

WRI INDONESIA

RINGKASAN ISU

Menelusuri Jejak Emisi Metana Sektor Air Limbah di Indonesia: Tantangan dan Upaya Mitigasi

Aisyah Lestari, Farijzal Arrafisena, Khalisha Qatrunnada, Hafidz Abdillah Wira Swadana, dan Egi Suarga

WRI-INDONESIA.ORG/ID



DAFTAR ISI

Ringkasan eksekutif	2
1. Latar belakang	5
2. Metodologi	8
3. Dinamika emisi metana dari air limbah	8
4. Lanskap kebijakan dan komitmen pengurangan emisi metana	15
5. Tantangan dan peluang	19
6. Usulan strategi untuk mengurangi emisi metana	23
7. Kesimpulan dan rekomendasi	27
Lampiran	30
Daftar Pustaka	32
Daftar Singkatan	35
Catatan Akhir	35
Ucapan Terima Kasih	36
Penulis	36
Tentang WRI Indonesia	36

Ringkasan isu berfokus pada isu kebijakan dan secara jelas menguraikan implikasi dari bukti yang ada bagi para pengambil keputusan.

VERSI 1, OKTOBER 2026

Kutipan yang disarankan: Aisyah Lestari, Farijzal Arrafisena, Khalisha Qatrunnada, Hafidz Abdillah, Wira Swadana, dan Egi Suarga. 2026. "Menelusuri Jejak Emisi Metana Sektor Air Limbah di Indonesia: Tantangan dan Upaya Mitigasi. Ringkasan Isu. Jakarta: WRI Indonesia. Tersedia daring: doi.org/10.46830/wriib.25.00032

Ringkasan eksekutif

Ide Pokok

- Indonesia menempati peringkat keempat dunia untuk emisi metana (CH_4) dari sektor air limbah pada 2023, dengan emisi sebesar 1.174 kiloton, di tengah pertumbuhan urbanisasi dan industrialisasi.
- Di tengah meningkatnya emisi metana dari sektor air limbah, mitigasinya belum terintegrasi dalam perencanaan pembangunan karena belum ada target nasional spesifik dalam dokumen perencanaan utama seperti *Nationally Determined Contribution (NDC), Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience* (LTS-LCCR) 2050, Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN), maupun Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN).
- Fragmentasi kelembagaan dan koordinasi yang lemah masih membatasi efektivitas pengurangan emisi metana dari sektor air limbah, meskipun pengelolaan sanitasi telah melibatkan kementerian dan pemerintah daerah.
- Inventarisasi emisi nasional masih mengandalkan pendekatan *Tier 1* yang menggunakan data *default* global, di tengah keterbatasan data aktivitas akibat belum tersedianya sistem *monitoring, reporting, and verification* (MRV) digital yang terintegrasi. Kondisi ini membatasi kemampuan untuk mengukur potensi mitigasi secara akurat, menetapkan target yang kredibel, serta menarik pembiayaan dan investasi.
- Revisi *Second NDC* (SNDC) yang diperkirakan berlangsung pada 2027-2028 membuka peluang untuk memperkuat target pengurangan emisi metana yang terukur, meningkatkan kredibilitas sistem MRV, serta mendorong investasi dan inovasi dalam pengelolaan air limbah rendah emisi.

Konteks

Emisi metana dari air limbah domestik dan industri di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, urbanisasi, dan industrialisasi. Pada tahun 2023, Indonesia menempati peringkat keempat dunia untuk emisi metana dari sektor ini, dengan total emisi sebesar 1.174 kiloton atau sekitar 69 persen dari total emisi metana sektor limbah nasional, berdasarkan data *Emissions Database for Global Atmospheric Research* (EDGAR) 1970-2023 (Komisi Eropa, JRC/PBL 2024). Provinsi Jawa Barat, Jawa Timur, Banten, dan DKI Jakarta menjadi episentrum emisi, namun tren peningkatan juga terlihat di luar Jawa, termasuk Sumatera Utara, Riau, dan Sulawesi Selatan. Meskipun signifikan, emisi metana dari air limbah masih relatif kurang mendapat perhatian dalam kajian, pemantauan, dan strategi mitigasi, sehingga perlu menjadi prioritas dalam penguatan upaya pengurangan emisi metana di Indonesia.

Meskipun berbagai kebijakan dan inisiatif telah dikembangkan, emisi metana dari sektor air limbah diproyeksikan terus meningkat apabila upaya mitigasi dan implementasinya tidak diperkuat. Peningkatan tersebut terutama didorong oleh pertumbuhan penduduk, urbanisasi, dan aktivitas industri yang turut meningkatkan volume serta beban air limbah. Kondisi ini perlu mendapatkan perhatian serius mengingat Indonesia telah bergabung dalam *Global Methane Pledge* (GMP) dengan target penurunan 30 persen secara global pada 2030. Emisi metana juga berpotensi menimbulkan dampak terhadap kesehatan manusia dan ekosistem (Mar dkk. 2022). Metana berkontribusi sekitar 35 persen terhadap pembentukan ozon troposfer, polutan udara yang berbahaya bagi kesehatan manusia serta berpotensi menurunkan produktivitas tanaman melalui kerusakan jaringan daun dan gangguan proses fotosintesis (Butler dkk. 2020; Mar dkk. 2022; Ashmore 2005; Sitch dkk. 2007).

Tentang Ringkasan Isu

Volume air limbah domestik dan industri di Indonesia terus meningkat, tetapi isu ini masih belum mendapatkan perhatian serius dalam kebijakan dan perencanaan pembangunan nasional. Ringkasan isu ini memetakan tantangan dan peluang pengurangan emisi metana dari sektor air limbah di Indonesia, termasuk pembahasan terkait tren emisi berdasarkan data historis EDGAR periode 1970-2023, komitmen dan kebijakan nasional maupun global, serta kendala kelembagaan, data, dan metodologi yang memengaruhi upaya mitigasi. Analisis dilakukan melalui kajian literatur dan kebijakan, *focus group discussion* (FGD) bersama para pemangku kepentingan, serta evaluasi berbagai opsi mitigasi yang relevan dengan konteks Indonesia.

Temuan yang dihasilkan menjadi dasar untuk merumuskan strategi dan rekomendasi kebijakan guna memperkuat upaya pengurangan emisi metana dari sektor air limbah. Pada akhirnya, strategi dan rekomendasi tersebut diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan dan perumusan kebijakan oleh para perencana pembangunan nasional dan daerah, Kementerian Lingkungan Hidup (KLH), Kementerian Pekerjaan Umum (PU), Kementerian Perindustrian (Kemenperin), Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Bappenas (Kementerian PPN/Bappenas), dan Kementerian Keuangan (Kemenkeu), serta para pengambil kebijakan di bidang pengelolaan lingkungan hidup, sanitasi, dan perubahan iklim. Dokumen ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi mitra pembangunan, lembaga penelitian, akademisi, sektor swasta, dan pemangku kepentingan lainnya.

Temuan Kunci

Tantangan dan Peluang dalam Menjembatani Komitmen Iklim dan Pengurangan Emisi Metana Sektor Air Limbah

Pengelolaan sektor air limbah telah tercantum dalam berbagai dokumen kebijakan, baik komitmen iklim seperti NDC dan LTS-LCCR 2050 maupun dokumen perencanaan pembangunan nasional seperti RPJPN dan RPJMN. Inventarisasi gas rumah kaca (GRK) nasional yang dilaporkan melalui NDC, *Biennial Transparency Report* (BTR), dan *National Communication* juga telah secara eksplisit mencatat emisi metana dari berbagai sektor. Namun, sektor air limbah belum memiliki target pengurangan emisi metana yang spesifik maupun strategi mitigasi yang terintegrasi dalam perencanaan iklim dan pembangunan nasional. Sementara sektor lain, seperti energi, telah memiliki jalur mitigasi dan kerangka implementasi yang lebih jelas.

Indonesia telah memberikan komitmennya dalam GMP. Namun, komitmen ini belum diterjemahkan ke dalam kerangka implementasi yang jelas untuk sektor ini. Terdapat tiga tantangan utama dalam pelaksanaan dan pelaporan pengurangan emisi metana dari sektor air limbah:

1. **Belum ada target penurunan emisi GRK, khususnya metana, yang disepakati secara nasional untuk sektor air limbah**. Akibatnya, arah kebijakan dan strategi pengurangan emisi metana dari sektor ini belum memiliki landasan yang kuat dalam kerangka pembangunan jangka menengah maupun panjang.
2. **Kelembagaan yang terfragmentasi dan koordinasi lintas sektor yang masih terbatas**. Peran KLH, Kementerian PU, Kementerian PPN/Bappenas,

Kementerian Dalam Negeri (Kemendagri), dan pemerintah daerah masih berjalan terpisah tanpa mekanisme koordinasi yang jelas, terutama dalam perencanaan, pengumpulan data, dan pelaporan emisi.

3. **Data yang belum cukup akurat dan representatif.** Kondisi ini diakibatkan oleh penggunaan metodologi *Tier* 1 yang masih mengandalkan data *default* global dalam inventarisasi, rendahnya kualitas data aktivitas seperti volume dan beban organik air limbah, jenis sistem pengolahan, serta cakupan layanan, minimnya pemantauan lapangan, serta belum optimalnya integrasi dan kapasitas pengelolaan data di tingkat pusat maupun daerah.

Di tengah berbagai tantangan tersebut, revisi SNDC pada 2027-2028 menjadi momentum strategis untuk menetapkan target penurunan emisi yang lebih spesifik, memperkuat konsistensi antardokumen kebijakan, membentuk tim koordinasi metana di tingkat nasional dan daerah, serta meningkatkan kualitas inventarisasi melalui penerapan metodologi yang lebih sesuai dengan kondisi Indonesia (*Tier* 2/3). Penguatan tersebut perlu didukung oleh pemantauan rutin *biochemical oxygen demand* (BOD) dan *chemical oxygen demand* (COD), digitalisasi pelaporan, serta mekanisme verifikasi yang mengacu pada standar internasional. Pada saat yang sama, perkembangan pasar dan inovasi pengelolaan air limbah dapat dimanfaatkan untuk mendorong investasi hijau, pengembangan energi terbarukan berbasis biogas, dan penciptaan lapangan kerja melalui pembangunan infrastruktur rendah emisi.

Rekomendasi

Berdasarkan temuan, studi ini mengusulkan lima rekomendasi strategis untuk memperkuat mitigasi metana dari sektor air limbah sekaligus mendorong pengelolaan air limbah yang berkelanjutan:

- **Memperkuat kerangka kebijakan dan regulasi** melalui koordinasi antarkementerian dan lembaga terkait. Prioritas mencakup integrasi target ke dalam dokumen perencanaan nasional dan subnasional, penyusunan peta jalan nasional, pengembangan insentif fiskal, serta penguatan sistem pelaporan emisi digital.
- **Meningkatkan kualitas inventarisasi metana dan sistem MRV** di bawah koordinasi kementerian dan pemerintah daerah terkait. Langkah utama meliputi pengembangan faktor emisi khusus Indonesia, pembentukan basis data air limbah nasional, integrasi sistem data melalui mekanisme MRV yang saling terhubung, serta pemanfaatan teknologi pemantauan yang lebih andal.
- **Memperluas penerapan solusi teknis untuk menangkap dan memanfaatkan metana** melalui kolaborasi antara kementerian terkait, pemerintah daerah, sektor swasta, dan akademisi. Prioritas mencakup peningkatan pengelolaan air limbah domestik, perluasan pemanfaatan biogas, modernisasi fasilitas pengolahan air limbah dengan teknologi penangkapan gas, serta pengembangan proyek percontohan untuk teknologi rendah emisi.
- **Memastikan transisi yang inklusif dan adil** dengan melibatkan kementerian terkait dan mitra pembangunan. Upaya ini perlu difokuskan pada pengembangan sistem pengelolaan air limbah yang terjangkau, penguatan kapasitas pemerintah daerah dan operator sanitasi, peningkatan partisipasi perempuan dan kelompok rentan, serta penyediaan dukungan teknis dan pembiayaan yang terarah bagi daerah dengan kapasitas terbatas.
- **Mempercepat implementasi mitigasi metana melalui penguatan kerja sama internasional dan pembelajaran dari praktik global** dengan keterlibatan kementerian terkait, mitra pembangunan, dan akademisi. Langkah ini dapat dilakukan dengan memfasilitasi transfer teknologi dan pengembangan kapasitas, meningkatkan akses terhadap pendanaan iklim, serta mengadaptasi praktik terbaik dalam pengembangan kebijakan, penerapan MRV, dan adopsi teknologi agar sesuai dengan konteks Indonesia.

1. Latar belakang

Peran penting metana

Metana merupakan salah satu polutan iklim berumur pendek. Konsentrasi metana di atmosfer jauh lebih rendah dibandingkan karbon dioksida (CO_2) namun mampu memerangkap panas sekitar 84 kali lebih besar dalam kurun waktu 20 tahun dan sekitar 28 kali lebih besar dalam kurun waktu 100 tahun (Myhre dkk. 2013).

Studi menunjukkan bahwa peningkatan emisi metana berkontribusi sekitar 30 persen terhadap pemanasan global sejak era praindustri (IEA 2022). Ketika teroksidasi, metana menghasilkan ozon (O_3), uap air, dan karbon dioksida yang turut memerangkap panas (Mar dkk. 2022). Selain itu, metana mendorong pembentukan senyawa lain di atmosfer yang juga berkontribusi terhadap pemanasan global.

Tidak hanya mengancam stabilitas iklim, metana juga membahayakan kesehatan manusia dan keseimbangan ekosistem alami (Mar dkk. 2022). Berdasarkan studi

pemodelan terbaru, metana diperkirakan berkontribusi sekitar 35 persen terhadap pembentukan ozon troposfer saat ini (Butler dkk. 2020). Ozon troposfer merupakan pencemar udara sekunder yang dapat menyebabkan gangguan pernapasan dan meningkatkan risiko kematian dini (Jerrett dkk. 2009; WHO 2013; COMEAP 2015; Turner dkk. 2016; Zhang dkk. 2019; Mar dkk. 2022). Pada 2010, paparan ozon diperkirakan menyebabkan sekitar 1-1,2 juta kematian akibat gangguan pernapasan pada orang dewasa di seluruh dunia (Malley dkk. 2017).

Ozon troposfer juga berdampak terhadap produktivitas tanaman. Paparan ozon dapat merusak sel daun, menurunkan laju fotosintesis, serta meningkatkan kebutuhan energi tanaman untuk detoksifikasi dan perbaikan jaringan (Ashmore 2005; Sitch dkk. 2007). Dampak tersebut diperkirakan menyebabkan kerugian hasil panen global sebesar US$11-18 miliar setiap tahun (Avnery dkk. 2011). Lebih jauh, kerusakan tanaman akibat ozon juga dapat secara signifikan menurunkan kemampuan ekosistem darat dalam menyerap karbon (Sitch dkk. 2007; Ciais dkk. 2013; Arneth dkk. 2010; Ainsworth dkk. 2012).

Urgensi mitigasi metana dan peran sektor limbah dalam mencapai target global

Metana menjadi salah satu GRK yang mendesak untuk ditangani dalam upaya mitigasi perubahan iklim global. Berdasarkan *Global Methane Assessment*, konsentrasi metana di atmosfer meningkat tajam dalam empat dekade terakhir (UNEP dan CCAC 2021). Peningkatan tersebut terutama disebabkan oleh emisi yang meningkat, bukan proses penyerapan atau penghilangan metana dari atmosfer yang semakin lambat. Secara global, emisi metana meningkat dari sekitar 300 megaton (Mt) pada 2000 menjadi 352 megaton pada tahun 2020, dengan sekitar 60 persen berasal dari aktivitas manusia (UNEP 2025).

Dengan potensi dampak pemanasan global yang jauh lebih tinggi dibandingkan karbon dioksida dalam jangka pendek, metana termasuk dalam enam jenis GRK yang diatur sejak diadopsinya Protokol Kyoto pada *Third Conference of the Parties* (COP3) di Kyoto, Jepang, pada 11 Desember 1997 (UNFCCC 2002). Namun, lebih dari dua dekade setelahnya, target pengurangan emisi metana masih belum disepakati dalam kerangka internasional (Gillespie 2003). Momentum global untuk mempercepat mitigasi metana baru kembali menguat melalui peluncuran GMP, yang menargetkan penurunan emisi metana global sebesar 30 persen dari tingkat emisi 2020 pada 2030, di COP26 di Glasgow pada tahun 2021.

Saat ini, 159 negara, termasuk Indonesia, telah bergabung dalam GMP (CCAC, t.t.). Namun, GMP merupakan komitmen sukarela yang tidak menetapkan target pengurangan emisi yang mengikat bagi masing-masing negara maupun mekanisme implementasi yang wajib diterapkan. Kemajuannya terutama dipantau melalui pelaporan berkala, tanpa kewajiban pencapaian target nasional tertentu (IEA 2022). Dalam kondisi tersebut, upaya mitigasi metana yang berjalan saat ini masih belum cukup untuk mencapai target GMP.

Kesenjangan antara komitmen global dan implementasi nasional juga tercermin dalam dokumen kebijakan iklim. Menurut *International Energy Agency* (IEA), sebagian besar negara peserta GMP belum memasukkan target pengurangan emisi metana secara eksplisit ke dalam NDC mereka (IEA 2024). Meskipun 81 persen NDC dari negara penanda tangan GMP telah mencantumkan langkah mitigasi metana di setidaknya satu sektor, sebagian besar belum menetapkan target pengurangan yang terukur untuk sektor-sektor utama penghasil metana lainnya. Di sektor bahan bakar fosil, misalnya, komitmen yang tercantum dalam NDC diperkirakan hanya dapat menurunkan emisi metana sekitar 20 persen pada 2030, masih jauh di bawah ambisi GMP (IEA 2024). Dengan tingkat komitmen saat ini, emisi metana global justru diproyeksikan meningkat dari 352 megaton pada 2020 menjadi sekitar 369 megaton pada 2030. Untuk mencapai target GMP yang ditetapkan untuk tahun 2030, penerapan langkah mitigasi yang secara teknis paling layak (*maximum technically feasible reduction*/ MTFR) di sektor energi, pertanian, dan limbah perlu dipercepat (UNEP 2025).

Sektor pertanian menjadi sumber emisi antropogenik metana terbesar pada 2020 dengan kontribusi sebesar 42 persen, diikuti sektor bahan bakar fosil sebesar 38 persen dan sektor limbah sebesar 20 persen atau sekitar 71 megaton (UNEP 2025). Meskipun kontribusi sektor limbah lebih kecil dibandingkan dua sektor lainnya, potensi mitigasi metana dari sektor ini cukup besar dan relatif kurang mendapat perhatian, terutama jika dibandingkan dengan sektor minyak dan gas (Rocky Mountain Institute 2025). Di sektor limbah sendiri, kebijakan, penelitian, dan upaya mitigasi masih lebih banyak berfokus pada pengelolaan sampah padat, sementara emisi metana dari air limbah masih kurang diperhatikan.

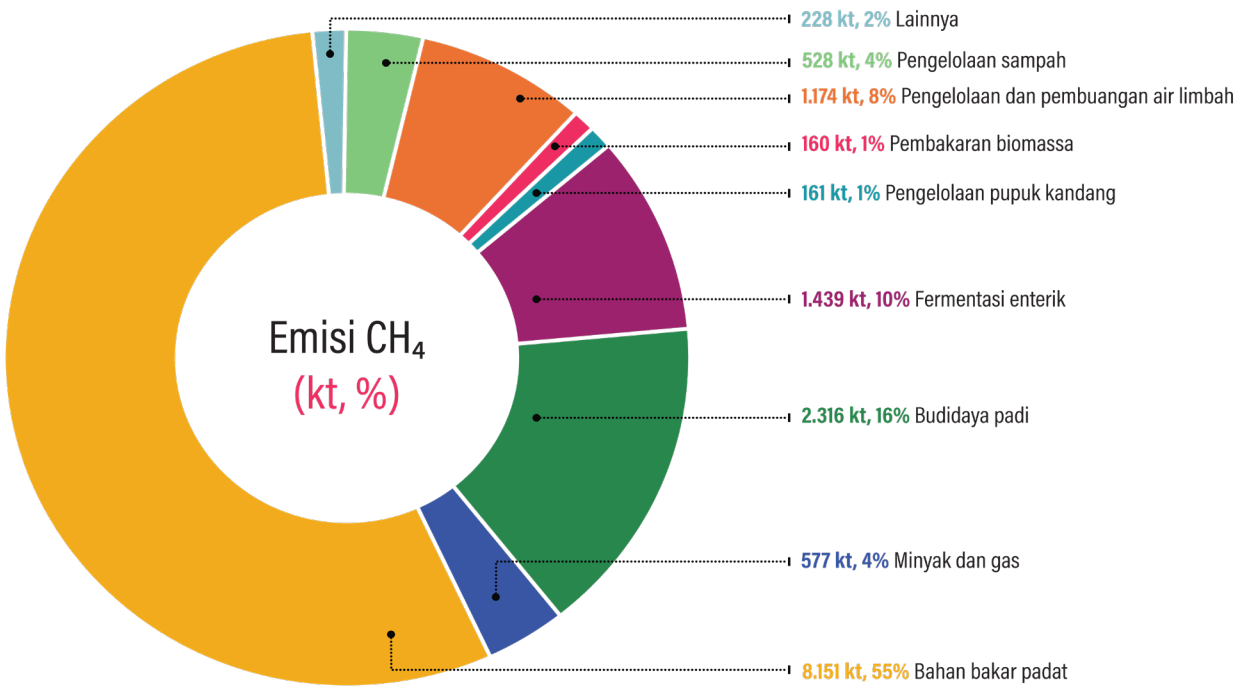
Mitigasi emisi metana dari sektor air limbah menjadi semakin penting seiring dengan tren peningkatan emisi sektor limbah secara keseluruhan. Berdasarkan tren saat ini, emisi metana sektor limbah diproyeksikan meningkat sebesar 13 persen pada 2030 dan 56 persen pada 2050 dari tingkat emisi 2020. Peningkatan tersebut didorong

oleh pertumbuhan penduduk, urbanisasi, perkembangan ekonomi, serta perluasan layanan pengumpulan dan pengelolaan sampah maupun air limbah (UNEP 2025). Analisis global juga menunjukkan bahwa sektor limbah menawarkan salah satu potensi terbesar untuk pengurangan emisi metana setelah tahun 2030. Oleh karena itu, investasi sejak dini dalam teknologi, infrastruktur, tata kelola, dan sistem pengelolaan air limbah rendah emisi menjadi penting untuk mendukung pencapaian target GMP sekaligus tujuan jangka panjang penanganan perubahan iklim.

Menelaah emisi metana di Indonesia

Berdasarkan data EDGAR yang ditunjukkan pada **Gambar 1**, beberapa aktivitas menjadi sumber utama emisi metana di Indonesia pada tahun 2023. Emisi fugitif bahan bakar padat[1] menyumbang sebesar 8.151 kiloton (kt), diikuti budi daya padi sebesar 2.316 kiloton, fermentasi enterik dari ternak sebesar 1.439 kiloton, dan pengelolaan air limbah sebesar 1.174 kiloton (Komisi Eropa, JRC/PBL 2024). Air limbah menjadi sumber emisi terbesar di sektor limbah, dengan kontribusi sekitar 69 persen.

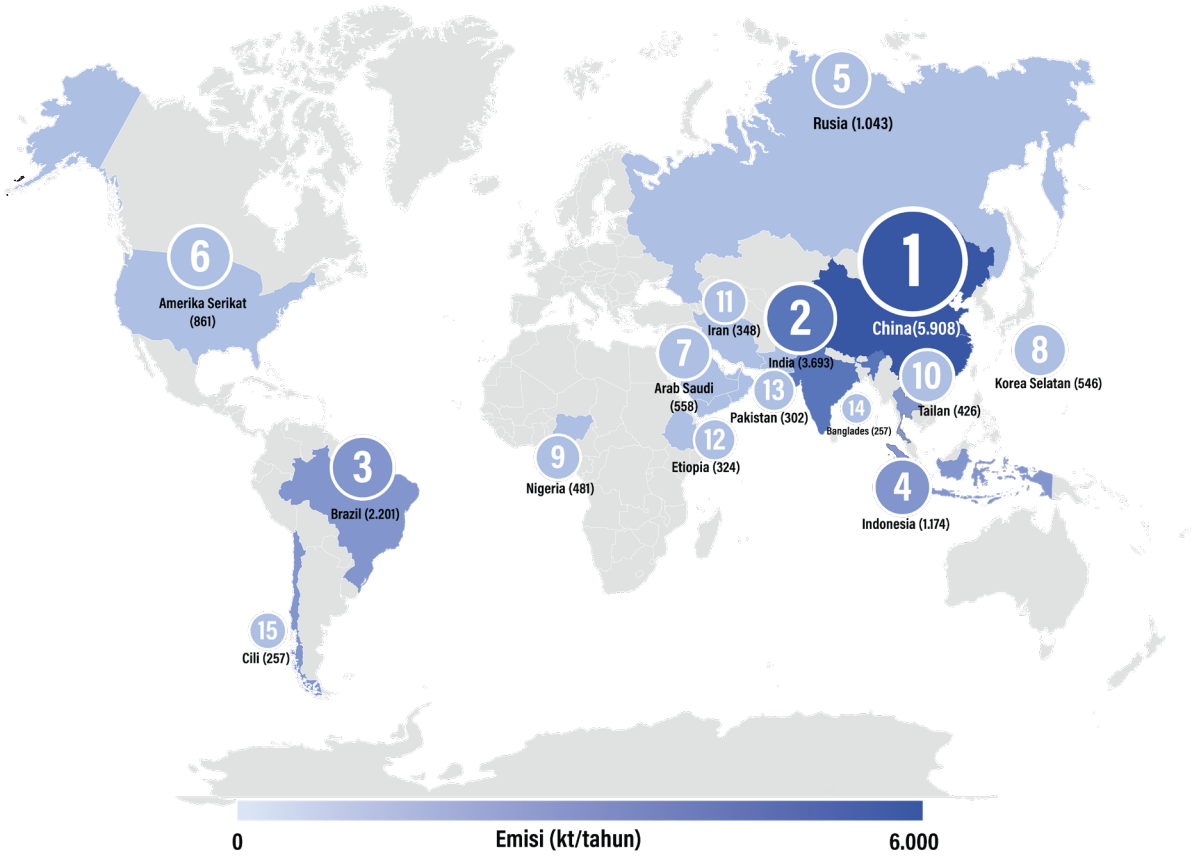
Gambar 1. | **Sumber emisi metana di Indonesia, 2023**



Sumber: Penulis, diolah dari data EDGAR 1970-2023

Pada tahun 2023, Indonesia menempati peringkat keempat sebagai negara dengan emisi metana terbesar dari sektor air limbah sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 2**. Posisi ini menunjukkan bahwa emisi metana dari air limbah bukan lagi isu marginal, tetapi merupakan tantangan yang memiliki implikasi terhadap pencapaian target iklim nasional. Tanpa intervensi yang tepat, emisi dari sektor ini berpotensi terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan urbanisasi. Oleh karena itu, pengurangan emisi metana dari sektor air limbah perlu mendapat perhatian yang lebih besar melalui kebijakan dan langkah mitigasi yang lebih terarah.

Gambar 2. | **Lima belas negara penghasil emisi metana terbesar dari sektor air limbah 2023**



Sumber: Penulis, diolah dari data EDGAR 1970-2023

Untuk memahami lebih dalam kontribusi air limbah domestik dan industri terhadap emisi metana di Indonesia, *issue brief* ini berusaha menjawab beberapa pertanyaan utama:

1. Seperti apa sebaran sumber emisi metana dari air limbah di Indonesia?
2. Bagaimana kebijakan nasional dan komitmen internasional Indonesia memengaruhi upaya pengurangan emisi metana?
3. Apa saja tantangan dan peluang dalam pengelolaan air limbah di Indonesia?
4. Strategi apa yang dapat diterapkan untuk mengurangi emisi seraya tetap mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan?

Jawaban atas pertanyaan tersebut diharapkan dapat menjadi dasar dalam perumusan strategi yang dapat ditindaklanjuti untuk mempercepat pengurangan emisi metana dari sektor air limbah di Indonesia.

2. Metodologi

Analisis dalam ringkasan isu ini mengombinasikan pendekatan kuantitatif dan kualitatif untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai emisi metana sektor air limbah di Indonesia. Alur analisis keseluruhan ditunjukkan pada **Gambar 3**.

Analisis kuantitatif dilakukan menggunakan data emisi metana dari EDGAR versi EDGAR_2024_GHG yang dikembangkan oleh *Joint Research Centre* (JRC) Komisi Eropa. EDGAR dipilih karena menyediakan deret waktu emisi dengan metodologi yang konsisten secara global hingga 2023, sehingga dapat digunakan untuk menganalisis tren historis jangka panjang sekaligus melakukan perbandingan lintas negara. Sebagai pembanding, inventarisasi GRK nasional yang dipublikasikan melalui BTR baru mencakup data hingga 2022 dan belum merepresentasikan perkembangan emisi pada tahun terakhir analisis. Kajian ini menggunakan data periode 1970-2023 untuk kategori *Intergovernmental Panel* on *Climate Change* (IPCC) 2006 4.D *Wastewater Treatment and Discharge*, yang mencakup emisi metana dari pengolahan dan pembuangan air limbah domestik dan industri sebagaimana didefinisikan dalam 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.

Estimasi emisi EDGAR pada kategori tersebut dilakukan melalui pemodelan berbasis data aktivitas global, termasuk data demografi, tingkat pengolahan air limbah, dan karakteristik sistem sanitasi (*sewered* dan *non-sewered*). Untuk sistem sanitasi setempat, seperti tangki septik, estimasi menggunakan pendekatan *proxy* berdasarkan tingkat akses sanitasi dan parameter *default* IPCC. Data tahunan tersebut kemudian dianalisis untuk melihat tren historis emisi metana sektor air limbah serta kontribusinya terhadap emisi metana nasional. Analisis tren ini menjadi dasar untuk memahami urgensi penguatan kebijakan pengurangan emisi metana dalam konteks pencapaian target iklim nasional dan GMP.

Kajian ini menggunakan dua sumber data yang memiliki tujuan dan pendekatan metodologis yang berbeda. Data EDGAR dirancang untuk menyediakan estimasi yang konsisten dan dapat dibandingkan secara internasional, sedangkan Inventarisasi GRK Nasional di bawah BTR menyediakan data aktivitas, asumsi, dan parameter yang lebih sesuai dengan kondisi Indonesia. Oleh karena itu, data EDGAR digunakan untuk analisis tren jangka panjang dan perbandingan lintas negara, sementara Inventarisasi GRK Nasional digunakan sebagai pembanding untuk memahami besaran emisi dan perkembangan sistem pelaporan nasional.

Analisis kuantitatif kemudian dilengkapi dengan penelaahan dokumen komitmen iklim nasional dan global, perencanaan pembangunan nasional, serta regulasi teknis nasional terkait. Dokumen yang ditelaah meliputi *Second NDC* (SNDC), *Enhanced NDC* (ENDC), *Zero Waste Zero Emission 2050* Indonesia, LTS-LCCR 2050, RPJPN, RPJMN, serta sejumlah regulasi teknis di tingkat nasional. Telaah ini digunakan untuk menilai sejauh mana mitigasi emisi metana sektor air limbah telah terintegrasi dalam kerangka kebijakan yang ada sekaligus mengidentifikasi kesenjangan antara komitmen, perencanaan, dan implementasinya di tingkat sektoral dan kelembagaan.

Untuk melengkapi dan memvalidasi hasil analisis data dan kebijakan, satu FGD diselenggarakan pada Kamis, 10 Juli 2025. FGD diikuti oleh 18 peserta yang terdiri dari Direktur Mitigasi Perubahan Iklim dan perwakilan Direktorat Inventarisasi GRK dan MRV di bawah KLH, Direktorat Sanitasi di bawah Kementerian PU, Pusat Industri Hijau di bawah Kemenperin, Direktorat Lingkungan Hidup serta Direktorat Perumahan dan Infrastruktur Kawasan Permukiman di bawah Kementerian PPN/Bappenas, serta akademisi dari Institut Teknologi Bandung (ITB) dan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Diskusi membahas tantangan implementasi di lapangan, kesiapan kelembagaan, ketersediaan data, serta peluang penguatan sistem MRV. Seluruh temuan kemudian disintesis sebagai dasar penyusunan rekomendasi kebijakan yang strategis, aplikatif, dan relevan untuk mendukung pengurangan emisi metana dari air limbah di Indonesia.

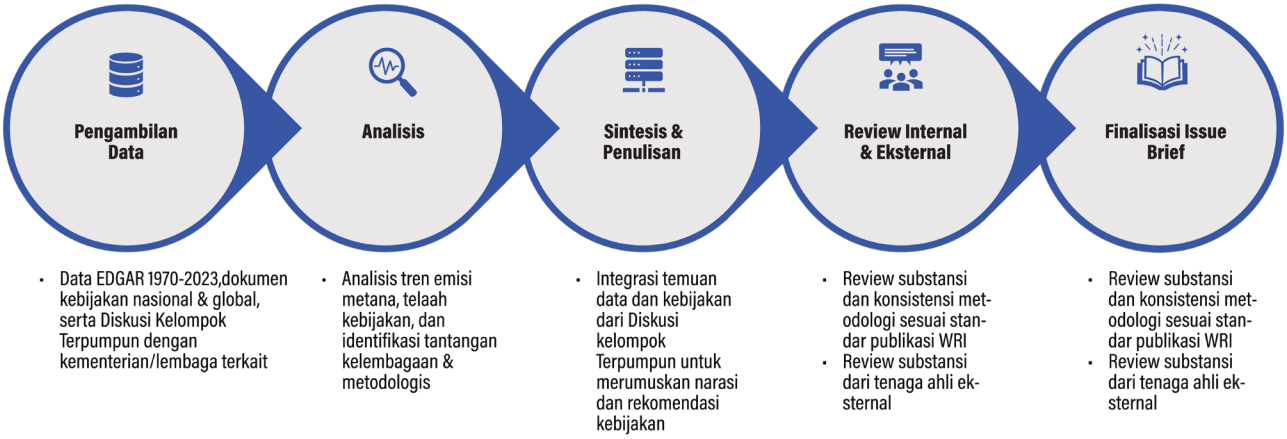
3. Dinamika emisi metana dari air limbah

Mekanisme pembentukan metana dari air limbah

Emisi metana dapat terbentuk ketika air limbah diolah atau dibuang dalam kondisi anaerob, yaitu ketika kadar oksigen sangat rendah sehingga bahan organik diuraikan oleh bakteri metanogen[ii] . Air limbah umumnya mengandung berbagai jenis bahan organik. Semakin tinggi kandungan bahan organiknya, semakin besar pula potensi pembentukan emisi metana (Musa dkk. 2018; Zainal dkk. 2022).

Secara umum, air limbah terbagi menjadi dua jenis, yaitu air limbah domestik dan industri. Air limbah domestik berasal dari aktivitas rumah tangga sehari-hari, seperti penggunaan air untuk toilet, mandi, dan mencuci. Sementara itu, air limbah industri dihasilkan dari

Gambar 3. | **Alur metodologi penyusunan ringkasan isu**



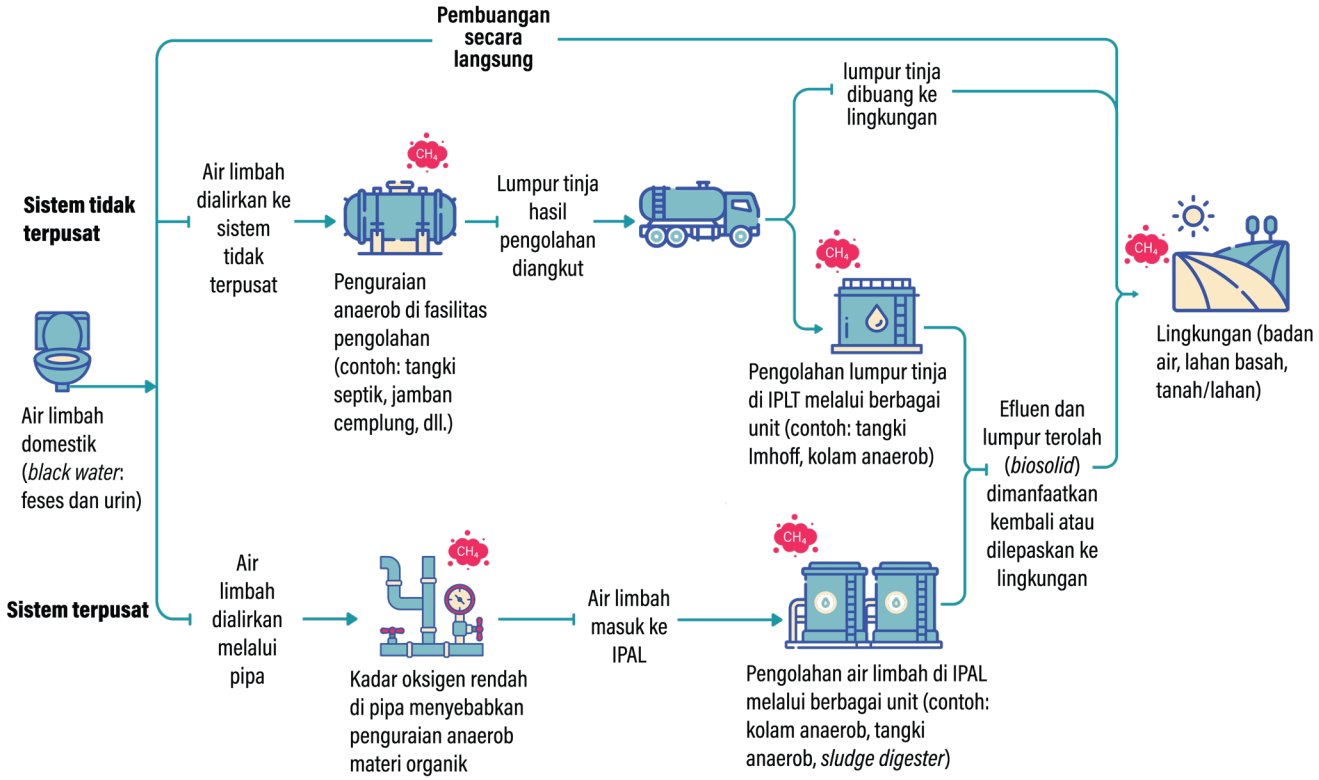
Sumber: Penulis

berbagai proses di fasilitas produksi, seperti pencucian atau pendinginan. Selain dipengaruhi oleh kandungan bahan organik, besarnya emisi metana dari kedua jenis air limbah tersebut juga sangat ditentukan oleh sistem pengolahannya.

Air limbah domestik diolah menggunakan dua sistem utama, yaitu sistem terpusat (*centralized* atau *off-site*) dan tidak terpusat (*decentralized* atau *on-site*). Dalam sistem terpusat, air limbah dialirkan melalui jaringan perpipaan menuju instalasi pengolahan air limbah (IPAL). Kondisi anaerob dapat terbentuk selama air limbah mengalir melalui jaringan perpipaan dan menjadi salah satu sumber emisi metana yang sering luput dari perhatian. Secara global, emisi metana dari jaringan perpipaan diperkirakan mencapai sekitar 1,18–1,95 teragram (Tg) per tahun (Sharma dkk. 2026). Emisi juga dapat terbentuk pada berbagai unit pengolahan di IPAL, seperti kolam atau tangki anaerob, serta dalam proses pengolahan lumpur.

Pada sistem tidak terpusat, air limbah umumnya diolah menggunakan tangki septik atau jamban cemplung (*pit latrine*) di tingkat rumah tangga, yang juga berlangsung dalam kondisi anaerob. Emisi metana global dari sistem tidak terpusat diperkirakan mencapai 377 megaton karbon dioksida ekuivalen ($MtCO_2e$) per tahun atau sekitar 4,7 persen dari total emisi metana antropogenik (Cheng dkk. 2022). Alur pengolahan air limbah domestik pada sistem terpusat dan tidak terpusat, beserta tahapan yang berpotensi menghasilkan emisi metana, dirangkum pada **Gambar 4**.

Gambar 4. | **Alur pengolahan air limbah domestik**

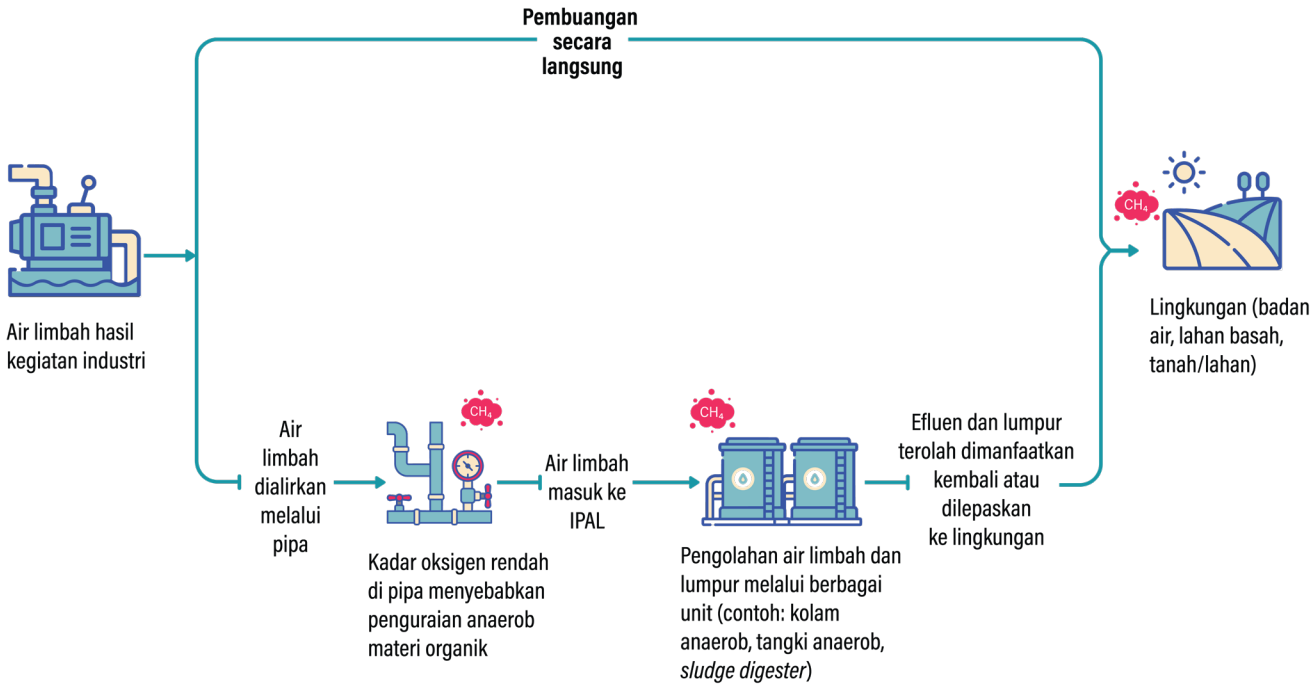


Sumber: Penulis

Gambar 5 menunjukkan alur pengolahan air limbah industri yang umum diterapkan. Seperti pada air limbah domestik, emisi metana terutama terbentuk pada tahapan pengolahan yang berlangsung dalam kondisi anaerob, misalnya di tangki anaerob atau *sludge digester*. Namun, pembentukan metana juga dapat terjadi setelah efluen atau air hasil pengolahan dilepaskan ke lingkungan, termasuk ke badan air. Meskipun badan air terbuka, bagian dasarnya dapat mengalami kondisi anaerob. Apabila efluen masih mengandung bahan organik, proses penguraian tetap berpotensi menghasilkan metana.

Sebagai catatan, efluen dan lumpur yang telah diolah tidak selalu dilepaskan ke lingkungan. Berbagai studi menunjukkan bahwa keduanya dapat dipulihkan dan dimanfaatkan kembali (Kokkinos dkk. 2022; Al-hasanat dkk. 2025; Kahn dkk. 2025; Carpanez dkk. 2025; Ukoha-Onuoha dan Horsfall 2026). Namun, untuk menyederhanakan diagram, proses pemulihan dan pemanfaatan kembali efluen maupun lumpur terolah tidak ditampilkan.

Gambar 5. | **Alur pengolaan air limbah industri**



Sumber: Penulis

Tren emisi metana air limbah

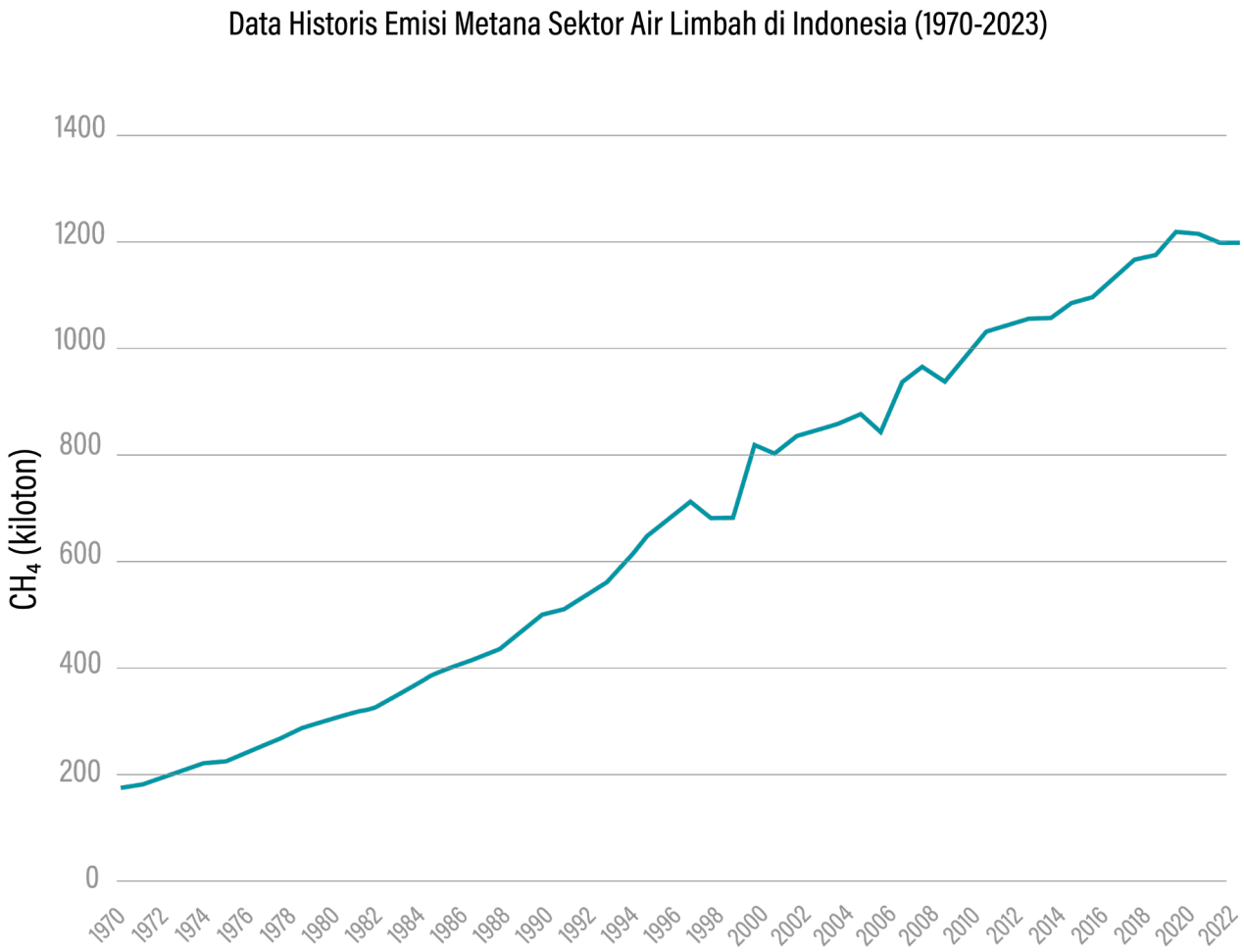
Berdasarkan data historis pada **Gambar 6**, emisi metana dari sektor air limbah di Indonesia menunjukkan tren peningkatan dari tahun ke tahun. Dibandingkan dengan data pertama yang tercatat di tahun 1970, emisi meningkat signifikan dari 158,08 kiloton menjadi 1.173,74 kiloton pada 2023 (Komisi Eropa, JRC/PBL 2024). Dalam kurun waktu lebih dari lima dekade, emisi meningkat sekitar 643 persen.

Kenaikan ini diperkirakan berkaitan dengan meningkatnya beban air limbah. Jumlah penduduk Indonesia, misalnya, bertambah dari sekitar 147,5 juta jiwa pada 1980 menjadi 278,7 juta jiwa pada 2023 (BPS 2021; 2024a). Dengan asumsi produksi air limbah domestik di kawasan perkotaan yang diperkirakan mencapai 36-43 liter per kapita per hari (Widyarani dkk. 2022), pertumbuhan penduduk turut meningkatkan volume air limbah yang perlu dikelola.

Besarnya emisi juga dipengaruhi oleh sistem sanitasi yang digunakan. Studi terbaru memperkirakan sekitar 85,7 persen penduduk Indonesia menggunakan sistem pengolahan setempat, 2,6 persen menggunakan sistem komunal, dan hanya sekitar 2,9 persen yang terhubung ke sistem pengolahan terpusat. Sementara itu, sekitar 10,7 persen penduduk masih melakukan defekasi terbuka (KIAT dkk. 2026). Komposisi tersebut memengaruhi emisi metana dari air limbah domestik karena setiap sistem sanitasi memiliki faktor emisi dan mekanisme pengendalian yang berbeda.

Selain dari sektor domestik, perkembangan industri dan perluasan aktivitas ekonomi juga meningkatkan volume air limbah. Meskipun data nasional mengenai volume air limbah industri masih terbatas, pertumbuhan sektor manufaktur dan sektor lain yang intensif menggunakan air diperkirakan turut meningkatkan volume air limbah yang dihasilkan. Di tengah kapasitas pengolahan air limbah domestik dan industri yang belum sepenuhnya memadai, peningkatan beban tersebut turut mendorong kenaikan emisi metana.

Gambar 6. | **Emisi metana sektor air limbah di Indonesia, 1970-2023**



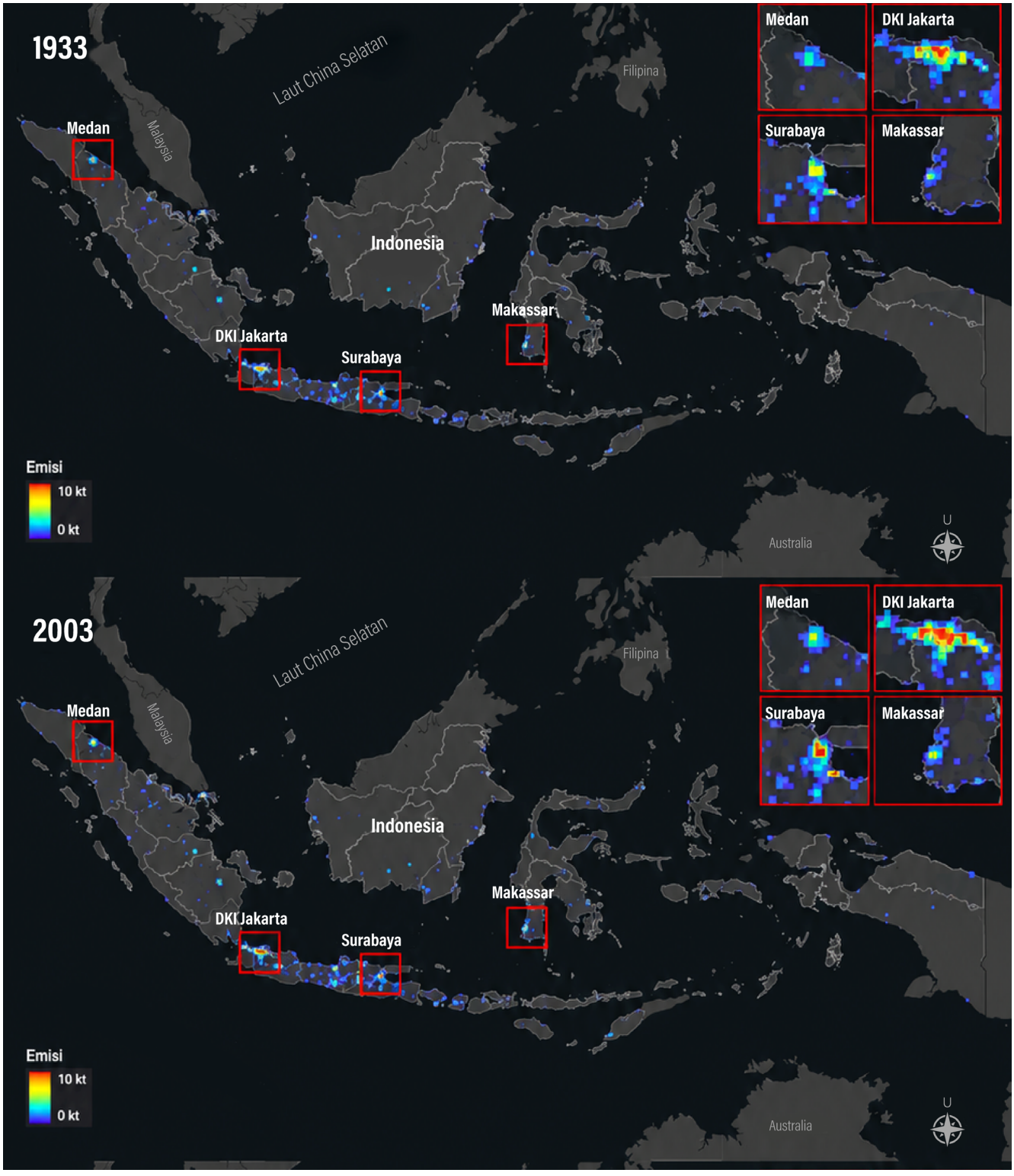
Sumber: Penulis, diolah dari data EDGAR 1970-2023

Distribusi spasial emisi metana

Sebaran emisi metana dari sektor air limbah menunjukkan perubahan yang cukup jelas dari waktu ke waktu. Pada awalnya, emisi lebih terkonsentrasi di kawasan metropolitan seperti Jakarta, Surabaya, Medan, dan Makassar. Namun, pada tahun 2023, jumlah dan intensitas sumber emisi telah meningkat sebagaimana terlihat pada **Gambar 7**.

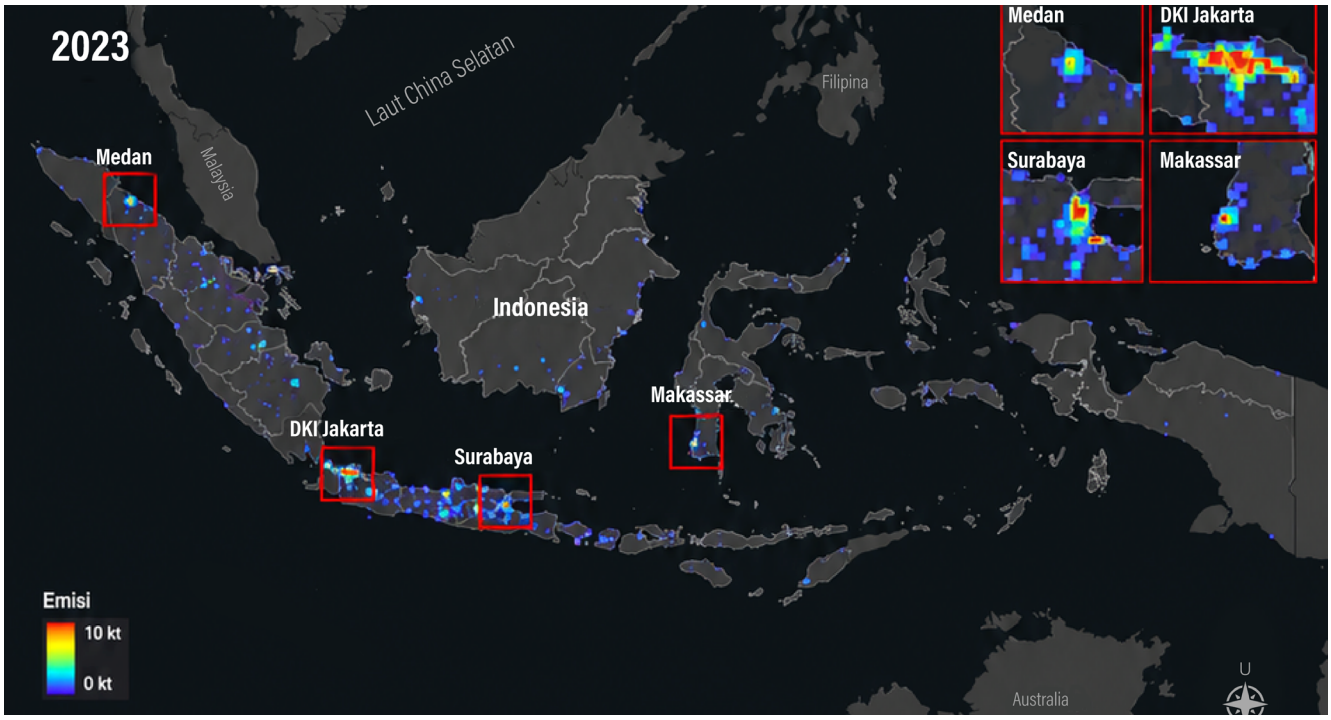
Titik emisi kini mencakup hampir seluruh Pulau Jawa, Sumatera bagian timur, Kalimantan, dan Sulawesi. Perluasan ini sejalan dengan pesatnya urbanisasi dalam beberapa dekade terakhir. Proporsi penduduk meningkat dari 17,2 persen pada 1971 menjadi hampir 50 persen pada 2010, sementara banyak provinsi di luar Jawa kini mencatat tingkat urbanisasi di atas 40-50 persen (Hassan dan Pitoyo 2018).

Gambar 7 | **Sebaran emisi metana sektor air limbah di Indonesia, 1983, 2003, dan 2023**



Sumber: Penulis, diolah dari data EDGAR 1970-2023

Gambar 7. | **Sebaran emisi metana sektor air limbah di Indonesia, 1983, 2003, dan 2023 (lanjutan)**



Sumber: Penulis, diolah dari data EDGAR 1970-2023

Pola pertumbuhan ini sejalan dengan data emisi pada tahun 2023. Berdasarkan **Gambar 8**, empat provinsi mencatat tingkat emisi tertinggi, yaitu Jawa Barat di tingkat 245,7 kiloton, Jawa Timur di tingkat 184,2 kiloton, Banten di tingkat 156 kiloton, dan DKI Jakarta di tingkat 147,6 kiloton. Keempat provinsi tersebut memiliki jumlah penduduk yang besar, masing-masing lebih dari 10 juta jiwa (BPS 2024b) sehingga menghasilkan lebih banyak air limbah domestik. Wilayah-wilayah tersebut juga memiliki konsentrasi kawasan industri yang tinggi (Kemenperin 2018), yang turut menambah volume air limbah. Kombinasi aktivitas domestik dan industri ini menjelaskan tingginya emisi metana sektor air limbah di Pulau Jawa.

Di luar Jawa, tingkat emisi relatif lebih rendah, tetapi cenderung meningkat seiring dengan perkembangan kawasan perkotaan dan industri. Pola pada peta menunjukkan bahwa emisi yang lebih tinggi umumnya terkonsentrasi di wilayah metropolitan dan kawasan padat industri. Sebaliknya, wilayah dengan jumlah penduduk dan aktivitas industri yang lebih rendah cenderung menghasilkan emisi yang lebih kecil.

Gambar 8. | **Sepuluh provinsi dengan kontribusi emisi metana sektor air limbah terbesar di Indonesia, 2023**



Sumber: Penulis, diolah dari data EDGAR 1970-2023

Temuan ini menunjukkan bahwa pertumbuhan penduduk, urbanisasi, dan perkembangan industri hingga di luar pusat perkotaan tidak hanya meningkatkan emisi metana dari sektor air limbah, tetapi juga memperluas sebaran sumber emisi ke berbagai wilayah di Indonesia.

4. Lanskap kebijakan dan komitmen pengurangan emisi metana

Saat ini, upaya pengarusutamaan mitigasi emisi metana sudah mulai dilakukan, sebagaimana tecermin dari integrasinya ke dalam sejumlah dokumen strategis, seperti ENDC, SNDC, LTS-LCCR 2050, dan *Zero Waste Zero Emission 2050*. Upaya mitigasi emisi metana juga sudah tercakup dalam strategi pembangunan rendah karbon dalam RPJPN 2025-2045 dan RPJMN 2025-2029 (Pemerintah Republik Indonesia 2021; 2022; 2024; 2025a; 2025b; KLHK 2024). Namun, sebagian besar dokumen tersebut belum menetapkan target pengurangan emisi metana secara spesifik untuk subsektor air limbah domestik maupun industri. Untuk melihat sejauh mana mitigasi metana telah terintegrasi dalam kebijakan nasional, bagian berikut menguraikan perkembangan target dan strategi mitigasi pada kedua subsektor tersebut.

Subsektor air limbah domestik

Pada subsektor air limbah domestik, belum terdapat target penurunan emisi metana yang ditetapkan secara spesifik. Namun, emisi GRK dari subsektor ini didominasi oleh metana, sedangkan kontribusi dinitrogen oksida (N_2O) relatif kecil, yaitu kurang dari 2 persen. Dengan demikian, target penurunan emisi GRK pada subsektor air limbah domestik pada dasarnya juga mencerminkan upaya pengurangan emisi metana.

Dalam SNDC, aksi mitigasi pada subsektor air limbah domestik difokuskan pada pengembangan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) terpusat dengan sistem aerasi, penggunaan *biodigester* untuk pemulihan dan pemanfaatan metana, serta pembangunan instalasi pengolahan lumpur tinja (IPLT) terpusat. Arah mitigasi ini relatif tidak banyak berbeda dengan langkah yang ditetapkan dalam ENDC.

Strategi yang lebih rinci dijabarkan dalam LTS-LCCR 2050. Dalam *Current Policy Scenario* (CPOS), emisi subsektor air limbah domestik diproyeksikan mencapai 34,1 megaton karbon dioksida ekuivalen pada 2050. Sementara itu, skenario *Low Carbon Compatible Pathway* (LCCP) mendorong penurunan emisi melalui peningkatan penggunaan tangki septik aerobik, pemulihan lumpur tinja, pemanfaatan metana melalui *biodigester*

terpusat, serta perluasan cakupan layanan IPAL terpusat hingga 36 persen. Meski berbagai langkah mitigasi tersebut diterapkan, emisi pada 2050 masih diproyeksikan sebesar 25,67 megaton setara karbon dioksida, lebih tinggi dibandingkan tingkat emisi tahun 2010 sebesar 18,07 megaton karbon dioksida ekuivalen.

Arah mitigasi tersebut selanjutnya diperkuat melalui Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 842 Tahun 2024 tentang *Zero Waste Zero Emission 2050*. Untuk subsektor air limbah domestik, strategi difokuskan pada peningkatan kualitas pengolahan dan perluasan akses sanitasi melalui program 100-0-100, dengan target 100 persen sanitasi layak pada 2060. Strategi ini mencakup pembangunan IPAL dengan intensitas emisi rendah yang melayani lebih dari 70 persen penduduk, pengembangan *biodigester* dengan penangkapan biogas, serta pengoperasian IPLT untuk mengelola sekitar 5 persen potensi *black water*.

Subsektor air limbah industri

Berbeda dengan subsektor domestik, ENDC telah menetapkan target penurunan emisi metana yang mencakup air limbah industri, meskipun masih digabungkan dengan limbah padat industri. ENDC menargetkan penurunan emisi metana sebesar 1,2 megaton dengan kemampuan sendiri dalam skenario *conditional measure* 1 (CM1) atau sekitar 26 megaton karbon dioksida ekuivalen pada tahun 2030. Dengan dukungan internasional dalam skenario CM2, target meningkat menjadi 1,3 megaton atau 28 megaton karbon dioksida ekuivalen (Pemerintah Republik Indonesia 2022).

Namun, target tersebut tidak dicantumkan secara eksplisit dalam SNDC. SNDC hanya memuat sejumlah aksi mitigasi GRK pada subsektor air limbah industri yang relatif konsisten dengan ENDC, yang meliputi pemanfaatan lumpur dari IPAL sebagai bahan baku atau bahan bakar alternatif serta optimalisasi pemulihan metana melalui *biodigester*.

Dalam LTS-LCCR 2050, mitigasi emisi subsektor air limbah industri difokuskan pada industri dengan tingkat emisi tinggi, seperti kelapa sawit, pulp dan kertas, serta kimia. Pada skenario LCCP, strategi mitigasi mencakup penggunaan reaktor anaerobik dengan pemulihan metana serta pemanfaatan lumpur IPAL sebagai kompos, sumber energi, dan bahan baku. Langkah-langkah tersebut diproyeksikan mampu menekan emisi menjadi sekitar 62 megaton setara karbon dioksida. Namun, angka ini masih sekitar 2,3 kali lebih tinggi dibandingkan emisi pada tahun 2010.

Sementara itu, *Zero Waste Zero Emission 2050* menempatkan penangkapan dan pemanfaatan biogas sebagai strategi utama mitigasi air limbah industri, terutama pada industri kimia organik berbasis fosil dan industri pengolahan minyak kelapa sawit mentah (*crude palm oil*/CPO). Strategi ini sekaligus mendukung penerapan ekonomi sirkular melalui pemanfaatan limbah sebagai sumber energi alternatif.

Jika digabungkan dengan aksi mitigasi pada subsektor air limbah domestik, strategi tersebut diproyeksikan dapat menurunkan emisi GRK sektor air limbah secara signifikan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Pada subsektor air limbah domestik, emisi diperkirakan turun dari sekitar 29 megaton karbon dioksida ekuivalen pada 2050 menjadi 8 megaton karbon dioksida ekuivalen pada 2060. Pada subsektor air limbah industri, penurunannya lebih besar, dari sekitar 29 megaton karbon dioksida ekuivalen menjadi 0,02 megaton karbon dioksida ekuivalen pada periode yang sama.

Tabel 1. | **Emisi GRK sektor air limbah setelah mitigasi**

dalam MtCO2e

SUBSEKTOR	2019	2030	2035	2050	2060
Air limbah Domestik mencakup *CH_4 (mayoritas) dan N_2O (< 2%)*	30	36	36	29	8
Air limbah Industri mencakup CH_4	71	144	161	29	0,02
TOTAL ($MtCO_2e$)	**101**	**180**	**197**	**58**	**8,02**

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan 2024

Upaya mitigasi GRK dari sektor air limbah juga telah terintegrasi dalam dokumen pembangunan nasional, meskipun belum disertai target khusus untuk sektor tersebut. RPJPN 2025-2045, misalnya, memproyeksikan emisi sektor limbah secara keseluruhan meningkat dari 43 megaton karbon dioksida ekuivalen pada 2021 menjadi lebih dari 75 megaton karbon dioksida ekuivalen pada 2045 tanpa intervensi. Dengan penerapan model Ekonomi Hijau[iii] dan aksi mitigasi di sektor limbah padat, emisi diperkirakan dapat ditekan hingga sekitar 25 megaton karbon dioksida ekuivalen pada 2045,

lebih rendah dari target dalam *Zero Waste Zero Emission 2050*. Strategi yang diusung mencakup penguatan IPAL dan IPLT, penerapan pengolahan anaerob, serta pengembangan ekonomi sirkular untuk air limbah domestik dan industri. Sementara itu, RPJMN 2025-2029 menetapkan target penurunan emisi sektor limbah, baik padat maupun cair, sebesar 14,13 megaton karbon dioksida ekuivalen pada 2025 dan 31,90 megaton karbon dioksida ekuivalen pada 2029.

Secara umum, berbagai dokumen perencanaan iklim di Indonesia menunjukkan arah mitigasi sektor air limbah yang relatif konsisten. **Tabel 2** menunjukkan strategi utama yang diusung, mencakup peningkatan akses sanitasi layak, perluasan layanan IPAL dan IPLT, serta pemulihan dan pemanfaatan biogas melalui *biodigester*. Pelaksanaannya juga didukung oleh sejumlah regulasi teknis dan sektoral, yang diuraikan pada Lampiran 1. Meskipun belum menetapkan target atau kewajiban pengurangan emisi metana sektor air limbah secara eksplisit, sebagian besar regulasi tersebut telah menyediakan kerangka tata kelola, standar teknis, mekanisme perencanaan dan pelaporan, serta instrumen pendanaan yang diperlukan untuk mendukung pelaksanaan mitigasi secara efektif.

Tabel 2. | **Perbandingan strategi GRK subsektor air limbah domestik dan industri**

NO	STRATEGI MITIGASI	ENDC/ SNDC	LTS-LCCR 2050	ZERO WASTE ZERO EMISSION 2050	RPJPN/ RPJMN
	Domestik				
1	Penyediaan IPAL terpusat, terpadu, atau komunal dengan teknologi aerobik	✓	✓	✓	✓
2	*Biodigester* dengan penangkapan dan pemanfaatan atau pembakaran biogas	✓	✓	✓	✓
3	Penyediaan IPLT untuk mengolah lumpur dari tangki septik secara aerobik	✓	✓	✓	✓
4	Program Nasional 100-0-100 (target 100% sistem septik)	–	✓	✓	✓
	Industri				
5	Penangkapan dan pemanfaatan metana (biogas) dari IPAL	✓	✓	✓	✓
6	Pemanfaatan lumpur IPAL dan limbah padat industri sebagai kompos, bahan baku, atau bahan bakar	✓	✓	✓	✓

Sumber: Penulis

Meskipun demikian, konsistensi antardokumen masih menjadi tantangan. Seperti ditunjukkan pada **Tabel 3**, setiap dokumen menggunakan target pengurangan emisi GRK sektor air limbah yang berbeda. Perbedaan ini menimbulkan perbedaan interpretasi dan menyulitkan penyelarasan target sebagai dasar perencanaan dan implementasi kebijakan, baik di tingkat nasional maupun daerah.

Tabel 3. | **Perbandingan tingkat emisi GRK subsektor air limbah domestik dan industri**

DOKUMEN	2025	2029	2030	2045	2050
SNDC (2025)	Tidak mencantumkan target pengurangan emisi GRK untuk sektor air limbah				
ENDC (2022)			▪ CM1: 1,2 $MtCH_4$ atau 26 $MtCO_2e$ (limbah industri padat dan cair)* ▪ CM2: 1,3 $MtCH_4$ atau 28 $MtCO_2e$ (limbah industri padat dan cair)*		
LTS-LCCR 2050					▪ 25,67 $MtCO_2e$ (air limbah domestik) ▪ 62 $MtCO_2e$ (air limbah industri)
Zero Waste Zero Emission 2050			▪ 28 $MtCO_2e$ (air limbah domestik) ▪ 108 $MtCO_2e$ (limbah industri padat dan cair)		▪ 6,7 $MtCO_2e$ (air limbah domestik) ▪ 0,1 $MtCO_2e$ (limbah industri padat dan cair)
RPJPN 2025-2045				25 $MtCO_2e$ (limbah industri padat dan cair)	
RPJMN 2025-2045	14,13 $MtCO_2e$ limbah padat dan cair)*	31,89 $MtCO_2e$ (limbah padat dan cair)*			

**Target pengurangan emisi*

Sumber: Pemerintah Republik Indonesia 2021; 2022; 2024; 2025a; 2025b; KLHK 2024

5. Tantangan dan peluang

Analisis tren emisi dan lanskap kebijakan yang dilakukan dalam kajian ini mengidentifikasi sejumlah tantangan dan peluang dalam pengurangan emisi metana sektor air limbah. Temuan tersebut dikelompokkan ke dalam tiga aspek: 1) kebijakan dan regulasi, 2) kelembagaan dan koordinasi, serta 3) pengukuran dan verifikasi, sebagaimana dirangkum dalam **Tabel 5**.

Tidak hanya di tingkat nasional, kajian ini juga menganalisis dinamika di tingkat daerah, mengingat pemerintah daerah berperan penting dalam pengelolaan air limbah, penyusunan dokumen perencanaan, dan implementasi program di lapangan. Oleh karena itu, penyelarasan kebijakan dan aksi antara pemerintah pusat dan daerah menjadi salah satu faktor penting dalam memastikan efektivitas pengurangan emisi metana.

Kebijakan dan regulasi: memperkuat komitmen pengurangan emisi metana sektor air limbah

Upaya pengurangan emisi metana sektor air limbah masih menghadapi sejumlah tantangan kebijakan dan regulasi:

- Belum terdapat satu target pengurangan emisi yang menjadi acuan nasional untuk sektor air limbah. Target pengurangan emisi GRK sektor air limbah yang termuat dalam dokumen perencanaan dan kebijakan nasional, seperti LTS-LCCR 2050, *Zero Waste Zero Emission 2050*, RPJPN 2025-2045, dan RPJMN 2025-2029, sejatinya dapat dipahami sebagai target pengurangan emisi metana, meskipun tidak disebutkan secara spesifik. Namun demikian, besaran target yang ditetapkan masih berbeda antardokumen, sehingga belum terdapat satu acuan yang konsisten. Kondisi serupa juga terlihat di tingkat global. Hanya sedikit negara yang menetapkan target metana secara spesifik. Uni Eropa, misalnya, menetapkan target yang tidak mengikat dan lebih menekankan penguatan MRV (European Parliament and Council of the European Union 2024). Sementara itu, target penurunan sedikitnya 35 persen dari tingkat 2005 yang sempat tercantum dalam NDC 2035 Amerika Serikat kini tidak lagi berlaku (United States of America 2024). Salah satu tantangan utama adalah keterbatasan data yang akurat dan andal, sehingga penguatan sistem MRV menjadi prasyarat penting untuk mendukung penetapan target yang kredibel. Tanpa acuan nasional yang jelas, pemerintah daerah juga akan kesulitan menerjemahkan target ke dalam program dan aksi mitigasi yang terukur.
- Tata kelola air limbah masih tersebar di berbagai kementerian dan lembaga, seperti KLH, Kemenperin, Kementerian PPN/Bappenas, dan Kementerian PU. Sebagai contoh, pembangunan infrastruktur pengolahan air limbah domestik terpadu umumnya didanai dan dilaksanakan oleh Kementerian PU, sedangkan pengoperasian dan pengelolaannya menjadi tanggung jawab pemerintah daerah. Sementara itu, pencatatan, pemantauan, dan pelaporan kinerja lingkungan dilakukan oleh KLH bersama Dinas Lingkungan Hidup di tingkat provinsi. Pembagian kewenangan ini membutuhkan koordinasi yang kuat untuk mencegah tumpang tindih mandat, perbedaan standar teknis, serta keterbatasan pertukaran data yang dapat menghambat perencanaan, implementasi, pemantauan, dan pelaporan aksi mitigasi.
- Pemerintah daerah kesulitan merumuskan program dan penganggaran pengendalian emisi metana. Belum adanya target dan standar teknis yang disepakati bersama, disertai koordinasi lintas sektor yang belum memadai, menyulitkan pemerintah daerah dalam merumuskan langkah yang perlu diambil. Akibatnya, target pengurangan emisi metana sektor air limbah masih jarang terintegrasi dalam dokumen perencanaan, seperti Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD), Rencana Strategis (Renstra) Organisasi Perangkat Daerah (OPD), dan Rencana Kerja Pemerintah Daerah (RKPD).
- Skema insentif ekonomi dari pemerintah pusat untuk mendorong adopsi teknologi rendah emisi masih terbatas. Teknologi seperti pemanfaatan biogas dari air limbah tidak hanya memiliki potensi mitigasi yang signifikan, tetapi juga dapat memberikan manfaat tambahan, termasuk penciptaan lapangan kerja hijau. Tanpa dukungan kebijakan dan insentif yang memadai, adopsi teknologi berpotensi berjalan lambat dan tidak optimal.

Di sisi lain, terdapat sejumlah peluang untuk memperkuat kebijakan dan komitmen pengurangan emisi metana sektor air limbah:

- Revisi SNDC mendatang membuka peluang untuk menetapkan target yang lebih terukur dan spesifik. Meskipun SNDC baru saja disampaikan, dokumen tersebut diperkirakan akan diperbarui pada tahun 2027-2028. Penetapan target yang lebih jelas dapat menjadi dasar untuk mengintegrasikan mitigasi metana ke dalam RPJMN berikutnya sehingga perencanaan pembangunan nasional lebih selaras dengan komitmen GMP. Dalam proses ini, koordinasi antara KLH dan Kementerian PPN/Bappenas menjadi penting untuk menjaga konsistensi antara komitmen iklim dan perencanaan pembangunan.

- Kerangka kebijakan yang sudah tersedia dapat menjadi dasar penguatan upaya mitigasi. Indonesia telah memiliki berbagai dokumen yang relevan, mulai dari NDC, LTS-LCCR, dan *Zero Waste Zero Emission 2050*, hingga RPJPN dan RPJMN, yang juga didukung oleh sejumlah regulasi teknis. Tantangan berikutnya adalah memastikan konsistensi di antara dokumen-dokumen tersebut. Untuk itu, KLH dapat menetapkan peta jalan pengurangan emisi metana sektor air limbah. Peta jalan tersebut dapat menjadi dasar untuk mengintegrasikan target secara lebih eksplisit ke dalam perencanaan lintas kementerian dan lembaga sekaligus memperjelas arah implementasi dari tingkat nasional hingga daerah.
- Pengembangan teknologi pengelolaan air limbah membuka peluang investasi dan ekonomi baru. Pasar global sektor air limbah diproyeksikan tumbuh sekitar 6,5 persen per tahun, dari US$369,60 miliar (Rp5.914 triliun) pada 2025 menjadi US$652,30 miliar (Rp10.437 triliun) pada tahun 2034 (Hade dan Bhawal 2025). Pengembangan teknologi pengolahan air limbah juga berpotensi menghasilkan energi terbarukan dan menciptakan lapangan kerja di sektor infrastruktur hijau, antara lain melalui pembangunan dan pengoperasian IPAL rendah emisi, instalasi *biodigester*, serta jaringan pemanfaatan biogas di tingkat komunitas. Di Asia Tenggara, solusi terpadu energi–air–limbah diperkirakan memiliki potensi investasi hingga US$50 miliar per tahun dan menciptakan hampir 900 ribu lapangan kerja baru hingga 2030 (Bain & Company dkk. 2025). Untuk memanfaatkan potensi tersebut, pemerintah perlu menyiapkan regulasi dan skema insentif untuk mendorong pengembangan teknologi dan industri untuk pengurangan emisi metana sektor air limbah. Dengan demikian, agenda iklim ini dapat sekaligus mendukung pembangunan ekonomi dan memperkuat kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat.

Kelembagaan dan koordinasi: tantangan fragmentasi dan peluang sinergi dalam RPJMN 2025-2029

Efektivitas mitigasi emisi metana sektor air limbah sangat bergantung pada kejelasan kelembagaan dan koordinasi lintas sektor. Saat ini, mandat pengelolaan sanitasi di Indonesia masih tersebar di berbagai kementerian dan lembaga.

Kementerian PU bertanggung jawab atas pembangunan dan pengelolaan infrastruktur air limbah, sedangkan KLH menangani aspek lingkungan hidup dan inventarisasi emisi. Kementerian Kesehatan (Kemenkes) berfokus pada dampak sanitasi terhadap kesehatan masyarakat, sementara Kemenperin memiliki mandat pengelolaan limbah cair industri melalui penetapan baku mutu air limbah, pengawasan industri dan kawasan industri (wasdal), serta penyusunan standar teknis, seperti Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 35/M-IND/PER/3/2010 dan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI) di bidang pengelolaan limbah industri. Di sisi lain, Kementerian PPN/Bappenas berperan penting dalam mengintegrasikan isu sanitasi dan mitigasi iklim ke dalam perencanaan pembangunan nasional, termasuk melalui RPJMN, pengalokasian anggaran pembangunan, pengembangan skema pendanaan, dan sinkronisasi dengan prioritas daerah.

Fragmentasi ini sering kali menimbulkan tumpang tindih kewenangan, ketidakjelasan peran, serta koordinasi lintas sektor yang lemah (KLHK 2022; Pemerintah Republik Indonesia 2025a). Akibatnya, program pengelolaan masih kerap berjalan secara parsial dan tanpa sinergi sehingga belum bisa mengoptimalkan potensi pengurangan emisi metana (FGD, Juli 2025). Padahal, pengelolaan air limbah domestik dan industri berdampak tidak hanya pada lingkungan hidup tetapi juga pada kesehatan masyarakat, ketahanan energi, dan pembangunan daerah.

RPJMN 2025-2029 membuka peluang untuk memperkuat koordinasi tersebut. Dokumen ini menargetkan peningkatan akses sanitasi aman dari 12,5 persen pada 2025 menjadi 30 persen pada 2029 sebagai bagian dari agenda swasembada air dan sanitasi (Kementerian PPN/Bappenas 2024). Target tersebut didukung melalui Dana Alokasi Khusus (DAK) Fisik untuk sanitasi air limbah domestik yang diarahkan pada penguatan infrastruktur, peningkatan komitmen pemerintah daerah, dan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan air limbah (Kementerian PPN/Bappenas 2025). RPJMN juga menekankan penguatan kapasitas teknis dan pendanaan pemerintah daerah agar pembangunan sanitasi aman dapat berjalan secara inklusif dan berkelanjutan (Direktorat Jenderal Bina Pembangunan Daerah 2025). Di tingkat operasional, inspeksi dan standardisasi Instalasi Pengelolaan Air Limbah Domestik (IPALD) komunal berkapasitas 50 kepala keluarga (KK) oleh Balai Teknik Sanitasi menunjukkan bahwa penguatan layanan sanitasi mulai diterjemahkan ke dalam langkah teknis (Kementerian PU 2025).

Salah satu langkah yang dapat dilakukan adalah membentuk tim koordinasi di tingkat nasional dan daerah, memperkuat peran Kelompok Kerja (Pokja) Air Minum dan Penyehatan Lingkungan (AMPL), serta mengintegrasikan isu metana ke dalam dokumen perencanaan pembangunan daerah. Koordinasi perlu melibatkan KLH, Kementerian PU, Kemenkes,

Tabel 4. | **Fragmentasi kelembagaan mandat mitigasi metana sektor air limbah**

KEMENTERIAN/ LEMBAGA	MANDAT UTAMA	FOKUS TERKAIT AIR LIMBAH & EMISI METANA	PELUANG KONTRIBUSI MITIGASI METANA	REFERENSI
KLH	Regulasi lingkungan hidup, inventarisasi GRK, dan pengendalian pencemaran	Inventarisasi GRK (SIGN-SMART), regulasi emisi, standar lingkungan, dan target penurunan emisi	Integrasi emisi metana dalam NDC, MRV berbasis teknologi digital, dan perumusan kebijakan mitigasi sektor limbah	(KLHK 2022; 2023)
Kementerian PU	Pembangunan dan pengelolaan infrastruktur air limbah	Pengembangan SPALD-S, IPALD komunal, IPLT, inspeksi, dan standarisasi IPALD 50 KK	Teknologi pengolahan limbah tertutup, pemulihan biogas, dan program CWIS/DAK Sanitasi	(Kementerian PUPR 2017; Kementerian PU 2025)
Kemenkes	Kesehatan masyarakat dan sanitasi lingkungan	Dampak air limbah pada kesehatan, standar kesehatan lingkungan, dan kualitas air minum	Edukasi masyarakat, advokasi sanitasi aman, dan pengawasan kesehatan berbasis lingkungan	(Pemerintah Republik Indonesia 2020; Kemenkes 2022)
Kemenperin	Pembinaan dan pengawasan industri dan kawasan industri	Pengelolaan limbah cair industri, penetapan baku mutu limbah, wasdal industri, dan SKKNI pengelolaan limbah	Penerapan IPAL industri berteknologi UASB/CAL serta pemanfaatan biogas di industri makanan, minuman, tapioka, dan daging	(Kemenperin 2010; 2020)
Kementerian PPN/Bappenas	Perencanaan pembangunan nasional dan alokasi anggaran	Integrasi isu air limbah dan mitigasi iklim dalam RPJMN, perencanaan infrastruktur sanitasi, dan DAK Sanitasi	Penetapan target (30% sanitasi aman 2029), sinkronisasi pusat-daerah, serta penguatan pendanaan dan kapasitas daerah	(Pemerintah Republik Indonesia 2024; 2025a)
Kementerian ESDM	Perumusan kebijakan energi nasional, pengembangan energi baru dan terbarukan, serta perencanaan dan pengawasan program energi	Pengembangan dan promosi teknologi biogas dari limbah organik dan air limbah, implementasi program *digester* biogas rumah tangga dan komunal, serta integrasi pemanfaatan gas metana dalam bauran energi terbarukan nasional	Pengembangan dan perluasan digester biogas untuk pemanfaatan metana dari limbah organik dan air limbah, integrasi penangkapan metana dalam target energi terbarukan, penguatan skema insentif dan pembiayaan untuk sistem biogas rumah tangga dan industri, serta pengembangan infrastruktur *waste-to-energy*	Republik Indonesia 2017; Kementerian ESDM 2017; 2018; 2023)
Kemendagri	Pembinaan dan pengawasan penyelenggaraan pemerintahan daerah	Penguatan kelembagaan dan kapasitas pemerintah daerah dalam penyediaan layanan sanitasi dan pengelolaan air limbah domestik serta pembinaan penyusunan RPJMD dan penganggaran daerah	Integrasi target pengurangan emisi metana dalam perencanaan dan penganggaran daerah, penguatan kapasitas pemerintah daerah untuk pengelolaan air limbah rendah emisi, serta koordinasi lintas OPD dalam implementasi sanitasi aman dan pengendalian emisi metana	(Pemerintah Republik Indonesia 2014; Kemendagri 2025b)
Pemerintah Daerah: Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang, Dinas Perumahan dan Permukiman, Dinas Kesehatan, Dinas Perindustrian dan Bappeda	Implementasi program di tingkat lokal	Operasionalisasi SPALD-S, IPALD, DEWATS, dan IPLT serta pelaksanaan LLTT	Pengelolaan air limbah komunal, partisipasi masyarakat, dan integrasi isu metana dalam RPJMD	(Kemendagri 2025a)

Sumber: Penulis

Kemenperin, Kementerian PPN/Bappenas, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), dan Kemendagri. Dengan pembagian peran yang lebih jelas dan target yang selaras, pengelolaan air limbah domestik dan industri dapat diarahkan secara lebih terencana, terukur, dan berorientasi pada hasil, sekaligus memperkuat kontribusinya terhadap pengurangan emisi metana.

Pengukuran dan verifikasi: ketergantungan pada mekanisme *Tier* 1 dalam inventarisasi emisi metana sektor air limbah dan mekanisme MRV yang masih lemah

Inventarisasi emisi metana sektor air limbah merupakan langkah awal untuk mengetahui besaran emisi, mengidentifikasi sumber utama (*hotspot*), dan menentukan strategi mitigasi yang tepat. Emisi metana berasal dari air limbah domestik maupun industri, dengan besaran yang dipengaruhi oleh karakteristik limbah dan teknologi pengolahannya. Karena itu, inventarisasi yang akurat menjadi dasar bagi pemerintah pusat dan daerah untuk merancang intervensi yang lebih terarah.

Namun, inventarisasi emisi metana dari air limbah di Indonesia masih banyak menggunakan metode *Tier* 1 yang menggunakan nilai *default*[iv] IPCC. Akibatnya, perhitungan yang dihasilkan belum sepenuhnya merepresentasikan karakteristik wilayah maupun sistem pengolahan air limbah di Indonesia. Iklim tropis, misalnya, berpotensi meningkatkan pembentukan metana karena metanogen tumbuh lebih optimal pada suhu hangat (Conrad 2023). Selain itu, pengelolaan air limbah domestik di Indonesia masih didominasi oleh sistem setempat, seperti tangki septik, yang tingkat pemeliharaannya belum selalu memadai (Widyarani dkk. 2022).

Penerapan metode *Tier* yang lebih tinggi membutuhkan data aktivitas dan faktor emisi yang lebih spesifik untuk Indonesia. Saat ini, data seperti volume timbulan air limbah per kapita serta parameter kualitas air limbah, termasuk BOD[v] dan COD[vi], belum tersedia secara komprehensif dan representatif. BOD dan COD menggambarkan kandungan bahan organik dalam air limbah yang menjadi salah satu data penting dalam memperkirakan potensi pembentukan metana. Nilainya dapat berbeda menurut jenis limbah dan teknologi pengolahan sehingga penggunaan nilai *default* dapat mengurangi akurasi estimasi. Keterbatasan serupa juga terdapat pada data timbulan air limbah industri yang idealnya tersedia secara spesifik untuk masing-masing sektor.

Dari sisi MRV, platform SIGN-SMART[vii] telah tersedia untuk mendukung inventarisasi hingga tingkat kabupaten atau kota. Namun, berdasarkan hasil FGD, kualitas data yang dilaporkan masih bervariasi. Kapasitas teknis pemerintah daerah masih belum merata sehingga data lapangan yang lebih spesifik belum dapat dikumpulkan secara konsisten dan verifikasi hasil perhitungan emisi menjadi terbatas. Dengan demikian, selain metodologi, lemahnya MRV juga menjadi faktor yang menghambat perumusan kebijakan berbasis bukti dan strategi penurunan emisi metana yang efektif di sektor air limbah.

Langkah penguatan dapat dimulai dengan penyusunan peta jalan inventarisasi metana oleh KLH untuk meningkatkan metodologi secara bertahap menuju *Tier* 2 dan *Tier* 3. Salah satu langkah awal yang dapat dilakukan adalah memanfaatkan data kualitas air limbah yang telah dikumpulkan melalui mekanisme pemantauan yang ada, termasuk pengukuran BOD dan COD sektor swasta sebagai bagian dari Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan (PROPER).

Integrasi dan digitalisasi data dapat mengurangi duplikasi sekaligus memperkuat basis data di tingkat nasional dan daerah. Data yang terkumpul juga dapat digunakan untuk mengembangkan faktor emisi yang lebih sesuai dengan kondisi Indonesia sehingga akurasi inventarisasi dapat ditingkatkan secara bertahap.

Pada saat yang sama, mekanisme MRV dapat diperkuat dengan mengacu pada panduan dan praktik terbaik dari institusi internasional, seperti *Global Methane Initiative* (GMI) dan *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), serta pembelajaran dari negara lain. Langkah ini dapat memastikan bahwa capaian pengurangan emisi metana dapat diverifikasi secara lebih transparan dan kredibel.

Tabel 5. | **Tantangan dan peluang mitigasi emisi metana sektor air limbah**

RUANG LINGKUP	TANTANGAN	PELUANG
Kebijakan & Regulasi	▪ Regulasi tersebar di berbagai kementerian dan lembaga. ▪ Target pengurangan metana belum terintegrasi dalam dokumen perencanaan nasional dan daerah. ▪ Panduan daerah untuk inventarisasi, target, dan aksi mitigasi belum ada. ▪ Skema insentif ekonomi yang komprehensif untuk mendorong adopsi teknologi rendah emisi belum tersedia.	▪ Revisi SNDC 2027-2028 membuka peluang untuk menetapkan target penurunan emisi metana yang lebih terukur dan spesifik. ▪ Integrasi target dan aksi mitigasi metana dapat diperkuat melalui berbagai dokumen perencanaan nasional dan daerah, termasuk RTRW, KLHS, RPPLH, RPJMN/RPJMD, serta dokumen kebijakan sektor terkait. ▪ Pertumbuhan pasar dan inovasi pengelolaan air limbah membuka peluang besar bagi investasi hijau, pengembangan teknologi dan energi terbarukan, serta penciptaan lapangan kerja melalui infrastruktur rendah emisi dan solusi terpadu energi–air–limbah.
Kelembagaan & Koordinasi	▪ Mandat pengelolaan sanitasi masih terfragmentasi. ▪ Koordinasi lintas sektor di tingkat nasional dan daerah masih terbatas.	▪ Tim koordinasi metana nasional dan daerah dapat dibentuk. ▪ Perjanjian dapat dibuat untuk koordinasi lintas dinas dan penguatan Pokja AMPL/PPAS
Inventarisasi & MRV	▪ Sebagian besar inventarisasi masih menggunakan *Tier* 1. ▪ Data aktivitas dan faktor emisi lokal terbatas. ▪ Sistem pemantauan belum memadai.	▪ Peta jalan inventarisasi emisi metana dapat dibuat untuk meningkatkan metodologi ke *Tier* 2 atau 3. ▪ Pengukuran parameter air limbah (misalnya BOD dan COD) secara berkala dapat memfasilitasi pemantauan. ▪ Digitalisasi data hasil pengukuran parameter air limbah dapat digunakan untuk menghitung emisi. ▪ Verifikasi pengurangan emisi metana dapat diperkuat dengan mengadopsi praktik terbaik dari institusi internasional.

Sumber: Penulis

6. Usulan strategi untuk mengurangi emisi metana

Analisis tren emisi, evaluasi kebijakan, serta identifikasi tantangan dan peluang pada bagian sebelumnya menunjukkan bahwa pengurangan emisi metana sektor air limbah di Indonesia memerlukan pendekatan yang terintegrasi dan sesuai dengan konteks nasional. Tantangannya tidak hanya bersifat teknis tetapi juga mencakup keterbatasan data, fragmentasi kelembagaan, kurangnya sinergi kebijakan lintas sektor, serta ketimpangan akses sanitasi. Di sisi lain, perkembangan kebijakan iklim, inovasi teknologi pengelolaan air limbah, dan meningkatnya minat terhadap investasi hijau membuka peluang untuk mempercepat mitigasi.

Berdasarkan temuan, beberapa strategi dapat diambil untuk mewujudkan mitigasi yang inklusif dan berkeadilan. Strategi tersebut mencakup penguatan kualitas dan integrasi data serta sistem MRV, penerapan teknologi pengolahan air limbah rendah emisi dan pemanfaatan metana, dan penguatan kebijakan dan koordinasi kelembagaan.

Penguatan kebijakan dan regulasi untuk mendorong mitigasi emisi metana

Penerapan solusi teknis untuk mitigasi emisi metana membutuhkan dukungan kebijakan dan regulasi yang memadai. Pemerintah pusat berperan penting dalam membangun kerangka tersebut. KLH berperan menetapkan standar inventarisasi dan pelaporan emisi, sementara Kementerian PPN/Bappenas mengintegrasikan target pengurangan metana ke dalam perencanaan pembangunan, termasuk RPJMN 2025-2029. Kemenkeu dapat mendukung implementasi melalui instrumen fiskal yang mendorong investasi pada teknologi pengolahan air limbah rendah emisi dan mitigasi metana.

Target pengurangan emisi metana perlu diintegrasikan secara konsisten ke dalam dokumen strategis di tingkat nasional dan daerah, seperti SNDC, RPJMN, Renstra, dan RKPD. Langkah ini penting untuk memastikan mitigasi metana dari sektor air limbah menjadi bagian dari perencanaan pembangunan nasional dan daerah. Revisi SNDC pada 2027-2028 dapat menjadi momentum strategis untuk menetapkan target pengurangan emisi yang lebih spesifik dan terukur.

Implementasi di tingkat daerah juga dapat diperkuat melalui peraturan daerah dan regulasi teknis yang lebih jelas. Pada saat yang sama, pemerintah pusat dapat mengembangkan skema insentif ekonomi untuk mendorong pemanfaatan biogas dan teknologi pengolahan air limbah rendah emisi dengan dukungan pemerintah daerah. Instrumen dukungan fiskal seperti pajak karbon khusus untuk metana (OECD 2022) serta sistem pelaporan digital untuk meningkatkan transparansi (Carbon Trust 2023) dapat menjadi bagian dari penguatan tata kelola emisi. Kebijakan ini dapat membantu menerjemahkan komitmen nasional menjadi aksi mitigasi yang lebih konkret di lapangan.

Penguatan inventarisasi emisi nasional dan MRV sebagai fondasi kebijakan berbasis bukti

Keterbatasan data dan metodologi inventarisasi masih menjadi salah satu kendala utama dalam perumusan dan evaluasi kebijakan pengurangan emisi metana sektor air limbah. Inventarisasi emisi nasional yang dikoordinasikan oleh KLH masih didominasi pendekatan *Tier* 1 IPCC yang menggunakan faktor emisi global dan asumsi *default*. Pendekatan ini belum sepenuhnya mencerminkan kondisi Indonesia dan memiliki tingkat ketidakpastian yang relatif tinggi.

Peningkatan metodologi menuju *Tier* 2, yang menggunakan faktor emisi dan data aktivitas spesifik nasional, menjadi langkah penting untuk meningkatkan akurasi inventarisasi dan kredibilitas pelaporan. Penerapannya membutuhkan pengumpulan data yang lebih sistematis dan terstandar di tingkat daerah, termasuk volume dan karakteristik air limbah, timbulan lumpur tinja, kinerja IPLT, serta jenis dan kondisi teknologi pengolahan yang digunakan. Ketersediaan data tersebut akan menghasilkan perhitungan emisi yang lebih akurat sekaligus mendukung penyusunan kebijakan yang lebih tepat sasaran.

Penguatan inventarisasi membutuhkan koordinasi antara KLH, Kementerian PU, Kementerian PPN/Bappenas, dan pemerintah daerah untuk memastikan konsistensi dan interoperabilitas data. Teknologi pemantauan seperti sensor, sistem pencatatan digital, *drone,* dan perangkat berbasis *Internet of Things* (IoT) juga dapat melengkapi data administratif dengan informasi lapangan yang lebih aktual serta mendukung deteksi dini kebocoran metana (Dasgupta dkk. 2023). Integrasi hasil pemantauan tersebut ke dalam sistem MRV nasional dapat meningkatkan transparansi dan kredibilitas pelaporan sekaligus mendukung perencanaan, penganggaran, dan evaluasi program mitigasi di tingkat pusat maupun daerah.

Solusi teknis yang kontekstual untuk penangkapan dan pemanfaatan emisi metana

Solusi teknis untuk mengurangi emisi metana perlu disesuaikan dengan skala layanan, karakteristik air limbah, dan kapasitas lembaga di tingkat lokal. Pendekatan yang seragam berisiko tidak efektif mengingat kondisi permukiman, tingkat urbanisasi, dan kegiatan ekonomi yang beragam di Indonesia.

Pada skala rumah tangga dan komunal, peningkatan kualitas sistem pengelolaan air limbah domestik (SPALD) dapat dilakukan melalui penggunaan tangki septik kedap, layanan lumpur tinja terjadwal (LLTT), serta fasilitas pengolahan lumpur tinja yang dilengkapi pemanfaatan biogas. Pendekatan ini dapat mengurangi emisi metana sekaligus meningkatkan kualitas layanan sanitasi. Di kawasan padat dengan keterbatasan lahan, sistem pengolahan terdesentralisasi dengan reaktor anaerob tertutup dapat menjadi alternatif yang relatif efisien dan mudah dioperasikan. Pada skala kota dan industri, modernisasi instalasi pengolahan yang masih menggunakan kolam terbuka menjadi sistem tertutup dengan penangkapan gas memiliki potensi penurunan emisi yang signifikan. Teknologi seperti reaktor anaerob beraliran ke atas maupun kolam anaerob tertutup memungkinkan metana ditangkap dan dimanfaatkan sebagai sumber energi sehingga menghasilkan manfaat lingkungan sekaligus ekonomi. Pendekatan ini juga relevan bagi industri agro yang menghasilkan air limbah dengan kandungan bahan organik tinggi dan potensi pembentukan metana yang besar.

Teknologi yang telah digunakan di sektor lain, seperti sensor untuk mendeteksi kebocoran metana dan sistem untuk mengoptimalkan pemanfaatan biogas, juga dapat menjadi sumber pembelajaran. Namun, pemilihan teknologi tetap perlu mempertimbangkan kesiapan teknis, biaya operasi dan pemeliharaan, serta kapasitas pengelolaan di tingkat lokal.

Pendekatan inklusif dan berkeadilan dalam pengurangan emisi metana

Upaya pengurangan emisi metana sektor air limbah tidak dapat dipisahkan dari permasalahan ketimpangan akses terhadap sanitasi. Strategi yang terlalu berfokus pada teknologi berisiko memperlebar kesenjangan apabila hanya dapat diterapkan di wilayah dengan kapasitas fiskal dan teknis yang lebih kuat. Karena itu, prinsip inklusif dan berkeadilan perlu menjadi bagian dari perencanaan dan pelaksanaan mitigasi.

Pengembangan sistem pengelolaan air limbah yang terjangkau dan sesuai dengan kebutuhan masyarakat berpendapatan rendah dapat memberikan manfaat ganda berupa peningkatan kualitas sanitasi dan pengurangan emisi metana. Transisi menuju teknologi rendah emisi juga perlu dilakukan secara bertahap dengan mempertimbangkan kemampuan masyarakat dalam mengoperasikan serta memelihara sistem.

Keberlanjutan sistem dalam jangka panjang perlu didukung melalui pelatihan, pendampingan teknis, dan penguatan kapasitas pengelola lokal. Pelibatan perempuan, kelompok rentan, dan organisasi masyarakat sipil juga penting untuk meningkatkan penerimaan sosial dan memastikan bahwa manfaat ekonomi dan lingkungan yang dihasilkan dapat dirasakan secara merata.

Pembelajaran adaptif dari praktik terbaik global

Praktik terbaik global dapat menjadi referensi dalam mengembangkan strategi dan teknologi mitigasi metana di Indonesia. Pengalaman berbagai negara menunjukkan bahwa pengurangan emisi metana umumnya membutuhkan kebijakan yang konsisten, teknologi yang sesuai, sistem pemantauan yang andal, dan koordinasi kelembagaan yang kuat. Swedia, misalnya, berhasil menekan emisi metana dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) hingga hampir nol melalui larangan pembuangan limbah organik ke TPA (Government Offices of Sweden 2022a). India mengembangkan program biogas nasional yang menyediakan energi terbarukan bagi jutaan rumah tangga sekaligus mengurangi emisi dari limbah pertanian (Government of India 2022).

Sementara itu, Amerika Serikat menggunakan teknologi satelit dan *drone* untuk memantau emisi metana dari sektor energi (IEA 2023). Di Brasil, penerapan program "*Zero Methane*" mengintegrasikan pendekatan pertanian dan energi terbarukan untuk mengolah limbah menjadi bahan bakar biomassa (Ministry of Environment Brazil 2022). Australia menggunakan data berbasis *blockchain* untuk memastikan transparansi dalam pelaporan emisi metana di sektor peternakan (Australian Government 2022). Uni Eropa memperkenalkan regulasi baru yang mewajibkan negara anggotanya untuk memetakan emisi metana menggunakan teknologi berbasis satelit, yang telah terbukti mempercepat respons dalam pengurangan emisi (European Union 2023).

Namun, praktik tersebut tidak dapat diterapkan secara langsung tanpa penyesuaian dengan kondisi Indonesia. Perbedaan kapasitas kelembagaan, kondisi sosial ekonomi, dan struktur layanan sanitasi menuntut pendekatan yang adaptif. Karena itu, pembelajaran global lebih tepat digunakan untuk mengidentifikasi pilihan kebijakan dan teknologi potensial serta menilai kesesuaiannya. Pendekatan ini akan menghasilkan pembelajaran yang relevan tanpa mengabaikan realitas lokal, sehingga strategi dapat diterapkan secara lebih efektif dan berkelanjutan. **Tabel 6** memetakan sejumlah opsi praktik dan teknologi, sebagai dasar analisis dalam mengidentifikasi pilihan yang relevan bagi Indonesia.



Tabel 6 | **Praktik dan teknologi mitigasi dalam konteks Indonesia dan *benchmark* global**

KONTEKS	OPSI TEKNOLOGI	DESKRIPSI & KEBUTUHAN O&M	POTENSI PENURUNAN CH_4	SUMBER PENDANAAN/ RELEVANSI	PRAKTIK TERBAIK GLOBAL SERUPA	REFERENSI
Mayoritas rumah tangga menggunakan tangki septik	SPALD-S sesuai SNI, LLTT, IPLT dengan pemanfaatan biogas	Tangki septik kedap, penyedotan terjadwal, IPLT dengan digester, dan pemanfaatan biogas O&M: Penyedotan rutin dan perawatan *digester*	Tinggi	DAK Sanitasi, CWIS, donor	Vietnam & India – IPLT berbasis *digester* kecil dimanfaatkan untuk listrik atau kompor biogas rumah tangga	(BSN 2017; Kementerian PUPR 2017; IUWASH PLUS 2020; Pemerintah Republik Indonesia 2020)
Permukiman padat, ruang terbatas	DEWATS dengan modul penangkap gas (ABR/AF, *wetland*)	Sistem komunal 50-200 KK, headspace anaerob ditutup, gas ditangkap O&M: *Desludging* dan perawatan filter	Sedang-Tinggi	DAK Sanitasi, donor (ADB/ WB/BORDA)	Nepal & Bangladesh – DEWATS komunal dengan penangkapan untuk kebutuhan energi komunitas	(BORDA 2017; Eawag 2018)
Program nasional 50 KK	IPAL komunal pabrikasi (FRP/ PE) dengan penangkapan	Unit prefabrikasi tertutup berkapasitas 50 KK dengan instalasi cepat dan gas untuk penggunaan skala komunitas O&M: Pompa dan pipa gas	Sedang-Tinggi	DAK Fisik, target 30% sanitasi aman RPJMN	Tiongkok–IPAL prefabrikasi skala kecil dengan pemulihan gas untuk energi lokal	(Kementerian PUPR 2022; Balai Teknik Sanitasi 2023)
Kota besar dengan IPAL atau kolam stabilisasi terbuka	Retrofit UASB/ *covered anaerobic lagoon* (CAL)	Penutupan kolam dengan membran, pemasangan pengumpul gas dan *flare/ genset*, kemampuan *co-digestion*	Tinggi (>50% reduksi)	CWIS/ADB/WB, potensi kredit karbon	Brasil & Meksiko – *covered lagoon* POME dan lumpur *sewage* menghasilkan listrik dan uap pabrik	(GMI 2021; Bank Dunia 2020)
IPAL kota terbuka	Modernisasi IPAL ke sistem tertutup atau dengan penangkap	Retrofit *headspace* tertutup, pemantauan gas, migrasi ke UASB dan *polishing*	Sedang-Tinggi	APBD, CWIS, pembiayaan iklim	Swedia – hampir nol emisi metana dari TPA dan sewage lewat larangan organik dan penangkapan sistematis	(GMI 2021; Government Offices of Sweden 2022b)
Semua skala (komunal/IPAL/IPLT	MRV dan pelaporan digital menggunakan SIGN-SMART	Pasang *flowmeter*/CH_4 *analyzer dan logger* digital, integrasi dasbor nasional.	Tidak Langsung (MRV untuk klaim)	KLHK (SIGN-SMART), donor MRV	EU – kewajiban pemetaan emisi berbasis satelit untuk MRV metana	(KLHK 2023; IPCC 2019)

Tabel 6 | **Praktik dan teknologi mitigasi dalam konteks Indonesia dan *benchmark* global (lanjutan)**

KONTEKS	OPSI TEKNOLOGI	DESKRIPSI & KEBUTUHAN O&M	POTENSI PENURUNAN CH_4	SUMBER PENDANAAN/ RELEVANSI	PRAKTIK TERBAIK GLOBAL SERUPA	REFERENSI
Daerah sawit/ industri agro	*Biodigester* POME/*covered lagoon*	Kolam tertutup untuk limbah sawit dan pemanfaatan biogas untuk listrik atau uap	Sangat Tinggi (>70%)	CDM, *voluntary carbon market*, swasta	Brasil & Malaysia – pemanfaatan POME *biodigester* sebagai energi & bahan bakar industri	(World Bank 2018; KLHK 2021)

**) SPALD-S:* Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Setempat, LLTT: Layanan Lumpur Tinja Terjadwal, IPLT: Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja, O&M: Operation and Maintenance (operasi dan pemeliharaan), DAK: Dana Alokasi Khusus, CWIS: *City-wide Inclusive Sanitation*, DEWATS: *Decentralized Wastewater Treatment System*, ABR: *Anaerobic Baffled Reactor*, AF: *Anaerobic Filter*, FRP: *Fiberglass Reinforced Plastic*, PE: *Polietilena*, IPAL: Instalasi Pengolahan Air Limbah, UASB: *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*, CAL: *Covered Anaerobic Lagoon*, MRV: *Measurement, Reporting, and Verification*, SIGN-SMART: Sistem Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional – Sistem Monitoring, Reporting, and Verification Aksi Mitigasi, POME: *Palm Oil Mill Effluent*, TPA: Tempat Pembuangan Akhir, KLHK: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, PUPR: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, APBD: Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah, CDM: *Clean Development Mechanism*, EU: Uni Eropa

Sumber: Penulis

7. Kesimpulan dan rekomendasi

Emisi metana sektor air limbah menjadi isu iklim penting yang berkaitan erat dengan agenda pembangunan nasional. Data historis EDGAR 1970-2023 menunjukkan peningkatan emisi yang tajam, menempatkan Indonesia sebagai salah satu kontributor terbesar di dunia. Peningkatan ini juga disertai dengan perluasan sumber emisi ke berbagai wilayah.

Emisi terutama terkonsentrasi di provinsi dengan jumlah penduduk dan aktivitas industri yang tinggi, seperti Jawa Barat, Jawa Timur, Banten, dan DKI Jakarta. Namun, urbanisasi dan perkembangan industri di luar Jawa turut memperluas titik emisi ke Sumatera, Kalimantan, dan Sulawesi. Emisi berasal dari air limbah domestik yang pengelolaannya masih bergantung pada sistem sanitasi setempat, termasuk tangki septik yang belum seluruhnya memenuhi standar, serta air limbah industri dengan kandungan bahan organik tinggi. Pola ini menunjukkan bahwa emisi metana dari air limbah tidak lagi hanya menjadi persoalan kota-kota besar, tetapi telah berkembang menjadi tantangan nasional.

Dari sisi kebijakan, Indonesia telah menunjukkan komitmen untuk memperkuat pengelolaan air limbah dan mengurangi emisi GRK melalui GMP serta berbagai dokumen kebijakan iklim dan pembangunan, seperti NDC, LTS-LCCR 2050, *Zero Waste Zero Emission 2050*, RPJPN, dan RPJMN. Namun, komitmen tersebut belum sepenuhnya diterjemahkan ke dalam target pengurangan emisi metana yang spesifik dan terukur untuk sektor air limbah.

Kajian ini mengidentifikasi beberapa tantangan utama, yaitu regulasi dan kewenangan yang tersebar di berbagai kementerian dan lembaga, belum terintegrasinya target metana ke dalam perencanaan pembangunan daerah, koordinasi lintas sektor yang belum kuat, serta keterbatasan inventarisasi dan MRV yang masih banyak menggunakan pendekatan *Tier* 1 dengan data aktivitas dan faktor emisi spesifik Indonesia yang terbatas.

Di sisi lain, sejumlah peluang dapat dimanfaatkan, antara lain revisi SNDC 2027-2028 untuk memperjelas target mitigasi metana, penyelarasan target dalam berbagai dokumen perencanaan, pembentukan tim koordinasi di tingkat pusat dan daerah, serta peningkatan kualitas inventarisasi melalui metodologi yang lebih sesuai dengan kondisi Indonesia. Metodologi ini perlu didukung dengan pemantauan rutin BOD/COD, digitalisasi pelaporan, dan mekanisme verifikasi berstandar internasional. Perkembangan teknologi dan investasi hijau juga membuka peluang untuk mengembangkan energi terbarukan berbasis biogas, infrastruktur rendah emisi, dan lapangan kerja hijau.

Berdasarkan temuan tersebut, ringkasan isu ini mengusulkan serangkaian strategi untuk mempercepat pengurangan emisi metana sektor air limbah yang dirangkum dalam **Tabel 7**.

Tabel 7 | **Rekomendasi strategi pengurangan emisi metana sektor air limbah**

NO	STRATEGI	AKSI	AKTOR UTAMA	RENTANG WAKTU
1	Penguatan kebijakan dan regulasi untuk mendorong implementasi mitigasi emisi metana	▪ Mengintegrasikan target dan indikator pengurangan emisi metana sektor air limbah ke dalam SNDC, RPJMN, Renstra, dan RKPD ▪ Menyusun peta jalan mitigasi emisi metana sektor air limbah nasional ▪ Mengembangkan instrumen insentif fiskal dan pembiayaan, termasuk dukungan untuk pemanfaatan biogas dan teknologi pengolahan air limbah rendah emisi ▪ Mendorong pengembangan sistem pelaporan digital untuk meningkatkan transparansi dan akuntabilitas pelaporan emisi	▪ KLH ▪ Kementerian PU ▪ Kemenperin ▪ Kementerian PPN/ Bappenas ▪ Kemenkeu	2026-2028
2	Penguatan inventarisasi dan MRV sebagai fondasi kebijakan berbasis bukti	▪ Mengembangkan faktor emisi dan parameter aktivitas spesifik Indonesia untuk mendukung transisi inventarisasi dari pendekatan *Tier* 1 menuju *Tier* 2 ▪ Membangun basis data nasional yang mencakup volume dan karakteristik air limbah, lumpur tinja, kinerja IPLT, serta jenis teknologi pengolahan ▪ Mengintegrasikan data dan sistem pelaporan KLH, Kementerian PU, Kementerian PPN/Bappenas, dan pemerintah daerah melalui mekanisme MRV yang interoperabel ▪ Memanfaatkan teknologi pemantauan seperti sensor, *drone*, dan perangkat berbasis IoT untuk mendukung pengumpulan data dan deteksi kebocoran metana	▪ KLH ▪ Kementerian PU ▪ Kemenperin ▪ Kementerian PPN/ Bappenas ▪ Pemerintah Daerah	2026-2030
3	Penerapan solusi teknis yang kontekstual untuk penangkapan dan pemanfaatan emisi metana	▪ Meningkatkan kualitas pengelolaan air limbah domestik melalui tangki septik kedap, LLTT, dan optimalisasi IPLT ▪ Mengembangkan fasilitas pengolahan lumpur tinja dan air limbah dengan teknologi penangkapan dan pemanfaatan biogas ▪ Mendorong modernisasi IPAL kota dan industri dari sistem kolam terbuka menjadi sistem tertutup dengan penangkapan gas ▪ Melaksanakan proyek percontohan penerapan teknologi rendah emisi pada sektor industri dengan beban organik tinggi	▪ KLH ▪ Kemenperin ▪ Kementerian PU ▪ Pemerintah Daerah ▪ Swasta ▪ Akademisi	2026-2030
4	Penguatan pendekatan inklusif dan berkeadilan dalam pengurangan emisi metana	▪ Mengembangkan sistem pengelolaan air limbah yang terjangkau dan sesuai dengan kondisi masyarakat serta kapasitas daerah ▪ Menyelenggarakan pelatihan, pendampingan teknis, dan penguatan kapasitas bagi pengelola lokal dan operator sanitasi ▪ Mendorong keterlibatan perempuan, kelompok rentan, dan organisasi masyarakat sipil dalam perencanaan dan implementasi aksi mitigasi ▪ Menyediakan dukungan teknis dan pembiayaan bagi daerah dengan kapasitas fiskal dan kelembagaan yang terbatas	▪ KLH ▪ Kementerian PPN/ Bappenas ▪ Kementerian PU ▪ Kemenperin ▪ Mitra Pembangunan	2027-2030
5	Pemanfaatan praktik terbaik global guna merumuskan strategi pengurangan emisi metana yang efektif	▪ Melakukan kajian komparatif dan pertukaran pengetahuan mengenai praktik terbaik internasional dalam mitigasi emisi metana sektor air limbah ▪ Mengidentifikasi dan mengadaptasi teknologi, pendekatan MRV, serta instrumen kebijakan dan pembiayaan yang sesuai dengan konteks Indonesia ▪ Memperkuat kerja sama internasional untuk mendukung transfer teknologi, pengembangan kapasitas, dan akses terhadap pendanaan iklim ▪ Memanfaatkan praktik global sebagai referensi analitis dalam penyusunan kebijakan nasional dan daerah, dengan tetap mempertimbangkan kondisi sosial, ekonomi, dan kelembagaan lokal	▪ KLH ▪ Kementerian PPN/ Bappenas ▪ Kementerian PU ▪ Kemenperin ▪ Mitra Pembangunan ▪ Akademisi	2026-2027

Sumber: Penulis

Implementasi strategi tersebut dapat memperkuat kontribusi Indonesia terhadap target pengurangan emisi metana global sebesar 30 persen pada 2030 sekaligus mendukung perbaikan tata kelola sanitasi dan pembangunan berkelanjutan di dalam negeri. Tanpa target yang jelas, koordinasi kelembagaan yang efektif, serta sistem data dan MRV yang andal, potensi mitigasi sulit terwujud. Sebaliknya, penyelarasan kebijakan, pemanfaatan teknologi, dan mobilisasi investasi hijau dapat menjadikan pengelolaan air limbah sebagai bagian penting dari pencapaian target iklim nasional sekaligus peningkatan kualitas hidup masyarakat.

Ringkasan isu ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan dalam membaca hasil analisis. Analisis kuantitatif terutama menggunakan data EDGAR_2024_GHG yang dirancang untuk menghasilkan estimasi emisi yang konsisten secara global sehingga dapat digunakan untuk analisis tren jangka panjang dan perbandingan lintas negara. Oleh karena itu, estimasinya dapat berbeda dari Inventarisasi GRK Nasional Indonesia yang menggunakan data aktivitas, asumsi, dan faktor emisi yang lebih spesifik terhadap kondisi nasional. Analisis dalam kajian ini juga masih berfokus pada tren emisi di tingkat nasional dan belum mengevaluasi variasi spasial maupun kinerja masing-masing sistem pengolahan air limbah. Penelitian selanjutnya perlu memanfaatkan data aktivitas nasional dan subnasional yang lebih rinci, pengukuran emisi metana di lapangan, serta faktor emisi spesifik Indonesia untuk meningkatkan akurasi estimasi dan memperkuat sistem MRV sektor air limbah.



Lampiran

Lampiran 1. Ringkasan regulasi penanggulangan emisi metana sektor air limbah di Indonesia

Tabel 1. | **Emisi GRK sektor air limbah setelah mitigasi**

NO.	KEBIJAKAN/INSTRUMEN	RINGKASAN ISI	RELEVANSI TERHADAP PENGURANGAN EMISI METANA
1	Permen LHK No. P.68/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik	Menetapkan batasan kadar zat pencemar dalam air limbah domestik sebelum dibuang ke lingkungan guna mengendalikan pencemaran air akibat limbah domestik	Payung hukum untuk pengurangan emisi metana dari pembuangan yang tidak terolah
2	Permen PUPR No. 04/2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik	Mengatur berbagai aspek pengelolaan air limbah domestik tingkat kabupaten/kota, termasuk sistem, sarana, dan prasarana yang digunakan	Penguatan SPALD untuk mengurangi produksi metana
3	Permen LHK No. 93/2018 tentang Pemantauan Kualitas Air Limbah Secara Terus Menerus dan Dalam Jaringan bagi Usaha dan/atau Kegiatan	Mewajibkan usaha atau kegiatan untuk melakukan pemantauan kualitas air limbah secara terus menerus dan dalam jaringan	Penguatan kontrol dan pengawasan emisi metana melalui kepatuhan kualitas air limbah
4	Permen PUPR No. 29/2018 tentang Standar Teknis Standar Pelayanan Minimal Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat	Mengatur standar teknis untuk pelayanan dasar di bidang pekerjaan umum dan perumahan rakyat, termasuk air minum dan perumahan	Meningkatkan cakupan layanan sanitasi yang berkelanjutan dan rendah emisi
5	Perpres No. 110/2025 tentang Penyelenggaraan Instrumen Nilai Ekonomi Karbon dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca Nasional	Mengatur implementasi nilai ekonomi karbon untuk mencapai target kontribusi yang telah ditetapkan secara nasional dan pengendalian emisi GRK dalam pembangunan nasional	Mengatur sistem inventarisasi, implementasi, dan pelaporan aksi mitigasi perubahan iklim, termasuk pengurangan emisi GRK, pada sektor limbah nasional dan subnasional untuk mendukung pencapaian target NDC
6	PP No. 22/2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup	Mengatur penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup di Indonesia	Memberikan mandat kepada menteri, gubernur, bupati, atau wali kota untuk melakukan upaya pengendalian perubahan iklim dengan mengurangi emisi GRK, termasuk CO_2 dan CH_4.
7	Permen LHK No. 5/2022 tentang Pengolahan Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan dengan Menggunakan Metode Lahan Basah Buatan	Mengatur pengolahan air limbah dari kegiatan pertambangan sebelum dibuang ke media air, dengan opsi menggunakan metode lahan basah buatan (*constructed wetland*).	Pengembangan metode alami pengelolaan air limbah untuk mengurangi emisi GRK dari aktivitas pertambangan
8	Inpres No. 1 Tahun 2024 tentang Percepatan Penyediaan Air Minum dan Layanan Pengelolaan Air Limbah Domestik	Mempercepat penyediaan air minum dan layanan pengelolaan air limbah domestik guna meningkatkan kesehatan masyarakat, menurunkan *stunting*, mengurangi ketergantungan pada air tanah, serta mendukung pencapaian RPJMN 2020-2024 dan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB)	Mendorong percepatan perluasan layanan pengelolaan domestik melalui pembangunan dan pemanfaatan infrastruktur seperti IPAL dan IPLT
9	Permen LHK No. 6/2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)	Landasan hukum dalam penanganan limbah B3 sesuai dengan prinsip perlindungan lingkungan dan kesehatan	Mendorong pemanfaatan *sludge* IPAL dari industri kertas dan pulp sebagai substitusi bahan baku *low-grade paper* atau produk kertas lainnya serta bahan baku pembenah tanah organik

Tabel 1. | **Emisi GRK sektor air limbah setelah mitigasi (lanjutan)**

NO.	KEBIJAKAN/INSTRUMEN	RINGKASAN ISI	RELEVANSI TERHADAP PENGURANGAN EMISI METANA
10	Permen LHK No. 1/2021 tentang Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup	Penambahan nilai dalam perhitungan PROPER untuk pengurangan dan pemanfaatan limbah B3 dan non-B3	Mendorong praktik *beyond compliance* oleh perusahaan: ▪ Pengelolaan limbah melalui pengurangan dan pemanfaatan limbah B3 dan non-B3 ▪ Inovasi untuk mengurangi GRK melalui PROPER sebagai insentif ▪ Penyusunan analisis daur hidup untuk memperhitungkan jejak karbon
11	Permen LHK No. 12/2024 tentang Penyelenggaraan Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dalam Penanganan Perubahan Iklim	Mengatur penyelenggaraan kontribusi yang ditetapkan secara nasional dalam penanganan perubahan iklim	Mengatur penyelenggaraan mitigasi perubahan iklim, termasuk pengurangan emisi GRK nasional dan subnasional pada sektor limbah untuk mendukung pencapaian target NDC
12	Permen ESDM No. 21/2016 tentang Pembelian Tenaga Listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa dan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)	Mengatur pembelian tenaga listrik oleh PLN dari pengembang yang memanfaatkan bahan bakar biomassa atau biogas	Mengendalikan *flaring* dan mendorong pemanfaatan gas suar (*flare gas*) untuk menekan potensi emisi metana dari kegiatan hulu minyak dan gas

Sumber: Penulis

Daftar Pustaka

Ainsworth, E.A., C.R. Yendrek, S. Sitch, W.J. Collins, dan L.D. Emberson. 2012. "The Effects of Tropospheric Ozone on Net Primary Productivity and Implications for Climate Change." *Annual Review of Plant Biology* 63 (1): 637–61. doi:10.1146/annurev-arplant-042110-103829.

Al-hasanat, A., F. Chemack, S. Sabbahi, I. Nouiri, P. Karanis, dan L. Ben Ayed. 2025. "Exploring Treated Wastewater Reuse as an Alternative Option to Cope with Water Scarcity: Comparative Review in Tunisia and Jordan." *Water Practice & Technology* 20 (12): 2881–98. doi:10.2166/wpt.2025.164.

Arneth, A., S.P. Harrison, S. Zaehle, K. Tsigaridis, S. Menon, P.J. Bartlein, J. Feichter, dkk. 2010. "Terrestrial Biogeochemical Feedbacks in the Climate System." *Nature Geoscience* 3 (8): 525–32. doi:10.1038/ngeo905.

Ashmore, M.R. 2005. "Assessing the Future Global Impacts of Ozone on Vegetation." *Plant, Cell & Environment* 28 (8): 949–64. doi:10.1111/j.1365-3040.2005.01341.x.

Australian Government. 2022. "Quarterly Update of Australia's National Greenhouse Gas Inventory: September 2022." Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water. https://www.dcceew.gov.au/sites/default/files/documents/nggi-quarterly-update-sept-2022.pdf.

Avnery, S., D.L. Mauzerall, J. Liu, dan L.W. Horowitz. 2011. "Global Crop Yield Reductions Due to Surface Ozone Exposure: 1. Year 2000 Crop Production Losses and Economic Damage." *Atmospheric Environment* 45 (13): 2284–96. doi:10.1016/j.atmosenv.2010.11.045.

Badan Pusat Statistik. 2021. "Jumlah Penduduk Hasil Sensus Penduduk (SP) dan Survei Penduduk Antar Sensus (SUPAS) menurut Provinsi, 1971-2015." https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/MTI2NyMx/jumlah-penduduk--hasil-sensus-penduduk--sp--dan-survei-penduduk-antar-sensus--supas--menurut-provinsi--1971---2015.html.

Badan Pusat Statistik. 2024a. "Jumlah Penduduk Menurut Kelompok Umur dan Jenis Kelamin, 2023." https://www.bps.go.id/id/statistics-table/3/WVc0MGEyMXBkVFUxY25KeE9HdDZkbTQzWkVkb1p6MDkjMw==/jumlah-penduduk-menurut-kelompok-umur-dan-jenis-kelamin--2023.html?year=2023.

Badan Pusat Statistik. 2024b. "Jumlah Penduduk Menurut Provinsi di Indonesia, 2019-2023." https://sultra.bps.go.id/id/statistics-table/1/NDc3OCMx/jumlah-penduduk-menurut-provinsi-di-indonesia-ribu-2019-2023.html.

Badan Standardisasi Nasional. 2017. "SNI 2398:2017 tentang Tata Cara Perencanaan Tangki Septik."

Balai Teknik Sanitasi. 2023. "Inspection Report on Fabricated Communal Wastewater Treatment Systems."

Bappenas. 2024. "Kebijakan DAK Fisik Bidang Air Limbah Domestik dalam Rancangan RPJMN 2025-2029." Direktorat Perumahan dan Kawasan Permukiman, Kedeputian Sarana & Prasarana.

Bappenas. 2025. "Prioritas Nasional RPJMN 2025-2029: Program Swasembada Air dan Akses Sanitasi Aman."

BORDA. 2017. "DEWATS Implementation Guidelines." Bremen Overseas Research and Development Association.

Butler, T., A. Lupascu, dan A. Nalam. 2020. "Attribution of Ground-Level Ozone to Anthropogenic and Natural Sources of Nitrogen Oxides and Reactive Carbon in a Global Chemical Transport Model." *Atmospheric Chemistry and Physics* 20 (17): 10707–31. doi:10.5194/acp-20-10707-2020.

Carbon Trust. 2023. "Impact Report 2023." The Carbon Trust.

Carpanez, T.G., N. Carvalho de Lima e Silva, M.C.S. Amaral, dan V.R. Moreira. 2025. "Reuse of wastewater and biosolids in soil conditioning: Potentialities, contamination, technologies for wastewater pre-treatment and opportunities for land restoration." *Chemosphere* 373 (Maret): 144185. doi:10.1016/j.chemosphere.2025.144185.

CCAC. t.t. "Global Methane Pledge." https://www.globalmethanepledge.org/.

Cheng, S., J. Long, B. Evans, Z. Zhan, T. Li, C. Chen, H.-P. Mang, dan Z. Li. 2022. "Non-negligible greenhouse gas emissions from non-sewered sanitation systems: A meta-analysis." *Environmental Research* 212 (September): 113468. doi:10.1016/j.envres.2022.113468.

Ciais, P., C. Sabine, G. Bala, L. Bopp, V. Brovkin, J. Canadell, A. Chhabra, dkk. 2013. "Carbon and Other Biogeochemical Cycles." Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter06_FINAL.pdf.

COMEAP. 2015. "Quantification of Mortality and Hospital Admissions Associated with Ground-level Ozone." https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a80ea7fe5274a2e87dbc8ab/COMEAP_Ozone_Report_2015__rev1_.pdf.

Conrad, R. 2023. "Complexity of temperature dependence in methanogenic microbial environments." *Frontiers in Microbiology* 14 (Juli): 1232946. doi:10.3389/fmicb.2023.1232946.

Dasgupta, S., S. Lall, dan D. Wheeler. 2023. *Identifying and Monitoring Priority Areas for Methane Emissions Reduction*. Policy Research Working Papers. The World Bank. doi:10.1596/1813-9450-10391.

Direktorat Jenderal Bina Pembangunan Daerah. 2025. "Peran Pemerintah Daerah dalam Upaya Pencapaian Target RPJMN 2025-2029 Bidang Air Minum, Air Limbah, dan Persampahan."

Eawag. 2018. "Decentralized Wastewater Treatment Systems (DEWATS): Technical Design Manual." Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.

European Commission, Joint Research Centre (JRC)/Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL). 2024. "EDGAR (Emissions Database for Global Atmospheric Research) Community GHG database, comprising IEA-EDGAR CO2, EDGAR CH4, EDGAR N2O and EDGAR F-gases version EDGAR_2024_GHG." http://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=431.

European Parliament and Council of the European Union. 2024. *Regulation (EU) 2024/1787 on the reduction of methane emissions in the energy sector. Official Journal of the European Union (OJ)*. Vol. L 1787.

European Union. 2023. "Methane emissions." https://energy.ec.europa.eu/topics/carbon-management-and-fossil-fuels/methane-emissions_en.

Gillespie, A. 2003. "The Problem of Methane in International Environmental Law." Review of European Community & International Environmental Law 12 (3): 321–28. doi:10.1111/1467-9388.00373.

Global Methane Initiative. 2021. "Reducing Methane Emissions from Wastewater Treatment Systems." US EPA.

Government of India. 2022. "Annual Report 2021-2022." Ministry of New and Renewable Energy.

Government Offices of Sweden. 2022a. "Sweden's Methane Action Plan." Ministry of the Environment.

Government Offices of Sweden. 2022b. "Sweden's Waste and Wastewater Methane Reduction Policies."

Hassan, M.E.E., dan A.J. Pitoyo. 2018. "Urbanization and Economic Development in Indonesia: Demographic Perspectives Analysis." Populasi 25 (2): 54. doi:10.22146/jp.36205.

IEA. 2022. "Global Methane Tracker 2022." https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2022.

IEA. 2023. "Global Methane Tracker 2023." https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2023.

IEA. 2024. "Countries have a major opportunity to turn methane pledges into action." 2 Oktober 2024. https://www.iea.org/commentaries/countries-have-a-major-opportunity-to-turn-methane-pledges-into-action.

IPCC. 2019. "2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories." Intergovernmental Panel on Climate Change.

IUWASH PLUS. 2020. "Strengthening Fecal Sludge Management and Sanitation Services in Indonesia." USAID IUWASH PLUS.

Jerrett, M., R.T. Burnett, C.A. Pope, K. Ito, G. Thurston, D. Krewski, Y. Shi, E. Calle, dan M. Thun. 2009. "Long-Term Ozone Exposure and Mortality." New England Journal of Medicine 360 (11): 1085–95. doi:10.1056/NEJMoa0803894.

Kahn, M., M. Sangiorgio, dan L. Rosa. 2025. "Potential of wastewater reuse to alleviate water scarcity under future warming scenarios." Environmental Research Letters 20 (3): 034012. doi:10.1088/1748-9326/adb31d.

Kementerian Dalam Negeri. 2025a. "Pedoman Perencanaan dan Penganggaran Pembangunan Daerah." Kementerian Dalam Negeri, Direktorat Jenderal Bina Pembangunan Daerah.

Kementerian Dalam Negeri. 2025b. Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 2 Tahun 2025 tentang Pedoman Penyusunan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah dan Rencana Strategis Perangkat Daerah.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2017. "Indonesia Energy Outlook 2017." Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2018. "Indonesia Energy Outlook 2018." Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2023. "Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia 2023." Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Kementerian Kesehatan. 2022. "Pedoman Sanitasi Lingkungan Dan Kesehatan Berbasis Risiko."

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2021. "Strategi Pengelolaan Limbah Cair Industri Kelapa Sawit Dan Pemanfaatan Biogas."

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2022. "Indonesia's Greenhouse Gas Inventory and Mitigation Policy Framework."

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2023. "Sistem Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional (SIGN-SMART): Pedoman MRV Aksi Mitigasi."

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2024. "Rencana Operasional Indonesia Zero Waste Zero Emission 2050."

Kementerian Pekerjaan Umum. 2025. "Pedoman Inspeksi dan Standardisasi IPAL Komunal Pabrikasi Skala 50 KK." Kementerian Pekerjaan Umum, Balai Teknik Sanitasi.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2017. *Peraturan Menteri PUPR Nomor 04/PRT/M/2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik*.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2022. "Pedoman Teknis Pembangunan dan Inspeksi IPAL Komunal Pabrikasi Skala Kecil."

Kementerian Perindustrian. 2010. *Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 35/M-IND/PER/3/2010 tentang Pedoman Teknis Kawasan Industri.*

Kementerian Perindustrian. 2018. "Peta Sebaran Kegiatan Industri Skala 1:50.000." https://geoportal.kemenperin.go.id/.

Kementerian Perindustrian. 2020. "Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI) Bidang Pengelolaan Limbah Industri."

Kementerian PUPR. 2025. "Inspeksi IPALD Skala Komunal Kapasitas 50 KK Mendukung Akses Sanitasi Aman 2029."

KIAT, I.A.I.P., F. Ardani, F. Auliarahma, M. Barokah, M.C. Valero, L. Casey, W. Chenny, dkk. 2026. "Technical Note: Methods for Measuring Sanitation Emissions and Developing City- and National-Level Estimates," Maret. doi:10.71741/4pyxmbnjaq.31697710.v3.

KLHK. 2022. "Indonesia's Third National Communications under the UNFCCC."

Kokkinos, P., J.R. Comia, S. Caucci, H. Hettiarachchi, F.C. Ballesteros, G. Oron, M. Salgot, dan I.K. Kalavrouziotis. 2022. "Wastewater and Sludge Reuse: Selected Case Studies across the Globe." *Desalination and Water Treatment* 250 (Februari): 65–79. doi:10.5004/dwt.2022.28183.

Lee, K.S., T.-H. Kwon, T. Park, dan M.S. Jeong. 2020. "Chapter 2 - Microbiology and Microbial Products for Enhanced Oil Recovery." Dalam T*heory and Practice in Microbial Enhanced Oil Recovery*, disunting oleh K.S. Lee, T.-H. Kwon, T. Park, dan M.S. Jeong, 27–65. Gulf Professional Publishing. doi:10.1016/B978-0-12-819983-1.00002-8.

Malley, C.S., D.K. Henze, J.C.I. Kuylenstierna, H.W. Vallack, Y. Davila, S.C. Anenberg, M.C. Turner, dan M.R. Ashmore. 2017. "Updated Global Estimates of Respiratory Mortality in Adults ≥30Years of Age Attributable to Long-Term Ozone Exposure." *Environmental Health Perspectives* 125 (8): 087021. doi:10.1289/EHP1390.

Mar, K.A., C. Unger, L. Walderdorff, dan T. Butler. 2022. "Beyond CO2 Equivalence: The Impacts of Methane on Climate, Ecosystems, and Health." *Environmental Science & Policy* 134 (Agustus): 127–36. doi:10.1016/j.envsci.2022.03.027.

Ministry of Environment Brazil. 2022. "The National Zero Methane Program." https://www.gov.br/en/government-of-brazil/latest-news/2022/the-national-zero-methane-program.

Musa, M.A., S. Idrus, C.M. Hasfalina, dan N.N.N. Daud. 2018. "Effect of Organic Loading Rate on Anaerobic Digestion Performance of Mesophilic (UASB) Reactor Using Cattle Slaughterhouse Wastewater as Substrate." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15 (10): 2220. doi:10.3390/ijerph15102220.

Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J.S. Fuglestvedt, J. Huang, D. Koch, dkk. 2013. "Anthropogenic and Natural Radiative Forcing." Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf.

OECD. 2022. *Pricing Greenhouse Gas Emissions: Turning Climate Targets into Climate Action*. OECD Series on Carbon Pricing and Energy Taxation. OECD Publishing. doi:10.1787/e9778969-en.

Pemerintah Republik Indonesia. 2014. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2014 tentang Pemerintahan Daerah*.

Pemerintah Republik Indonesia. 2017. *Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Peraturan Presiden*. Vol. 22.

Pemerintah Republik Indonesia. 2020. "Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2020-2024."

Pemerintah Republik Indonesia. 2021. "Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience (LTS-LCCR) 2050."

Pemerintah Republik Indonesia. 2024. "Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2025-2045."

Pemerintah Republik Indonesia. 2025a. "Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2025-2029."

Pemerintah Republik Indonesia. 2025b. "Second Nationally Determined Contribution."

Rocky Mountain Institute. 2025. "Managing Methane in the Waste Sector." https://rmi.org/our-work/climate-aligned-industries/managing-methane-in-the-waste-sector/.

Sharma, K., J. Li, T. Liu, J. Willis, Y. Liu, Z. Zhang, dan Z. Yuan. 2026. "Estimating Methane Emissions from Global Sewer Networks." *Nature Water* 4 (2): 196–205. doi:10.1038/s44221-025-00574-w.

Sitch, S., P.M. Cox, W.J. Collins, dan C. Huntingford. 2007. "Indirect Radiative Forcing of Climate Change through Ozone Effects on the Land-Carbon Sink." *Nature* 448 (7155): 791–94. doi:10.1038/nature06059.

Turner, M.C., M. Jerrett, C.A. Pope, D. Krewski, S.M. Gapstur, W.R. Diver, B.S. Beckerman, dkk. 2016. "Long-Term Ozone Exposure and Mortality in a Large Prospective Study." *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 193 (10): 1134–42. doi:10.1164/rccm.201508-1633OC.

Ukoha-Onuoha, E., dan I.T. Horsfall. 2026. "The evolution of wastewater reuse for irrigation: Lessons learned and future directions." *Next Sustainability* 7 (Juni): 100253. doi:10.1016/j.nxsust.2026.100253.

UNFCCC. 2002. "A Guide to the Climate Change Convention Process." https://unfccc.int/resource/process/guideprocess-p.pdf.

United Nations Environment Programme. 2025. Global Methane Status Report. United Nations Environment Programme. doi:10.59117/20.500.11822/48921.

United Nations Environment Programme and Climate and Clean Air Coalition. 2021. "Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions." Nairobi: United Nations Environment Programme.

United States of America. 2024. "Nationally Determined Contribution: Reducing Greenhouse Gases in the United States: A 2035 Emissions Target." https://unfccc.int/sites/default/files/2024-12/United%20States%202035%20NDC.pdf.

WHO. 2013. "Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project." https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2013-4101-43860-61757.

Widyarani, D.R. Wulan, U. Hamidah, A. Komarulzaman, R.T. Rosmalina, dan N. Sintawardani. 2022. "Domestic wastewater in Indonesia: generation, characteristics and treatment." Environmental Science and Pollution Research International 29 (22): 32397–414. doi:10.1007/s11356-022-19057-6.

World Bank. 2018. "Biogas from Palm Oil Mill Effluent: Indonesia Country Study."

World Bank. 2020. "Wastewater Management and Resource Recovery in Developing Countries."

Zainal, A., R. Harun, dan S. Idrus. 2022. "Performance Monitoring of Anaerobic Digestion at Various Organic Loading Rates of Commercial Malaysian Food Waste." Frontiers in Bioengineering and Biotechnology 10 (Maret): 775676. doi:10.3389/fbioe.2022.775676.

Zhang, J. (Jim), Y. Wei, dan Z. Fang. 2019. "Ozone Pollution: A Major Health Hazard Worldwide." Frontiers in Immunology 10 (Oktober): 2518. doi:10.3389/fimmu.2019.02518.

Daftar Singkatan

BOD	*biochemical oxygen demand*
BTR	*Biennial Transparency Report*
CH_4	metana
CO_2e	karbon dioksida ekuivalen
COD	*chemical oxygen demand*
EDGAR	*Emissions Database for Global Atmospheric Research*
ENDC	*Enhanced Nationally Determined Contribution*
FGD	*focus group discussion*
GMP	*Global Methane Pledge*
GRK	gas rumah kaca
IPAL	instalasi pengolahan air limbah
IPCC	*Intergovernmental Panel on Climate Change*
IPLT	instalasi pengolahan lumpur tinja
KLH	Kementerian Lingkungan Hidup
LTS-LCCR	*Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience*
MRV	*monitoring, reporting, and verification*
NDC	*Nationally Determined Contribution*
PPN/Bappenas	Perencanaan Pembangunan Nasional Badan Perencanaan Pembangunan Nasional
PU	Pekerjaan Umum
RPJMN	Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional
RPJPN	Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional
SIGN-SMART	Sistem Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional–Sistem Monitoring, Reporting, and Verification Aksi Mitigasi
SNDC	*Second Nationally Determined Contribution*
UNEP	*United Nations Environment Programme*

Catatan Akhir

i. "Emisi fugitif dari bahan bakar padat" mengacu pada kategori 1.B.1 IPCC, yang mencakup karbon dioksida dari penambangan batu bara, penanganan pertambangan, serta tambang batu bara yang terbengkalai, bukan emisi dari pembakaran bahan bakar.

ii. Metanogen adalah mikroorganisme yang dapat menghasilkan metana dari proses metabolisme di lingkungan yang minim oksigen. Sebagian besar metanogen bersifat anaerob sehingga tidak dapat hidup dalam kondisi yang mengandung oksigen (Lee dkk. 2020).

iii. Ekonomi hijau adalah paradigma ekonomi baru yang bertujuan untuk mencapai pembangunan inklusif sekaligus menjaga dan melestarikan lingkungan.

iv. Nilai ***default*** merupakan nilai perkiraan yang ditetapkan untuk berbagai variabel dalam perhitungan emisi GRK dan ini umumnya merupakan rata-rata atau estimasi umum dari data global.

v. BOD menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengurai bahan organik secara biologis.

vi. COD menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik.

vii. Platform Sistem Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional-Sederhana, Mudah, Akurat, Ringkas, Transparan (SIGN-SMART) dapat diakses pada https://signsmart.menlhk.go.id/v2.1/app/

Ucapan Terima Kasih

WRI Indonesia mengucapkan terima kasih kepada International Climate Initiative (IKI) melalui proyek Long-Term Strategy (LTS) atas dukungannya dalam penyusunan ringkasan isu ini. Apresiasi juga disampaikan kepada para *reviewer* eksternal, yaitu Prof. Ir. Tjandra Setiadi, M.Eng., Dr. Ir. Retno Gumilang Dewi, M.Eng.Eng.Sc., dan Dr. Haryo Satriyo Tomo, S.T., M.T. dari Institut Teknologi Bandung, Dr. Cindy Rianti Priadi, S.T., M.Sc. dari Universitas Indonesia, serta Dr. Lijin Zhong dari Beijing Huanding Environmental Smart Data Institute (HD Institute), atas telaah, masukan, dan kontribusi teknis yang diberikan selama proses penyusunan. Kami juga menyampaikan terima kasih kepada *reviewer* internal WRI, yaitu Satya Utama, Retno Winahesta, Chelsea Gomez, dan Xiaoqian Jiang, atas masukan dan telaah yang turut memperkuat substansi, ketepatan analisis, dan kualitas keseluruhan publikasi ini.

Penulis

Aisyah Lestari adalah Methane Emission Research Analyst di WRI Indonesia.
Kontak: aisyah.lestari@wri.org

Farijzal Arrafisena adalah Climate Research Analyst di WRI Indonesia.
Kontak: farijzal.arrafisena@wri.org

Khalisha Qatrunnada adalah Air Quality and Climate Research Analyst di WRI Indonesia.
Kontak: khalisha.qatrunnada@wri.org

Hafidz Abdillah sebelumnya adalah Air Quality and Climate Research Analyst di WRI Indonesia
Kontak: dillahfidz@gmail.com

Wira Swadana adalah Climate Action Senior Lead di WRI Indonesia.
Kontak: wira.swadana@wri.org

Egi Suarga adalah Senior Manager for Climate di WRI Indonesia.
Kontak: egi.suarga@wri.org

Tentang WRI Indonesia

Didirikan pada 1982, World Resources Institute (WRI) adalah organisasi penelitian global independen dan nirlaba yang mengubah gagasan besar menjadi tindakan di simpul antara lingkungan, peluang ekonomi, dan kesejahteraan manusia. Kami bekerja untuk mengatasi tujuh tantangan kritis yang harus diatasi oleh dunia pada dekade ini untuk menjamin masa depan berkelanjutan bagi manusia dan planet ini: perubahan iklim, energi, pangan, hutan, air, kota berkelanjutan, dan laut. WRI memiliki staf global dengan lebih dari 1.800 orang yang bekerja di 60 negara. Kami memiliki kantor di Afrika, Brasil, Tiongkok, Eropa, India, Indonesia, Meksiko, Kolombia, dan Amerika Serikat, serta kehadiran yang terus berkembang di wilayah lainnya. Landasan karya kami adalah memberikan penelitian berkualitas tinggi, data, peta, dan analisis untuk mengatasi tantangan lingkungan dan pembangunan internasional terbesar di dunia dan meningkatkan kualitas hidup manusia. Kami bekerja dengan pemimpin pemerintah, bisnis, dan masyarakat sipil untuk mendorong tindakan ambisius dan menciptakan perubahan di lapangan. Tak kalah penting, kami menghimpun mitra untuk mengembangkan gagasan terobosan dan memperluas solusi yang memiliki dampak jangkauan dan berkelanjutan. WRI Indonesia adalah entitas nasional (Yayasan) yang terkait dengan WRI. Diluncurkan pada awal tahun 2014, WRI Indonesia telah beroperasi selama lebih dari 10 tahun di Indonesia, memperkuat dampak kerja WRI melalui riset, kolaborasi, dan implementasi program di tingkat lapangan. Dalam jangka pendek hingga menengah, WRI Indonesia akan terus memperluas kehadiran dan portofolionya melalui berbagai inisiatif di bidang hutan, iklim, energi, serta program kota dan transportasi untuk mendukung pembangunan berkelanjutan di Indonesia.

Kredit Foto

Cover, Envato; Hal. 2, Envato; Hal. 25, Kittirat Roekburi; Hal. 29, Nasrul Ma Arif

Peta dalam publikasi ini disajikan semata-mata untuk tujuan ilustrasi dan tidak mencerminkan pendapat WRI mengenai status hukum suatu negara atau wilayah, maupun mengenai penetapan batas-batas negara atau wilayah.

Setiap laporan World Resources Institute merupakan kajian ilmiah yang disusun secara tepat waktu mengenai isu yang menjadi perhatian publik. WRI bertanggung jawab dalam menentukan topik kajian serta menjamin kebebasan para penulis dan penelitinya dalam melakukan penelitian. WRI juga meminta dan mempertimbangkan masukan dari panel penasihat serta para penelaah ahli. Namun, kecuali dinyatakan lain, seluruh interpretasi dan temuan yang disajikan dalam publikasi WRI sepenuhnya merupakan tanggung jawab para penulis.

WRI INDONESIA

Wisma PMI, Lantai 3
Jalan Wijaya I no. 63
South Jakarta 12170
WRI-INDONESIA.org/id

Copyright 2026 World Resources Institute. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License.
To view a copy of the license, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/