

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim dan fenomenanya telah menyita perhatian negara-negara di dunia saat ini. Fenomena perubahan iklim dapat ditemukan dari pergeseran pola hujan musiman, naiknya permukaan air laut, peningkatan suhu atmosfer, dan pemanasan global (Cubasch dkk., 2013). Perubahan iklim berkaitan erat dengan meningkatnya kadar sejumlah gas seperti karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), chlorofluorocarbon (CFC), dan dinitroksida (N₂O) di atmosfer bumi. Peningkatan gas-gas ini mayoritas disebabkan oleh aktivitas antropogenik, yang meliputi; tidak efisiennya penggunaan energi, meluasnya penggunaan lahan, gaya hidup dan pola konsumsi serta pola produksi lintas wilayah.

Perubahan iklim merupakan tantangan lingkungan global yang mengancam keberlanjutan lingkungan dan eksistensi kehidupan. IPCC melaporkan total emisi GRK antropogenik telah mencapai 49 GtCO₂eq pada periode tahun 2000–2010, dengan peningkatan rata-rata 2,2% tiap tahun (IPCC, 2014). Dampak emisi GRK antropogenik ini menyebabkan kenaikan suhu global sebesar 0,85°C sejak 1880 serta akan mencapai 1,5°C periode tahun 2021–2040 (IPCC, 2023). Peningkatan suhu global memicu bencana ekologis, seperti cuaca ekstrem, kenaikan permukaan laut, terganggunya sistem pangan dan kesehatan masyarakat. Peristiwa ekstrim akan sering terjadi baik di darat, air tawar, pesisir maupun laut. Perubahan lingkungan alami es kutub berdampak pada meningkatkannya permukaan air laut yang

merambah pemukiman dan infrastruktur pesisir sehingga ekosistem dataran rendah akan tenggelam bahkan hilang (Mycoo dkk., 2022).

Menyikapi fenomena perubahan iklim yang makin mengemuka, *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) menyelenggarakan Konferensi Perubahan Iklim (COP 21), di Paris (Prancis), tahun 2015. Konferensi tersebut menghasilkan *Paris Agreement* yaitu perjanjian internasional tentang perubahan iklim (*United Nation Climate Change*, 2020). Indonesia merupakan salah satu negara dari 159 negara yang menandatangani perjanjian tersebut. Berawal dari konferensi ini pula, istilah *Net Zero Emission* (NZE) dikenal di dunia termasuk di Indonesia. Komitmen pemerintah terhadap isu pemanasan global dan perubahan iklim ditunjukkan dengan diadopsinya *Paris Agreement* dalam Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 serta menyusun *Nationally Determined Contribution* (NDC) tentang rencana dan target penurunan emisi gas rumah kaca (GRK) di tingkat nasional. Target penurunan emisi gas rumah kaca (GRK) Indonesia pada tingkat nasional dalam Skenario *Business as Usual* (BaU) semula ditetapkan sebesar 29% melalui upaya mandiri (*unconditional*) dan 41% dengan dukungan kerja sama internasional (*conditional*) sebagaimana tercantum dalam NDC) tahun 2016. Selanjutnya, melalui *Enhanced NDC* tahun 2022, komitmen tersebut diperbarui menjadi 31,89% untuk upaya mandiri dan 43,20% dengan dukungan internasional, dengan target pencapaian pengurangan emisi pada tahun 2030 (Pemerintah Republik Indonesia, 2016; KLHK, 2022).

Dalam upaya mereduksi laju emisi GRK diberbagai sektor, pemerintah menerbitkan Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 (Pemerintah RI, 2021). Data

KLHK tahun 2022, menunjukkan total emisi GRK Indonesia telah mencapai 1.050,4 juta ton CO₂e, yang berasal dari berbagai sektor. Emisi GRK dari sektor energi sebesar $5,8 \times 10^5$ GgCO₂e/tahun, proses industri dan penggunaan produk sebesar $5,7 \times 10^5$ GgCO₂e/tahun, sektor pertanian sebesar $9,9 \times 10^4$ GgCO₂e/tahun, sektor kehutanan dan kebakaran lahan gambut sebesar $1,84 \times 10^4$ Gg CO₂e/tahun, serta sektor limbah sebesar $1,3 \times 10^4$ GgCO₂e/tahun. Sektor limbah dan persampahan menyumbang emisi GRK terbesar ketiga setelah sektor kehutanan dan energi.

Aktivitas pengelolaan sampah, mulai dari pengumpulan hingga penimbunan di TPA berkontribusi pada peningkatan GRK, diperkirakan mencapai sekitar 11% dari total emisi global (Chaerul, Febrianto, & Tomo, 2020; Manfredi et al., 2009; Lino & Ismail, 2017). Diproyeksi timbulan sampah global mencapai 3.542 Mt pada tahun 2050 dan potensi emisi GRK terutama dari metana (CH₄) meningkat (Chen dkk., 2020, IPCC, 2023). Sektor persampahan menyumbang 6–8% dari total emisi GRK di Indonesia, sebagian besar berasal dari praktik *open dumping*. Namun, pengelolaan sampah nasional masih menghadapi tantangan kompleks yang mencakup aspek teknis, kelembagaan, dan partisipatif (Satori dkk., 2018; Abubakar dkk., 2022; Zain dkk., 2022). Kondisi ini menegaskan pentingnya penerapan sistem pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan dan rendah karbon untuk menekan kontribusi sektor persampahan terhadap total emisi GRK nasional maupun global.

Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), total timbulan sampah rumah tangga dan sejenis rumah tangga di Indonesia dari 333 kabupaten/kota pada periode tahun 2024–2025 diperkirakan mencapai 35,7 juta ton per tahun (sipsn.kemenvh.go.id, 2024). Upaya pengurangan sampah di sumbernya

(*reduce at source*) masih tergolong rendah, hanya sekitar 1,3–1,4% dari total timbulan, sedangkan penanganan sampah baru mencapai 31%–69% sampah nasional belum terkelola dengan standar pengelolaan berkelanjutan. Dari sisi infrastruktur, hanya 5,9 juta ton per tahun sampah yang tertangani melalui *sanitary landfill* atau *controlled landfill*, sementara 9,3 juta ton per tahun masih dibuang ke TPA dengan sistem *open dumping* (SIPSN, 2024). Data Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) menunjukkan bahwa pada tahun 2024 terdapat 272 TPA beroperasi di seluruh Indonesia dengan kapasitas total sekitar 30,68 juta ton, melayani 10,86 juta jiwa penduduk (data.pu.go.id, 2024). Selaras dengan temuan tersebut, KLHK (2023) melaporkan total timbulan sampah nasional mencapai 56,63 juta ton, namun hanya sekitar 39% atau 22,09 juta ton yang berhasil dikelola dengan baik sesuai dengan prinsip pengelolaan sampah berwawasan lingkungan.

Kota Kendari, sebagai kota berkembang di Indonesia juga mengalami problematika dalam pengelolaan sampah perkotaan. Tingkat penanganan sampah hanya mencapai 57%, masih di bawah target nasional sebesar 70% (DLHK Kota Kendari, 2018). Kendala utama dalam pengelolaan sampah meliputi alokasi anggaran yang rendah (0,8% dari APBD), lemahnya kelembagaan dan SDM, serta kurang optimalnya implementasi kebijakan persampahan (DLHK Kota Kendari, 2018; Sudirman & Phradiansah, 2019). Rendahnya partisipasi masyarakat dalam pembatasan dan pemilahan sampah menambah permasalahan pengelolaan sampah di kawasan suburban (Maemuna, Tosepu & Karimuna, 2021). Ketidakefisienan sistem pengelolaan ini tidak hanya meningkatkan risiko pencemaran lingkungan, tetapi juga

menghambat upaya pengelolaan sampah berkelanjutan dan mitigasi emisi gas rumah kaca.

Kota Kendari mengandalkan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Puuwatu sebagai fasilitas utama pengelolaan sampah kota. TPA ini dibangun sejak tahun 2002 dengan luas kawasan $\pm 36,5$ ha, dan lahan efektif mula-mula untuk penimbunan sampah seluas ± 21 ha dengan estimasi umur penggunaan 25 tahun. Adapun teknik pengelolaan yang digunakan saat itu sistem *open dumping*. Seiring dengan perkembangan kota, dan terbitnya Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, sistem pengelolaan di TPA Puuwatu menerapkan sistem pengurugan terkendali sejak tahun 2008. Berdasarkan kondisi aktual tahun 2023, Pemerintah Kota Kendari telah menambah lahan efektif untuk penimbunan seluas ± 24 ha dan lahan yang telah digunakan telah mencapai ± 12 ha. Hal ini berarti lahan efektif penimbunan yang dapat digunakan tersisa seluas ± 12 ha. Mengacu pada jumlah penduduk saat ini dan tingkat pertumbuhan penduduk, timbulan sampah perkapita, tingkat kompaksi sampah di TPA, maka diperkirakan TPA Puuwatu akan penuh dalam jangka waktu 8-14 tahun lagi. Oleh karena itu, intervensi untuk mengurangi timbulan sampah yang dipasok di TPA Puuwatu mutlak harus segera dilakukan untuk memperpanjang umur penggunaan TPA.

Kawasan TPA Puuwatu meliputi area penghijauan, area penimbunan yang tidak aktif, area landfill, area pengolahan gas metana, area bangunan kolam lindi. Sampah yang dipasok di TPA Puuwatu sekitar 240-249 ton sampah/hari yang berasal dari 11 kecamatan 64 kelurahan (DLHK Kota Kendari, 2023). Menurut Gunawan dkk, (2020) dan Yustikarin dkk., (2020), keberadaan sampah organik sangat dominan

(80,7%) di TPA Puuwatu sehingga berpotensi tinggi tinggi menghasilkan emisi metana. Walaupun saat ini, terdapat pengolahan gas metana namun masih sangat terbatas. Tingginya proporsi sampah organik dan volume timbunan yang terus meningkat menjadikan TPA ini sebagai salah satu sumber utama emisi gas rumah kaca di Kota Kendari.

Inventarisasi emisi GRK merupakan kegiatan pencatatan dan pelaporan secara periodik mengenai tren, kondisi, dan besarnya serapan GRK dan perubahan emisinya. Ada berbagai metode yang digunakan untuk menginventarisasi emisi GRK diantaranya metode IPCC, *landGEM*, dan *iWARM US EPA*, (Yaman, Anil and Alagha, 2020). Metode IPCC merupakan metode yang paling sering digunakan. Inventarisasi emisi GRK nasional awalnya menggunakan metode IPCC tahun 2006, namun seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan maka ada beberapa perbaikan metode inventarisasi pada Tahun 2019 (IPCC, 2019).

Seluruh pemerintah kabupaten/kota diwajibkan melaksanakan inventarisasi emisi GRK sesuai ketentuan dalam Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2011 yang mengatur tentang penyelenggaraan inventarisasi emisi GRK nasional. Oleh sebab itu, Pemerintah Provinsi Sulawesi Tenggara menerbitkan Peraturan Gubernur No. 30 Tahun 2012, sebagai dasar hukum dalam rencana aksi penurunan emisi GRK di tingkat daerah, termasuk Kota Kendari (Pemerintah Provinsi Sultra, 2012). Isu perubahan iklim merupakan bagian strategis dalam perencanaan pembangunan jangka menengah (RPJMD) Kota Kendari sebagai tidaklanjut visi sebagai kota layak huni berbasis ekologi dan meningkatkan kualitas lingkungan hidup secara berkelanjutan. Sebagai bagian dari upaya peningkatan kualitas lingkungan yang

berkelanjutan di Kota Kendari maka sistem pengelolaan persampahan dan sanitasi kota diarahkan lebih terpadu, berbasis masyarakat, serta didukung teknologi tepat guna yang ramah lingkungan.

Sektor persampahan berkontribusi terhadap emisi GRK, diperkirakan menyumbang sekitar 3-5% dari total emisi antropogenik global (Bogner dkk., 2008). Walaupun secara global sektor persampahan hanya menyumbang sekitar 3–5% emisi GRK, dampaknya menjadi lebih besar di negara berkembang karena tingginya kandungan sampah organik dan terbatasnya pengelolaan gas metana di tempat pembuangan akhir. Berbagai strategi telah dikembangkan untuk mengurangi emisi GRK persampahan, seperti pemanfaatan gas metana dari tempat pembuangan akhir (TPA), peningkatan sistem pengelolaan sampah, serta peningkatan sistem daur ulang (Bogner dkk., 2008; Mohareb, MacLean & Kennedy, 2011). Analisis SWOT telah dikembangkan untuk mengevaluasi dan merancang strategi pengelolaan sampah yang lebih efektif di berbagai negara, dengan mempertimbangkan kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman dalam sistem pengelolaan yang telah dilakukan (Budihardjo dkk., 2023; Michel Devadoss dkk., 2021; (Kotsiuba dkk., 2023). Integrasi sektor informal dalam sistem pengelolaan sampah formal terbukti memiliki potensi dalam meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah di negara berkembang (Pardo Martínez & Piña, 2017). Selain itu, studi yang lain menunjukkan bahwa pendekatan berbasis daur ulang dapat memberikan dampak pengurangan emisi GRK yang lebih besar dibandingkan dengan strategi berbasis insinerasi (Michel Devadoss dkk., 2021). Menurut Manuja, Kumar & Pandey, (2018), implementasi kebijakan yang tepat, adopsi teknologi yang sesuai, serta peningkatan kapasitas pemangku

kepentingan menjadi faktor kunci dalam menekan dampak sektor persampahan terhadap pemanasan global.

Program reduksi emisi GRK persampahan merupakan investasi lingkungan jangka panjang. Namun, harus didukung oleh strategi yang tepat dan berkelanjutan yakni memberikan kebermanfaatannya pada lingkungan, ekonomi dan sosial. Analisis SWOT dapat mengidentifikasi sejumlah aspek kekuatan, aspek kelemahan, aspek peluang, dan aspek ancaman yang akan dihadapi dalam sistem pengelolaan sampah perkotaan saat ini maupun di masa mendatang. Permasalahan persampahan perkotaan sangatlah kompleks dan saling berkaitan satu sama lainnya sehingga membutuhkan strategi rekayasa teknis maupun rekayasa sosial dalam penanganannya. Gambaran penyelesaian masalah dengan rekayasa teknis ataupun rekayasa sosial disebut pemodelan (Purwanto dkk., 2021). Oleh karena itu penting untuk memodelkan ataupun menggambarkan kebijakan untuk mitigasi terhadap emisi GRK pada sektor persampahan perkotaan yang disesuaikan dengan entitas dan karakteristik wilayah guna meningkatkan jumlah reduksi persampahan dan mengurangi emisi GRK saat ini dan dimasa mendatang. Berdasarkan deskripsi tersebut, penelitian ini akan menyusun skenario model kebijakan mitigasi emisi GRK sektor persampahan yang berkelanjutan di Kota Kendari dengan pendekatan SWOT. Model ini diharapkan dapat diadopsi dan secara signifikan mengurangi emisi GRK berdasarkan entitas kewilayahan..

1.2 Perumusan Masalah

Timbulan sampah di Kota Kendari menunjukkan tren peningkatan seiring pertumbuhan penduduk dan percepatan pembangunan perkotaan. Pada tahun 2023,

jumlah penduduk Kota Kendari tercatat sebesar 355.670 jiwa dengan timbulan sampah mencapai 269,8 ton/hari, meningkat sekitar 39% dibandingkan tahun 2017 (BPS Kota Kendari, 2023; SIPSN, 2023; DLHK Kota Kendari, 2017). Berdasarkan laju pertumbuhan penduduk aktual serta standar timbulan sampah untuk kota sedang sebesar 0,70–0,80 kg/kapita/hari, timbulan sampah Kota Kendari pada tahun 2030 diperkirakan akan mencapai 290.814–332.358 kg/hari. Komposisi sampah didominasi oleh fraksi organik (Angriani & Suyuti, 2017), dengan proporsi sebesar 58,4–64,2% di kawasan permukiman suburban (Maemuna, Tosepu & Karimuna, 2021; Rahmasari, Karimuna & Meliahsari, 2020). Adapun pada kawasan urban, fraksi organik tercatat sebesar 46,7% dan fraksi anorganik sebesar 53,7% (Anisa dkk., 2023). Tingginya timbulan sampah dengan dominasi komponen organik akan meningkatkan emisi GRK, namun membuka peluang pemanfaatan sebagai sumber daya terbarukan apabila dikelola secara tepat.

Kinerja penanganan persampahan di Kota Kendari masih berada di bawah target nasional (DLHK Kota Kendari, 2022). Kondisi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain peningkatan timbulan sampah akibat pertumbuhan penduduk dan ekspansi kawasan suburban, keterbatasan alokasi anggaran pengelolaan sampah yang hanya sekitar 0,8% dari total APBD, serta lemahnya aspek organisasi, kelembagaan, dan kapasitas sumber daya manusia. Selain itu, implementasi kebijakan pengelolaan sampah belum berjalan optimal (Sudirman & Phradiansah, 2019). Permasalahan semakin kompleks akibat rendahnya partisipasi masyarakat dalam pembatasan timbulan sampah, minimnya praktik pemilahan, ketiadaan kegiatan daur ulang dan pemanfaatan kembali, serta belum tersedianya layanan pengangkutan sampah ke TPS

(Maemuna, Tosepu & Karimuna, 2021). Ketidakefisienan sistem pengelolaan ini berkontribusi terhadap peningkatan emisi GRK, risiko pencemaran lingkungan dan rendahnya efektivitas pengelolaan sampah berkelanjutan.

Optimalisasi sistem operasional pengelolaan sampah di Kota Kendari menjadi kebutuhan mendesak untuk meningkatkan efektivitas layanan sekaligus menekan dampak lingkungan. Menurut DLHK Kota Kendari (2018), pengelolaan sampah di tingkat sumber masih rendah akibat kebiasaan masyarakat yang belum menerapkan prinsip 3R. Temuan Rahmasari, Karimuna, dan Meliahsari (2020) menunjukkan bahwa praktik reduksi sampah belum berjalan, sementara fasilitas pemilahan dan pengumpulan sampah di pasar belum tersedia secara memadai (Gunawan, Zainuddin & Tosepu, 2022). Di sisi lain, komunikasi antara DLHK dan masyarakat belum efektif dalam meningkatkan kesadaran pengelolaan sampah (Purnamasari, Tarifu & Harmin, 2020). Minimnya upaya reduksi dari sumber menyebabkan peningkatan volume sampah yang dibuang ke TPA, yang pada gilirannya meningkatkan akumulasi sampah organik dan emisi gas metana (CH_4). Selain itu, praktik pembakaran terbuka turut menyumbang emisi karbon dioksida (CO_2) dan karbon hitam (*black carbon*) yang berdampak negatif terhadap kualitas udara.

Sektor persampahan di Kota Kendari berkontribusi signifikan terhadap emisi GRK, terutama melalui aktivitas penimbunan sampah (*landfilling*) yang diperkirakan menghasilkan sekitar 50.010 ton CO_2e per tahun (Chaerul, Dirgantara & Akib, 2016). Tanpa intervensi yang efektif, emisi dari sektor ini diproyeksikan terus meningkat seiring pertumbuhan timbulan sampah dan keterbatasan sistem pengelolaan yang berkelanjutan. Secara global, pengelolaan sampah yang belum optimal menyumbang

sekitar 5% dari total emisi GRK (Kaza dkk., 2018; Premakumara dkk., 2018), sehingga menegaskan urgensi penguatan strategi mitigasi di tingkat daerah. Berbagai studi menunjukkan bahwa penerapan pengelolaan sampah berkelanjutan melalui pengomposan, daur ulang, dan teknologi pengolahan lanjut seperti hidrotermal berpotensi menurunkan emisi hingga 71% (Ayuvitari & Wijayanti, 2022). Dalam konteks ini, pendekatan pengelolaan sampah terpadu menawarkan kerangka komprehensif yang menekankan kolaborasi lintas aktor untuk membangun sistem yang adaptif dan inklusif (Tchobanoglous dkk, 2002; Anschutz, dkk, 2004; Wirani dkk., 2024; Zahrah dkk., 2024). Namun demikian, efektivitas pendekatan tersebut sangat bergantung pada tingkat integrasi inovasi teknologi, partisipasi pemangku kepentingan, serta kebijakan yang adaptif dalam satu kerangka pengelolaan yang berorientasi pada mitigasi GRK dan keberlanjutan lingkungan jangka panjang.

Peningkatan timbulan sampah di Kota Kendari mengindikasikan ketidakseimbangan antara pertumbuhan penduduk, pola konsumsi, dan kapasitas sistem pengelolaan persampahan yang tersedia. Berdasarkan jumlah penduduk eksisting, laju pertumbuhan penduduk, timbulan sampah per kapita, serta tingkat kompaksi sampah di TPA, diperkirakan TPA Puuwatu akan mencapai kapasitas maksimum dalam kurun waktu sekitar 8–14 tahun ke depan. Dominasi fraksi organik dalam timbulan sampah memperbesar pembentukan gas metana (CH_4) melalui proses dekomposisi anaerob, yang hingga saat ini masih diperlakukan sebagai residu lingkungan, bukan sebagai sumber energi terbarukan yang terkelola. Berbagai studi sebelumnya di Kota Kendari umumnya berhenti pada analisis timbulan, komposisi, atau kinerja operasional persampahan secara parsial, dan belum mengkaji secara

terintegrasi hubungan antara karakteristik sampah, tahapan pengelolaan, dan kontribusi emisi GRK dalam satu kerangka sistemik.

Pada sisi praktik, sistem pengelolaan persampahan Kota Kendari masih didominasi pendekatan *business as usual* yang berorientasi pada pengangkutan dan penimbunan akhir, dengan keterbatasan kapasitas teknis, minimnya alokasi anggaran, lemahnya kelembagaan, serta rendahnya partisipasi masyarakat pada tingkat sumber. Penerapan prinsip 3R belum terintegrasi secara konsisten dengan kebijakan daerah, inovasi teknologi pengolahan sampah organik, maupun mekanisme pembiayaan yang berkelanjutan. Akibatnya, peningkatan timbulan sampah secara langsung berimplikasi pada bertambahnya beban TPA dan emisi GRK, terutama dari praktik *landfilling* konvensional dan pembakaran terbuka. Hal ini menunjukkan belum tersedianya suatu model mitigasi emisi GRK sektor persampahan secara sistemik, yang mampu menghubungkan dimensi teknis pengelolaan sampah, kelembagaan, partisipasi masyarakat, kebijakan, serta inovasi teknologi dalam satu kerangka pengambilan keputusan yang berorientasi pada keberlanjutan jangka panjang. Mempertimbangkan uraian tersebut di atas, pertanyaan penelitian yang diajukan sebagai berikut:

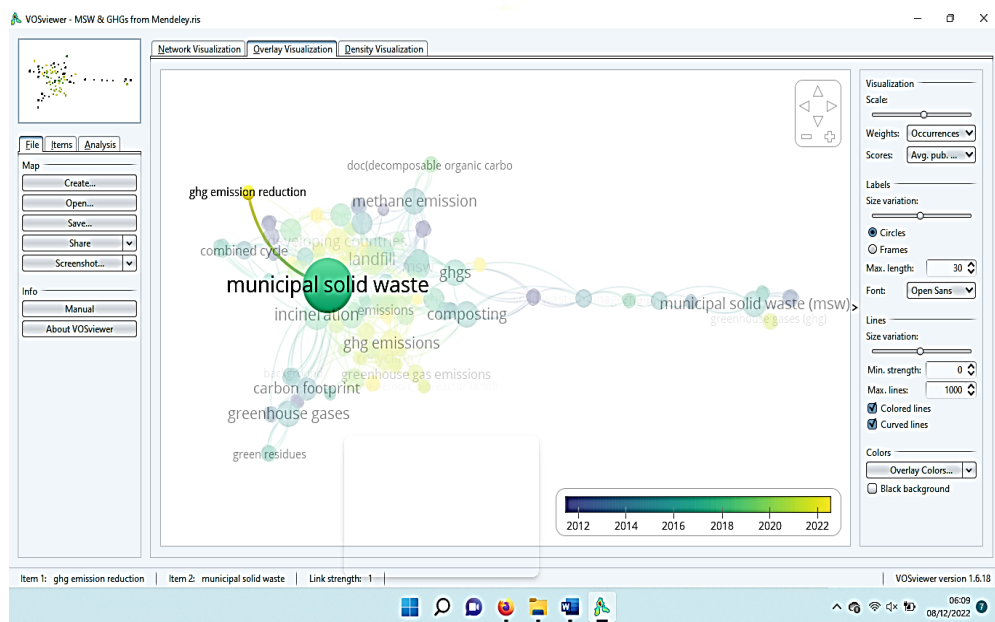
1. Seberapa besar timbulan dan kuantitas, serta apa karakteristik komposisi sampah di Kota Kendari?
2. Mengapa sistem pengelolaan persampahan belum mampu mencapai pengelolaan yang efektif dan berkelanjutan saat ini di Kota Kendari?

3. Bagaimana tingkat penerapan konsep 3R pada skala rumah tangga dan siapa saja pihak yang terlibat dalam pelaksanaan serta penguatan praktik tersebut di Kota Kendari?
4. Kapan dalam tahapan sistem pengelolaan sampah, kontribusi emisi GRK paling signifikan terjadi, dan bagaimana besaran emisi yang dihasilkan pada masing-masing tahapan pengelolaan tersebut?
5. Bagaimana strategi yang tepat untuk memitigasi emisi GRK sektor persampahan, dan dimana titik implementasi dalam rantai sistem pengelolaan sampah yang efektif di Kota Kendari?
6. Bagaimana model mitigasi emisi GRK sektor persampahan yang berkelanjutan yang dapat dikembangkan di Kota Kendari?

1.3 Orisinalitas

Orisinalitas atau keaslian penelitian penting untuk menghindari adanya pengkajian yang berulang-ulang pada hal yang sama. Salah satu upaya untuk menjamin keaslian penelitian ini, maka dilakukan analisis *bibliometric* dengan *Vosviewer (Visualization of similarities) tools*. Pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran artikel publikasi terindeks *Scopus* pada *Scopus database* menggunakan aplikasi meta data *Publish or perish* dengan kata kunci (*keywords*): *Municipal Solid Waste (MSW)* dari Tahun 2012-2022, didapatkan 189 papers dan 26605 sitasi. Data yang diperoleh disimpan yang berbentuk file *Research Information System (RIS) Citation File*, kemudian dilakukan screening ke aplikasi *Mendeley* untuk memastikan kelengkapan informasi *keyword* lalu diekspor ke dokumen berbentuk file *RIS*. Berikutnya, data file dianalisis pada aplikasi *Vosviewer*, dan memilih *create a map*

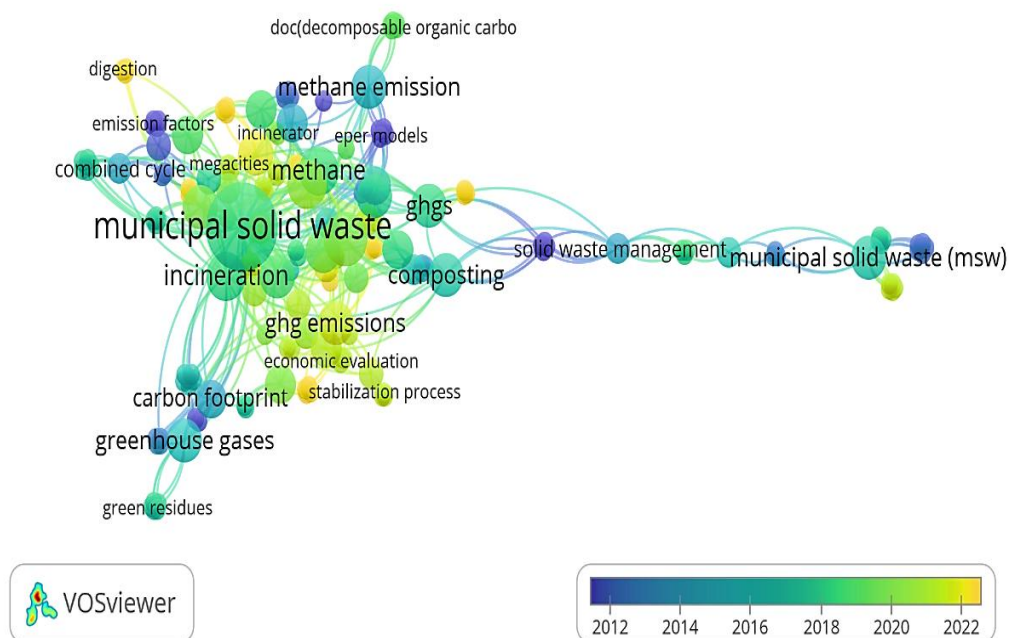
based on bibliographic data agar tampak visualisasi berbentuk *network*, *overlay* dan *density* untuk mengetahui jaringan (*networking*) bibliometrik antar artikel-artikel atau publikasi *online* dari metadata yang telah diunduh. Hasil analisis *overlay* pada *Vosviewer* tampak pada Gambar 1.1 berikut.



Gambar 1.1 Visualisasi *Overlay*

Gambar 1.1 menyajikan visualisasi *overlay keywords* dalam penelitian pada rentang tahun 2012–2022, yang menggambarkan evolusi topik penelitian berdasarkan tingkat keaktualannya. Warna bulatan pada setiap *keyword* mengilustrasikan seberapa baru dan relevan topik tersebut, di mana warna yang lebih terang atau mengarah ke kuning menunjukkan topik yang lebih mutakhir dalam penelitian terkini. Pada visualisasi tersebut, terdapat hubungan yang kuat antara *keyword municipal solid waste (MSW)* dan *GHGs emission reduction*, yang ditunjukkan oleh garis penghubung serta warna terang pada kedua kata kunci tersebut. Hal ini menandakan bahwa penelitian terkait pengurangan GRK dalam

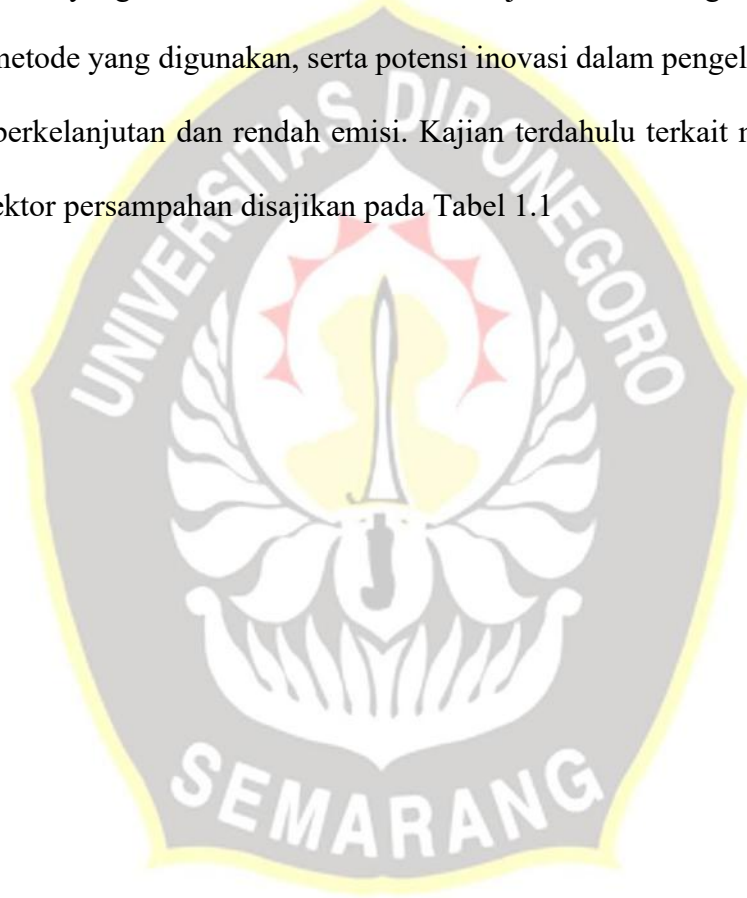
konteks pengelolaan sampah di perkotaan masih menjadi isu yang aktual dan terus berkembang. Oleh sebab itu, penelitian yang berfokus pada mitigasi emisi GRK melalui pengelolaan MSW memiliki potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut, baik dalam aspek metodologi, kebijakan, maupun penerapan teknologi yang lebih efektif dan berkelanjutan. Selanjutnya densitas *keywords* dalam penelitian terkait, disajikan pada Gambar 1.2 berikut.



Gambar 1.2 Visualisasi *Density Vosviewer*

Visualisasi pada Gambar 1.2 menunjukkan distribusi densitas *keywords* dalam penelitian terkait, dimana warna yang lebih terang mengindikasikan frekuensi kemunculan *keywords* yang lebih tinggi dalam publikasi ilmiah. Hasil visualisasi ini menunjukkan bahwa *keywords* *GHG emission reduction* masih tergolong lebih terang (kuning), yang mengindikasikan bahwa topik tersebut relatif kurang dalam

penelitian sebelumnya. Hal ini menunjukkan dapat dieksplorasi lebih lanjut, khususnya dalam konteks reduksi emisi GRK melalui strategi pengelolaan sampah perkotaan yang berkelanjutan. Untuk memperdalam analisis terhadap perkembangan riset di bidang ini, langkah selanjutnya adalah melakukan penelusuran manual terhadap literatur yang relevan. Pendekatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi tren penelitian, metode yang digunakan, serta potensi inovasi dalam pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan dan rendah emisi. Kajian terdahulu terkait mitigasi emisi GRK dari sektor persampahan disajikan pada Tabel 1.1



SEKOLAH PASCASARJANA

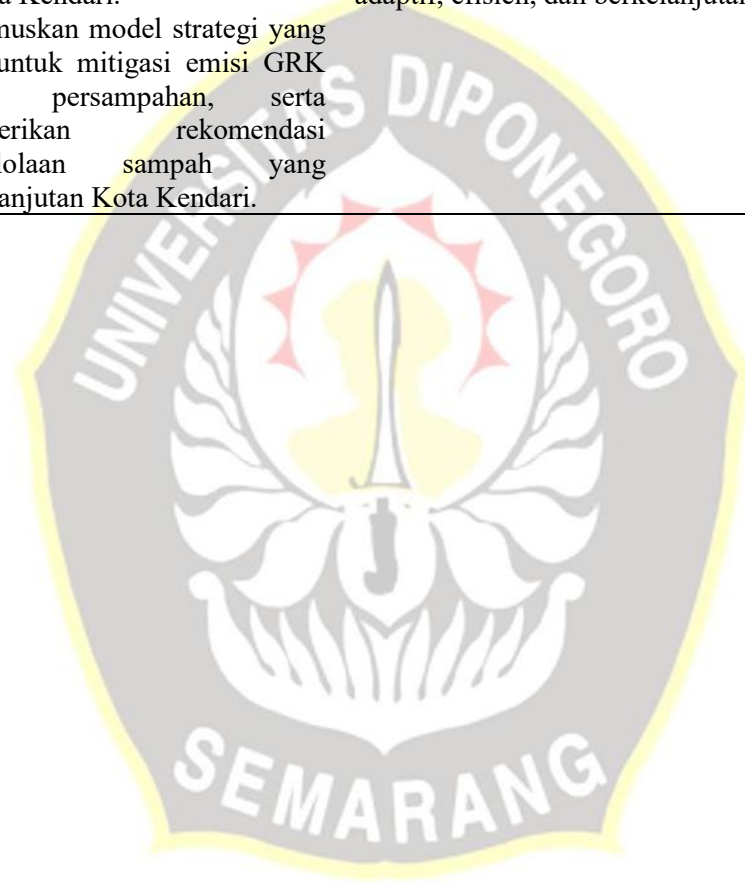
Tabel 1.1 Hasil Kajian Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Peneliti/Negara	Tujuan Penelitian	Hasil Kajian
1.	Xiaodong Zhang dan Gordon Huang (China)	Mengembangkan Model FPIM (<i>fuzzy possibilistic integer programming model</i>) untuk mendukung perencanaan perluasan pengoperasian fasilitas dan pengendalian serta mitigasi gas rumah kaca pada sistem pengelolaan limbah padat perkotaan	Model <i>Fuzzy Possibilistic Integer Multi-objective</i> (FPIM) telah diterapkan dalam perencanaan pengelolaan MSW, menghasilkan solusi optimal yang melibatkan variabel kontinu dan biner. Variabel biner merepresentasikan skema pengambilan keputusan terkait penambahan fasilitas dengan mempertimbangkan dimensi multi-periode, multi-fasilitas, dan multi-opsi. Sementara itu, variabel kontinu digunakan untuk mengoptimalkan alokasi aliran limbah yang konsisten dengan keputusan penambahan fasilitas, dengan mempertimbangkan aspek pengendalian emisi GRK. Hasil analisis menunjukkan bahwa mekanisme perdagangan kredit emisi GRK dapat mempengaruhi konfigurasi fasilitas baru dan mengubah pola alokasi aliran limbah. Selain itu, redistribusi kredit emisi di seluruh sistem memungkinkan terjadinya efisiensi ekonomi, ditunjukkan oleh penurunan total biaya sistem secara keseluruhan, (Zhang & Huang, 2014).
2.	Ying-Chu Chen (China)	Mengeksplorasi potensi pemulihan energi dan mitigasi GRK dari unit daur ulang pada aliran limbah dengan pendekatan WTM (<i>Waste to Material</i>)	Mitigasi GRK dengan pendekatan WTM sangat berhasil pada daur kertas (rata-rata 7:38 - 105 kg CO ₂ eq/tahun) dan ulang logam (rata-rata 1:83 - 106 kg CO ₂ eq/tahun). Baik logam maupun kaca merupakan produk berharga dan dapat didaur ulang atau digunakan kembali. Daur ulang kertas telah mencapai sub-penghematan energi konstan (1:33 - 1010 kW h); Namun, pemulihan energi dari sisa makanan (2:95 - 109 k Wh) kecil karena kadar airnya yang tinggi. Volume limbah kertas dan makanan yang terkandung dalam MSW berhubungan positif dengan konsentrasi karbon, yang berkontribusi terhadap emisi GRK. Oleh karena itu, mendaur ulang limbah kertas dan makanan dapat mengurangi konsentrasi karbon dan nitrogen secara maksimal, yang mengarah pada mitigasi GRK, (Chen, 2016).
3.	Deepa Durairaj, Dhivya K.S, dan Sasireka K (India)	Pemodelan jumlah metana yang dipancarkan MSW dengan metode <i>landGEM</i> di Kota Chidambaram	Model <i>LandGEM</i> digunakan untuk menghitung pancaran Metana dari TPA dengan estimasi 150 Mg/tahun pada periode 25 tahun dan disimpulkan bahwa terdapat potensi 1000 Mg/tahun, metana yang dipancarkan MSW Chidambaram. Bila dikelola dan diatur dengan baik maka memungkinkan untuk mendapat keuntungan tambahan yaitu kredit karbon yang dapat dijual, (Deepa, dkk, 2019).
4.	Chao-Heng Tseng a, Ying-Chu Chen, dan Yi-Cheng Hsu a (China)	Studi ini mengeksplorasi hubungan intrinsik antara pengelolaan limbah dan emisi GRK terkait dan biaya lingkungan di toko serba ada selama periode 15 tahun (2015-2030) di daerah perkotaan.	Hubungan intrinsik antara pengelolaan limbah, emisi GRK dan biaya lingkungan selama 15 tahun (2015-2030) dievaluasi menggunakan model SD berdasarkan kerangka perangkat lunak STELLA dengan enam skenario berbeda dibuat. Mitigasi GRK maksimum sebesar 24,22% tercapai ketika limbah makanan dan <i>spent coffee grounds</i> (SCG) diluluhkan secara anaerobik dengan <i>recovery</i> energi, (Tseng, Hsu & Chen, 2019).

No	Peneliti/Negara	Tujuan Penelitian	Hasil Kajian
5.	Mochammad Chaerul dan Ika Kartika (Indonesia)	Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sejumlah skenario kebijakan alternatif dalam rangka mengoptimalkan sistem layanan pengelolaan sampah di empat wilayah, serta mengkaji dampaknya terhadap volume sampah yang ditimbun di TPPAS Nambo dengan menggunakan pemodelan sistem dinamik.	Pemodelan dilakukan pada empat alternatif skenario pengelolaan sampah, meliputi: (1) skenario tanpa intervensi (BAU), (2) pemanfaatan secara maksimal fasilitas pengolahan yang sudah tersedia, (3) Implementasi masterplan, dan (4) pelaksanaan jakstrada yang optimal. Hasil simulasi untuk periode 2020–2045 menunjukkan bahwa keempat wilayah tidak dapat sepenuhnya bergantung pada fasilitas TPPAS Nambo sebab keterbatasan daya tampungnya. Oleh karena itu, keberadaan TPA di masing-masing daerah masih dibutuhkan sebagai bagian dari sistem pengelolaan yang terpadu. Keempat skenario, pelaksanaan Jakstrada memberikan hasil paling optimal karena mempertimbangkan berbagai aspek secara menyeluruh, seperti minimalisasi jumlah, efisiensi biaya pada transportasi, luas tapak TPA yang dibutuhkan, serta potensi reduksi emisi. Meskipun menuntut penguatan kapasitas pengelolaan dari sumber, skenario ini dinilai paling berkelanjutan baik dari segi teknis maupun dampak lingkungan, (Chaerul & Artika, 2021).
6.	Margarita Giraldo Retuerto, Laberiano Andrade-Arenas dan Dayana Ysla Espinoza (Peru)	Memodelkan secara <i>Dynamics system</i> untuk pengelolaan limbah padat yang efektif dan efisien di Lima, Peru.	Peningkatan kesadaran masyarakat dalam memilah sampah menyebabkan pencemaran lingkungan perlahan-lahan berkurang. Pada Tahun 2030 sampah akan berkurang secara proporsional dan seimbang, (Retuerto, Espinoza & Andrade-Arenas, 2021)
7.	Thichakorn Pudcha, Awassada Phongphiphat, dan Sirintornthep Towprayoon (Thailand)	Memperkirakan jumlah timbulan MSW, memperkirakan emisi GRK potensi mitigasi, serta potensi produksi energi hingga tahun 2050 dalam berbagai skenario, termasuk kebijakan nasional saat ini dan kemungkinan di masa depan.	Empat skenario pengelolaan limbah telah diteliti, yaitu: skenario baseline, di mana praktik pengelolaan limbah pada tahun 2017 tetap tidak berubah; skenario 1, meliputi pemasangan instalasi insinerasi <i>waste to energy</i> dari 2018–2021; skenario 2, dengan asumsi <i>target waste to energy</i> (900 MWe) tercapai; dan skenario 3 memaksimalkan pemilahan sampah dan pemulihan material. Pada skenario <i>baseline</i> , emisi gas rumah kaca akan mencapai 18.972 kt CO ₂ eq dan potensi produksi listrik menjadi 179 MWe pada tahun 2050. Skenario 2 didapatkan pengurangan pembuangan sampah dan menghasilkan mitigasi emisi GRK maksimal. Emisi GRK 20% lebih rendah dari baseline pada Tahun 2030, dan 47% pada tahun 2050. Potensi produksi listrik pada skenario 2 tahun 2050 (910 MWe) dapat membantu mengurangi 11.756 kt CO ₂ eq emisi GRK dari penggunaan bahan bakar fosil. Skenario 1 memberikan potensi mitigasi GRK minimal, dibandingkan baseline pengurangannya hanya 7%, Tahun 2030 (Pudcha, Phongphiphat & Towprayoon, 2023)
8.	Iryna Kotsiuba, Volodymyr Shamrai, Olena Herasymchuk,	Menganalisis strategis prasyarat penerapan sistem pengelolaan sampah kota untuk meningkatkan	Melalui analisis SWOT ditemukan ancaman terbesar dalam keberlanjutan lingkungan yaitu rendahnya efisiensi sistem pengelolaan sampah eksisting dan kurangnya

No	Peneliti/Negara	Tujuan Penelitian	Hasil Kajian
	Vitalina Lukianova Oksana Rybak, Iulia Lefter, dan Yevheniia Anpilova. (Ukraina)	<i>environmental safety</i> pada unit komunitas teritorial melalui pengenalan <i>environmental logistic</i> dan mekanisme <i>crowdsourcing</i> .	komunikasi dan koordinasi antar pemangku kepentingan dalam menyelesaikan masalah persampahan(Kotsiuba dkk., 2023)
9.	Mochamad Arief Budihardjo, Haryono Setiyo Huboyo, Bimastyaji Surya Ramadan, Natasya Ghinna Humaira, dan Indah Fajarini Sri Wahyuningrum (Indonesia)	<ul style="list-style-type: none"> a) Menghitung dan memprediksi timbulan sampah dan emisi GRK di Kota Semarang berdasarkan target Kota Semarang; b) Mengidentifikasi faktor-faktor yang berkorelasi dengan pengelolaan sampah perkotaan (MSW) dengan menggunakan analisis bibliometrik, c) Menilai faktor-faktor dan posisi MSWM saat ini untuk memitigasi emisi GRK menggunakan analisis SWOT, dan, d) Strategi prioritas menggunakan analisis <i>Quantitative Strategic Planning Management</i> (QSPM). 	Emisi GRK dari pengelolaan sampah perkotaan dipengaruhi oleh 4 klaster yaitu: tindakan pengendalian emisi; pengurangan atau pemanfaatan emisi di sektor organik, TPA dan fasilitasnya; dan efek emisi terhadap lingkungan. Berbagai peraturan atau dokumen pemerintah daerah dan nasional digunakan untuk menyempurnakan strategi emisi GRK MSW untuk Kota Semarang. Berdasarkan matriks IE, zona strategi bersaing merupakan pendekatan terbaik untuk mengurangi emisi GRK dari pengelolaan sampah perkotaan. Analisis QSPM menunjukkan bahwa strategis terbaik dan prioritas adalah peningkatan kinerja pelayanan kecamatan atau desentralisasi dan manajemen kualitas datanya. Strategi bersaing difokuskan pada sistem pengelolaan sampah yang terdesentralisasi dan optimalisasi fasilitas sampah yang ada untuk meningkatkan pelayanan pengelolaan sampah. Sistem desentralisasi dapat mengurangi emisi GRK karena dapat mengurangi pasokan limbah dan hemat energi. Penelitian selanjutnya harus mempertimbangkan penilaian LCA sektor persampahan untuk mendapatkan prediksi emisi GRK yang lebih baik, (Budihardjo dkk., 2023b)
10.	Sumarlin, Purwanto, Syafudin (Indonesia)	<ul style="list-style-type: none"> a) Menganalisis besaran timbulan, kuantitas, dan karakteristik sampah di Kota Kendari. b) Mengevaluasi efektivitas sistem pengelolaan persampahan Kota Kendari saat ini. c) Menganalisis kondisi pengelolaan persampahan dengan penerapan konsep 3R skala rumah tangga di Kota Kendari. d) Mengevaluasi sumbangsih pengelolaan sampah terhadap 	Timbulan sampah Kota Kendari pada 2023 mencapai 321.409 ton/hari (0,87 kg/kapita/hari) dengan dominasi sampah organik 58% dan kadar air 83,56%. Sistem pengelolaan aktual belum efektif akibat rendahnya pemilahan di sumber, keterbatasan armada dan infrastruktur TPA, minimnya anggaran, serta rendahnya partisipasi masyarakat. Implementasi 3R tingkat rumah tangga hanya berkontribusi pada pengurangan sampah 3,2%. Analisis skenario menunjukkan bahwa optimalisasi 3R, khususnya pengomposan, mampu menekan emisi secara signifikan, meskipun TPA tetap menjadi penyumbang utama emisi. Analisis SWOT merekomendasikan strategi <i>Strength-Threat</i> (ST) berbasis penguatan kelembagaan, konsolidasi kebijakan-pendanaan-teknologi, dan partisipasi masyarakat. Model mitigasi berkelanjutan yang dihasilkan mengintegrasikan lima pilar: sistem operasional persampahan, alokasi anggaran, reformasi kelembagaan, partisipasi masyarakat, serta kebijakan dan kolaborasi multipihak menuju target <i>Circular Carbon Smart City</i> , NZE 2060. Model

No	Peneliti/Negara	Tujuan Penelitian	Hasil Kajian
		<p>potensi emisi GRK persampahan di Kota Kendari.</p> <p>e) Merumuskan model strategi yang tepat untuk mitigasi emisi GRK sektor persampahan, serta memberikan rekomendasi pengelolaan sampah yang berkelanjutan Kota Kendari.</p>	<p>ini memberikan arah strategis bagi penurunan emisi GRK sektor persampahan secara adaptif, efisien, dan berkelanjutan di Kota Kendari.</p>



SEKOLAH PASCASARJANA

Berbagai kajian menunjukkan bahwa mitigasi emisi GRK sektor persampahan paling efektif dicapai melalui pendekatan pemodelan terintegrasi yang mengombinasikan skenario pengelolaan, teknologi pengolahan, instrumen ekonomi, dan strategi kelembagaan. Model optimasi dan simulasi (FPIM, SD, skenario WtE, dan Jakstrada) membuktikan bahwa daur ulang material bernilai, pengolahan anaerobik limbah organik dengan pemulihan energi, serta pemanfaatan gas TPA mampu menurunkan emisi GRK secara signifikan sekaligus meningkatkan efisiensi biaya dan potensi manfaat ekonomi, termasuk kredit karbon dan produksi energi. Namun, efektivitas teknis tersebut sangat bergantung pada dukungan kebijakan, koordinasi kelembagaan, kualitas data, serta partisipasi masyarakat, yang sering kali menjadi titik lemah sistem eksisting.

Permasalahan pengelolaan persampahan di Kota Kendari tidak hanya berkaitan dengan peningkatan timbulan sampah, tetapi terutama disebabkan oleh belum terintegrasinya aspek reduksi di sumber, inovasi teknologi pengolahan sampah organik, mekanisme pendanaan berkelanjutan, tata kelola multipihak, serta kebijakan mitigasi emisi GRK dalam satu kerangka pengelolaan yang sistemik. Studi-studi sebelumnya umumnya masih bersifat parsial, berfokus pada analisis timbulan, komposisi, atau aspek operasional persampahan, tanpa mengaitkannya secara langsung dengan kontribusi emisi GRK pada setiap tahapan pengelolaan dan implikasinya terhadap perumusan strategi mitigasi yang terintegrasi.

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada pengembangan suatu model prosedural mitigasi emisi GRK sektor persampahan yang mengintegrasikan pemetaan spasial emisi GRK aktual pengelolaan sampah, analisis strategis berbasis

SWOT, serta pendekatan pengelolaan sampah terpadu dalam satu kerangka pengambilan keputusan. Model ini dirancang tidak hanya untuk mengoptimalkan kinerja pengelolaan persampahan, tetapi juga untuk mengidentifikasi titik-titik kritis emisi dan menentukan prioritas intervensi mitigasi secara spasial, teknis, kelembagaan, dan kebijakan. Dengan demikian, model yang dikembangkan menawarkan pendekatan baru dalam perencanaan mitigasi emisi GRK sektor persampahan pada konteks kota menengah, sekaligus menjadi landasan pengembangan konsep *Circular Carbon Smart City* yang adaptif terhadap pencapaian target rendah karbon 2050 dan Net Zero Emission 2060.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis besaran timbulan, kuantitas, dan karakteristik sampah di Kota Kendari.
2. Mengevaluasi efektivitas sistem pengelolaan persampahan Kota Kendari saat ini.
3. Menganalisis kondisi pengelolaan persampahan dengan penerapan konsep 3R skala rumah tangga di Kota Kendari.
4. Mengevaluasi sumbangsih pengelolaan sampah saat ini terhadap potensi emisi GRK persampahan di Kota Kendari.
5. Merumuskan model yang tepat untuk mitigasi emisi GRK sektor persampahan, serta memberikan rekomendasi pengelolaan sampah yang berkelanjutan Kota Kendari.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian model mitigasi emisi gas rumah kaca ini diharapkan memberikan kebermanfaatan yang seluas luasnya baik secara akademis dalam pengembangan keilmuan dan secara praktis bagi para pemangku kebijakan terkait dalam upaya pembangunan berkelanjutan.

1.5.1 Manfaat Akademik

Bagi ranah akademik, hasil penelitian ini diharapkan berkontribusi konstruktif dalam pengembangan teori dan ilmu pengetahuan serta umpan balik sebagai berikut:

- a. Pengembangan strategi mitigasi emisi GRK sektor persampahan berbasis analisis SWOT yang disesuaikan dengan kondisi aktual pengelolaan persampahan di Kota Kendari;
- b. Pengembangan model mitigasi emisi GRK berbasis model prosedural yang dirancang secara sistematis, mampu menghubungkan aspek teknis pengelolaan sampah, kelembagaan, partisipasi masyarakat, kebijakan serta inovasi teknologi dalam kerangka pengambilan keputusan yang berorientasi pada keberlanjutan.

1.5.2 Manfaat Praktis

Penelitian ini juga diharapkan secara praktis, dapat memberikan sumbangsih pada khalayak dalam pembangunan berkelanjutan khususnya di Kota Kendari.

Adapun manfaat praktis dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Adanya informasi empiris mengenai kuantitas, karakteristik, dan besaran timbulan sampah di Kota Kendari, kondisi aktual sistem pengelolaan persampahan dan tingkat penerapan konsep 3R di berbagai wilayah kota serta

pembangunan yang berkelanjutan secara umum dan secara khusus di Kota Kendari;

- b. Adanya rumusan strategi mitigasi emisi GRK sektor persampahan yang aplikatif dan berkelanjutan, sehingga dapat dijadikan dasar pertimbangan bagi pemerintah daerah, pemangku kepentingan, dan pembuat kebijakan dalam perencanaan pengelolaan persampahan dan pembangunan daerah.

1.6. Luaran Penelitian

Hasil penelitian ini telah terpublikasi dan diharapkan memberikan kebermanfaatan pada khalayak untuk turut berkontribusi konstruktif untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi baik secara akademik maupun praktis untuk pembangunan berkelanjutan. Adapun luaran penelitian ini sebagai tertera pada Tabel 1.2 berikut.

Tabel 1.2 Luaran Penelitian

No	Jenis Luaran	Judul Luaran	Ket.
1.	Artikel Prosiding terindeks Scopus Q3	<i>Estimation Potential of methane Gas From Puwatu Municipal Solid Waste landfill, Indonesia</i> , E3S Web Conferences 448,03042 (2023) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344803042	Diterbitkan, pada EDP Science, 2023
2.	Artikel Prosiding	<i>Economic Value of Paper Waste and Concept of Waste Generation Reduction in Kendari City</i> , 3 rd International Conference on Economic, Social, Management and Business September 19, 2024	Artikel akan diterbitkan pada AMCA Journal/ Sertifikat Pemateri Tahun 2024
4.	Artikel Jurnal terindeks Scopus Q3	<i>Landgem's Assessment of Landfill Gases And Potential Energy Recovery From Municipal Solid Waste In Kendari, Indonesia</i>	Accepted akan diterbitkan pada <i>Environmental Engineering and Manajemen Journal</i> (EEMJ) Tahun 2026

No	Jenis Luaran	Judul Luaran	Ket.
6.	Hak Kekayaan Intelektual	Peta Foto Udara TPAS Puuwatu Kota Kendari, Tahun 2024 (Peta Lokasi Penelitian Model Mitigasi GRK Persampahan Berkelanjutan di Kota Kendari). HAKI No. EC00202476444,	Terbit/Sertifikat Tahun 2025
7.	Hak Kekayaan Intelektual	Peta Sebaran Bank Sampah dan TPS3R Perkecamatan di Kota Kendari HAKI No. EC002025114196, 19 Agustus 2025	Terbit/Sertifikat Tahun 2025
8.	Hak Kekayaan Intelektual	Peta Sebaran Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Sektor Persampahan di Kota Kendari tahun 2030 Skenario 3 HAKI No. EC002025114199, 19 Agustus 2025	Terbit/Sertifikat Tahun 2025
9.	Hak Kekayaan Intelektual	Peta Sebaran Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Sektor Persampahan di Kota Kendari Tahun 2023 Skenario BAU, HAKI No. EC002025114201, 29 Agustus 2025	Terbit/Sertifikat Tahun 2025
10.	Hak Kekayaan Intelektual	Peta Lokasi Penelitian Model Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Persampahan yang Berkelanjutan di Kota Kendari HAKI No EC002025114207, 19 Agustus 2025	Terbit/Sertifikat Tahun 2025
11.	Hak Kekayaan Intelektual	Peta Sebaran Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Sektor Persampahan di Kota Kendari Tahun 2023, Skenario 2, HAKI EC002025114261, 19 Agustus 2025	Terbit/Sertifikat Tahun 2025
12.	Buku	Model Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Sektor Persampahan Perkotaan (Strategi Menuju Kota Rendah Karbon)	Proses <i>published</i> pada UNDIP Press, 2026

SEKOLAH PASCASARJANA