A. Sudrajat, Sudarno, and Y. Luqman, "Scheduled Faecal Sludge Service (SFSS) for Sustainable Faecal Sludge Management in Cilacap," in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Nov. 2020, pp. 1–9. doi: 10.1051/e3sconf/202020206031.
- [14] D. Jean-Baptiste and F. Monette, "Comparative life cycle assessment of on-site sanitation systems using lagoons or drying beds for fecal sludge treatment in low-income tropical countries," *Water Science and Technology*, vol. 90, no. 10, pp. 2842–2856, Nov. 2024, doi: 10.2166/wst.2024.377.
- [15] P. Reymond, R. Chandragiri, and L. Ulrich, "Governance Arrangements for the Scaling Up of Small-Scale Wastewater Treatment and Reuse Systems – Lessons From India," *Front Environ Sci*, vol. 8, pp. 1–16, Jun. 2020, doi: 10.3389/fenvs.2020.00072.
- [16] A. Taweesan, T. Koottatep, and K. Dongo, "Factors influencing the performance of faecal sludge management services: case study in Thailand municipalities," *Environ Dev Sustain*, vol. 19, no. 1, pp. 125–140, Feb. 2017, doi: 10.1007/s10668-015-9719-x.
- [17] S. B. Sam, B. J. Ward, R. Niederdorfer, E. Morgenroth, and L. Strande, "Elucidating the role of extracellular polymeric substances (EPS) in dewaterability of fecal sludge from onsite sanitation systems, and changes during anaerobic storage.," *Water Res*, vol. 222, pp. 1–12, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.watres.2022.118915.
- [18] J. Dickson-Gomez, A. Nyabigambo, A. Rudd, J. Ssentongo, A. Kiconco, and R. W. Mayega, "Water, Sanitation, and Hygiene Challenges in Informal Settlements in Kampala, Uganda: A Qualitative Study," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 20, no. 12, pp. 1–13, Jun. 2023, doi: 10.3390/ijerph20126181.
- [19] N. Paramita, R. Purwana, D. M. Hartono, and T. E. Budhi Soesilo, "Determining factors and strategy in sustainable fecal sludge management services," *Groundw Sustain Dev*, vol. 28, pp. 1–3, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.gsd.2024.101390.
- [20] R. Peletz *et al.*, "When pits fill up: Supply and demand for safe pit-emptying services in Kisumu, Kenya," *PLoS One*, vol. 15, no. 9 September, pp. 1–25, Sep. 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0238003.
- [21] M. Silumesii, E. Mwanaumo, and L. Mwiinga, "Factors Determining the Actual Emptying Fees for Fecal Sludge in Unplanned Residential Areas of Lusaka District, Zambia," *Int J Adv Res (Indore)*, vol. 7, no. 1, pp. 183–200, Aug. 2024, doi: 10.37284/ijar.7.1.2125.
- [22] Y. M. Zakaria, A. El Gendy, and S. El Haggag, "Sustainability Assessment for Wastewater Treatment Systems—Case Studies in Egypt," *J Environ Prot (Irvine, Calif)*, vol. 12, no. 02, pp. 90–105, 2021, doi: 10.4236/jep.2021.122007.
- [23] A. A. Zewde, Z. Li, and Z. Xiaojin, "Improved and promising fecal sludge sanitizing methods: Treatment of fecal sludge using resource recovery technologies," May 01, 2021, *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development. IWA Publishing*. doi: 10.2166/washdev.2021.268.
- [24] C. Murungi and M. P. van Dijk, "Emptying, Transportation and Disposal of faecal sludge in informal settlements of Kampala Uganda: The economics of sanitation," *Habitat Int*, vol. 42, pp. 69–75, 2014, doi: 10.1016/j.habitatint.2013.10.011.
- [25] J. F. Hair, W. C. Black, B. J. Babin, and R. E. Anderson, "Multivariate Data Analysis, Eighth Edition," 2019. [Online]. Available: [https://dosen.upi-yai.ac.id/v5/dokumen/materi/040105/34_20230520183156_Multivariate%20Data%20Analysis,%208th%20edition%20\(1\).pdf](https://dosen.upi-yai.ac.id/v5/dokumen/materi/040105/34_20230520183156_Multivariate%20Data%20Analysis,%208th%20edition%20(1).pdf)
- [26] R. Vebrianto, M. Thahir, Z. Putriani, I. Mahartika, A. Ilhami, and D. Diniya, "Mixed Methods Research: Trends and Issues in Research Methodology," Dec. 2020. doi: 10.55748/bjel.v1i2.35.
- [27] Tim Penyusun. Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Cipta Karya Direktorat Pengembangan Penyehatan Lingkungan Permukiman, "Petunjuk Teknis Penilaian Kinerja Unit Pelaksana Teknis Daerah Pengelola Air Limbah Domestik," Dec. 2018. [Online]. Available: https://www.forkalim.or.id/filependukung/juknis_penilaian_kinerja_uptd_compressed.pdf
- [28] L. T. A. L. Tra, K. Dongo, V. Pessoa Colombo, S. Singh, and J. Chenal, "Environmental and socio-economic determinants of fecal sludge emptying in Sub-Saharan Africa: A cross-sectional mixed-methods study in Abidjan, Côte d'Ivoire," *Environmental Science and Pollution Research*, pp. 66497–66511, Dec. 2024, doi: 10.1007/s11356-024-35631-6.
- [29] S. Balasubramanya *et al.*, "Towards sustainable sanitation management: Establishing the costs and willingness to pay for emptying and transporting sludge in rural districts with high rates of access to latrines," *PLoS One*, vol. 12, no. 3, Mar. 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0171735.

- [30] M. Łakomy-Zinowik, "Public-Private Partnership in the Context of Sustainable Development on the Example of the Water and Wastewater Sector," *Journal of Security and Sustainability Issues*, vol. 12, no. 1, pp. 109–119, Jun. 2022, doi: 10.47459/jssi.2022.12.9.
- [31] S. Singh, A. Gupta, M. Alamgir, and D. Brdjanovic, "Exploring private sector engagement for faecal sludge emptying and transport business in khulna, bangladesh," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 18, no. 5, pp. 1–14, Mar. 2021, doi: 10.3390/ijerph18052755.
- [32] J. Gui, J. Song, and W. Xia, "The Impact of Contractual Governance on Project Performance in Urban Sewage Treatment Public–Private Partnership Projects: The Moderating Role of Administrative Efficiency," *Buildings*, vol. 15, no. 11, Jun. 2025, doi: 10.3390/buildings15111858.
- [33] C. Muoghalu, S. Semiyaga, and M. Manga, "Faecal sludge emptying in Sub-Saharan Africa, South and Southeast Asia: A systematic review of emptying technology choices, challenges, and improvement initiatives," 2023, *Frontiers Media S.A.* doi: 10.3389/fenvs.2023.1097716.
- [34] W. C. Chipeta, R. H. Holm, J. F. Kamanula, W. E. Mtonga, and F. L. de los Reyes, "Designing local solutions for emptying pit latrines in low-income urban settlements (Malawi)," *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 100, pp. 336–342, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.pce.2017.02.012.
- [35] A. Taweesan, T. Koottatep, and C. Polprasert, "Effective faecal sludge management measures for on-site sanitation systems," *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, vol. 5, no. 3, pp. 483–492, Aug. 2015, doi: 10.2166/washdev.2015.010.
- [36] M. Domini, A. Abbà, and G. Bertanza, "Analysis of the variation of costs for sewage sludge transport, recovery and disposal in Northern Italy: A recent survey (2015–2021)," *Water Science and Technology*, vol. 85, no. 4, pp. 1167–1175, Feb. 2022, doi: 10.2166/wst.2022.040.
- [37] D. Palma-Heredia, M. Poch, and M. Cugueró-Escofet, "Implementation of a decision support system for sewage sludge management," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 21, pp. 1–18, Nov. 2020, doi: 10.3390/su12219089.
- [38] A. Amann, N. Weber, J. Krampe, H. Rechberger, O. Zoboli, and M. Zessner, "Operation and performance of austrian wastewater and sewage sludge treatment as a basis for resource optimization," *Water (Switzerland)*, vol. 13, no. 21, Nov. 2021, doi: 10.3390/w13212998.
- [39] L. Spinosa *et al.*, "Sustainable and innovative solutions for sewage sludge management," *Water (Switzerland)*, vol. 3, no. 2, pp. 702–717, 2011, doi: 10.3390/w3020702.
- [40] Z. Hadianto, S. Syafrudin, and S. Sunarsih, "an Overview of The Fecal Waste Management City of Surabaya: Challenges and Opportunities to Improve Services," *ICENIS 2018*, vol. 73, pp. 1–5, Dec. 2018, doi: 10.1051/e3sconf/2018730.
- [41] R. A. Atengdem, S. M. Abobi, and E. H. Alhassan, "Evaluating community adoption and participation in water and sanitation interventions in the Bongo District, Ghana," *Frontiers in Water*, vol. 6, 2024, doi: 10.3389/frwa.2024.1349331.
- [42] C. MacLeod, K. Davies, M. M. Mwenge, J. Chipungu, O. Cumming, and R. Dreibelbis, "Household behaviour change interventions to improve sanitation and hygiene practices in urban settings: a scoping review," Aug. 21, 2024. doi: 10.1101/2024.08.20.24312313.
- [43] "Formally engaging the private sector for fecal sludge management services: experiences from six African cities In 2013, the Bill and Melinda Gates Foundation (BMGF), together with the UK Department for International Development launched the Partnership Cities Project."
- [44] A. Murray, G. D. Mekala, and X. Chen, "Evolving policies and the roles of public and private stakeholders in wastewater and faecal-sludge management in India, China and Ghana," *Water Int*, vol. 36, no. 4, pp. 491–504, Jul. 2011, doi: 10.1080/02508060.2011.594868.
- [45] M. Rath, T. Schellenberg, P. Rajan, and G. Singhal, "Decentralized Wastewater and Fecal Sludge Management: Case Studies from India," 2020. [Online]. Available: <http://www.indiawatertool.in/>.
- [46] M. Catherine and A. Augustina, "Efficacy Assessment of Decentralized Wastewater Treatment Systems in treating Faecal Sludge within Dar es Salaam City," *International Journal Of Scientific Advances*, vol. 3, no. 5, 2022, doi: 10.51542/ijscia.v3i5.19.
- [47] N. Obeidat, K. Shatanawi, G. Kassab, and M. Halalsheh, "Performance of decentralized wastewater treatment system employing Upflow anaerobic sludge blanket and Vertical Flow Constructed Wetland," *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 9, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.csee.2024.100695.

- [48] A. Mallory *et al.*, “Evaluating the circular economy for sanitation: Findings from a multi-case approach,” *Science of the Total Environment*, vol. 744, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140871.
- [49] F. Hanum *et al.*, “Treatment of sewage sludge using anaerobic digestion in Malaysia: Current state and challenges,” 2019, *Frontiers Media S.A.* doi: 10.3389/fenrg.2019.00019.
- [50] C. Eliyan, J. R. McConville, C. Zurbrügg, T. Koottatep, K. Sothea, and B. Vinnerås, “Generation and Management of Faecal Sludge Quantities and Potential for Resource Recovery in Phnom Penh, Cambodia,” *Front Environ Sci*, vol. 10, Apr. 2022, doi: 10.3389/fenvs.2022.869009.
- [51] H. Nicholas, E. Winrow, A. Devine, I. Robertson, and I. Mabbett, “Faecal sludge pyrolysis as a circular economic approach to waste management and nutrient recovery,” Mar. 01, 2025, *Springer Science and Business Media B.V.* doi: 10.1007/s10668-023-04219-4.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.